

Видається з 1996 року

Міністерство освіти і науки України

Засновник і видавець
Сумський національний аграрний
університет

Реєстраційне свідоцтво
КВ № 23688-13528 Р від 21.11.2018 р.

Редакційна колегія серії

Коваленко І. М., д.б.н., професор,
головний редактор, Сумський
національний аграрний університет
(Україна)

Власенко В. А., д.с.-г.н., професор,
заступник головного редактора,
Сумський національний аграрний
університет (Україна)

Кирильчук К. С., к.б.н., доцент,
відповідальний секретар, Сумський
національний аграрний університет
(Україна)

Ліпса Флорин Деніел, к.с.-г.н., доцент,
Університет сільського господарства та
ветеринарної медицини (Румунія)

Русу Теодор, д.с.-г.н., професор,
Університет сільського господарства
та ветеринарної медицини (Румунія)

Тунгуз Весна, к.с.-г.н., доцент,
Університет Східного Сараєво
(Боснія і Герцеговина)

Мен Фаньхуа, к.с.-г.н., головний
науковий співробітник, НДІ зернових
культур Академії аграрних наук Китаю
(КНР)

Сметанська І. М., к.с.-г.н., д.інж.наук,
професор, Університет прикладних наук
Вайнштефан-Трісдорф (Німеччина)

Кашпар Ян, к.б.н., доцент,
Чеський університет природничих наук
(Чеська республіка)

Сопотлісва Десіслава, к.б.н.,
головний науковий співробітник,
Інститут досліджень біорізноманіття та
екосистем, Болгарська академія наук
(Болгарія)

Данилик І. М., д.б.н., ст.н.с., провідний
науковий співробітник, Інститут
екології Карпат НАН України (Україна)

Дегтярьов В. В., д.с.-г.н., професор,
Харківський національний аграрний
університет ім. В. В. Докучаєва
(Україна)

Дубина Д. В., д.б.н., професор,
головний науковий співробітник,
Інститут ботаніки ім. М.Г. Холодного
НАН України (Україна)

Жатова Г. О., к.с.-г.н., професор,
Сумський національний аграрний
університет (Україна)

Захарченко Е. А., к.с.-г.н., доцент,
Сумський національний аграрний
університет (Україна)

Злобін Ю. А., д.б.н., професор,
Почесний професор кафедри екології
та ботаніки,
Сумський національний аграрний
університет, (Україна)

Клименко Г. О., к.б.н., доцент,
Сумський національний аграрний
університет (Україна)

Куземко А. А., д.б.н., професор,
ст.н.с., Інститут ботаніки
ім. М.Г. Холодного НАН України, відділ
геоботаніки і екології (Україна)

Лихолат О. А., д.б.н., ст.н.с.,
професор, Університет митної справи
та фінансів (Україна)

Мельник А. В., д.с.-г.н., професор,
Сумський національний аграрний
університет (Україна)

ВІСНИК СУМСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО АГРАРНОГО УНІВЕРСИТЕТУ

НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ

Виходить 4 рази на рік.

Серія «Агрономія і біологія»
Випуск 2 (48), 2022

ЗМІСТ

| | |
|--|----|
| Cao Zhishan, Vlasenko Volodymyr. Application and development prospect of RNA interference technology in pest control..... | 3 |
| Wang Xinfu, Onychko Viktor, Zubko Vladislav, Zhao Mingfu. Screening study on the formulation of nutrient solution for hydroponic green leaf lettuce in plant factory with artificial light..... | 11 |
| Yinghui Zhu, Rozhkova Tetiana. Isolation and screening of methyl disulfuron- degrading microorganisms..... | 17 |
| Бікін А. В., Панчук Т. В. Ріст і розвиток рослин картоплі за різних способів і норм внесення добрив..... | 23 |
| Верещагін І. В., Оничко В. І., Кандиба Н. М. Оцінка стану препаратів ДНК льону за тривалого терміну зберігання..... | 31 |
| Власюк В. П., Кратюк О. Л., Климчук О. О. Основні тенденції просторово-часової динаміки основних видів мисливських тварин Житомирщини..... | 36 |
| Господаренко Г. М., Любич В. В., Стоцький В. В. Вплив різних видів і доз добрив на продуктивність зернової сівозміни..... | 46 |
| Гутяньський Р. А., Попов С. І., Авраменко С. В., Кузьменко Н. В. Забур'яненість посівів пшениці озимої залежно від умов вирощування в паро-зерно-просапній сівозміні..... | 51 |
| Димитров С. Г., Саблук В. Т. Покращення структурно-агрегатного стану ґрунту за мікоризації кореневої системи рослин сільськогосподарських культур мікоризоутворювальними грибами..... | 59 |
| Зайцев Ю. О., Кирильчук А. М., Ослопова М. В. Побічна продукція як елемент біологізації землеробства ґрунтів Київської області..... | 63 |
| Зеленянська Н. М., Гогулінська О. І., Артюх М. М., Борун В. В. Продуктивність маточних кущів винограду за впливу краплинного зрошення і зменшення навантаження суцвіттями..... | 69 |
| Зубов А. О., Зубов О. Р. Особливості приходу сонячної радіації на схили породних відвалів як фактора лісорослинних умов їх поверхні..... | 79 |
| Козючко А. Г., Гавій В. М. Біохімічні показники зерна сої за передпосівної обробки насіння комбінаціями метаболічно активних речовин..... | 90 |



Видавничий дім
«Гельветика»
2022

| | | |
|---|--|------------|
| Мельничук С. Д. , д.б.н., професор, Сумський національний аграрний університет (Україна) | Колосок І. О., Фу Юаньжжи. Адаптивність середньоранніх гібридів соняшнику в умовах північно-східного Лісостепу України..... | 96 |
| Міщенко Ю. Г. , д.с.-г.н., доцент, Сумський національний аграрний університет (Україна) | Куриленко А. О., Кучменко О. Б. Вплив передпосівної обробки насіння на амілазну активність, вміст вуглеводів і білків в зерні жита озимого..... | 105 |
| Оничко В. І. , к.с.-г.н., доцент, Сумський національний аграрний університет (Україна) | Мацкевич О. В., Кімейчук І. В., Мацкевич В. В., Павліченко А. А. Трофічні та фітогормональні детермінанти онтогенезу <i>in vitro</i> | 111 |
| Подгасцький А. А. , д.с.-г.н., професор, Сумський національний аграрний університет (Україна) | Машкова К. А., Шарамок Т. С. Аналіз вмісту важких металів у воді та м'язах карася сріблястого (<i>Carassius gibelio</i>) річки Самара Дніпропетровської області..... | 124 |
| Скляр В. Г. , д.б.н., професор, Сумський національний аграрний університет (Україна) | Пліско І. В., Куцова К. М. Просторова неоднорідність структурно-агрегатного складу ґрунтів в межах окремих агроценозів Лівобережного Лісостепу України..... | 131 |
| Скляр Ю. Л. , к.б.н., доцент, Сумський національний аграрний університет (Україна) | Рудик-Леуська Н. Я., Леуський М. В., Макаренко А. А., Євтушенко М. Ю. Сучасний стан видового різноманіття фітопланктону та оцінка якості води Кременчуцького водосховища за індексом сапробності..... | 139 |
| Троценко В. І. , д.с.-г.н., професор, Сумський національний аграрний університет (Україна) | Соколенко С. В., Соколенко Ю. В., Зубенко О. Г., Кобаль І. В., Соколенко В. Л. Співвідношення популяцій целоцитів у <i>Lumbricus terrestris</i> за умов впливу високовольтих ліній електропередач..... | 148 |
| Федорчук М. І. , д.с.-г.н., професор, Миколаївський національний аграрний університет (Україна) | Татарінова В. І., Власенко В. А., Бурдуланюк А. О., Бакуменко О. М., Деменко В. М., Ємець О. М., Рожкова Т. О., Сахошко М. М. Вплив агроекологічних чинників на фітосанітарний стан виноградних агроценозів в умовах північно-східного Лісостепу України..... | 155 |
| Хаблак С. Г. , д.б.н., доцент, AGR group (Україна) | Ткачук О. П., Алексєєв О. О. Технологічні та агроекологічні показники груп сортів сої за стиглістю..... | 165 |
| Ярошук Р. А. , к.с.-г.н., доцент, Сумський національний аграрний університет (Україна) | Ярчук І. І., Мельник Т. В., Погасій В. О. Урожайність та якість зерна пшениці твердої озимої залежно від використання комплексних біологічно активних препаратів..... | 173 |
| Науковий журнал «Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія: Агрономія і біологія» внесений до переліку наукових фахових видань України (категорії «Б») у галузі біологічних наук (091 «Біологія»), природничих наук (101 «Екологія») та аграрних наук і продовольства (201 «Агрономія», 202 «Захист і карантин рослин», 205 «Лісове господарство» та 206 «Садово-паркове господарство»). | Яценко В. В. Вплив обробки посівів часнику амінокислотами на збереженість цибулин..... | 181 |
| Науковий журнал «Вісник Сумського національного аграрного університету» індексується в Міжнародній наукометричній базі Index Copernicus | | |

Матеріали журналу знаходяться
у вільному доступі на сайті
<https://snaubulletin.com.ua/index.php/ab>

Усі статті проходять процедуру
таємного рецензування. До
публікації в журналі не допускаються
матеріали, якщо є достатньо підстав
вважати, що вони є плагіатом.
Відповідальність за точність
наведених даних і цитат
покладається на авторів.
Матеріали друкуються українською
та англійською мовами.
У разі цитування посилання на
«Вісник Сумського національного
аграрного університету» обов'язкове

Друкується згідно з рішенням
вченої ради
Сумського національного
аграрного університету
(Протокол № 3 від 26.09.2022 р.)

Видавництво і друкарня –
Видавничий дім «Гельветика»
65101, Україна, м. Одеса,
вул. Інглєзі, 6/1
Телефони: +38 (095) 934-48-28,
+38 (097) 723-06-08
E-mail: mailbox@helvetica.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої
справи ДК № 7623 від 22.06.2022 р.

Тираж 300 пр.
Зам. № 1122/449

© Сумський національний
аграрний університет, 2022

APPLICATION AND DEVELOPMENT PROSPECT OF RNA INTERFERENCE TECHNOLOGY IN PEST CONTROL

Cao Zhishan

PhD student

Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine

School of Resources and Environment,

Henan Institute of Science and Technology, Xinxiang, China

ORCID: 0000-0003-3127-4592

caozhishan123@163.com

Vlasenko Volodymyr

Doctor (Agricultural Sciences), Professor

Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine

ORCID: 0000-0002-5535-6747

vlasenkova@ukr.net

Chemical pesticides have been gradually replaced by other methods for controlling pests and pathogens in the agriculture, due to the serious “3R” problems (resistance, resurgence, and residue) caused by them. Meanwhile transgenic crops expressing Bacillus thuringiensis (Bt) toxins have been extensively planted for insect pest control, but the evolution of Bt resistance in target pests threatens the sustainability of the approach. The researches to find new ways for controlling pests effectively never stop. Biological control for pest has gained acceptance in recent years with the advantages of no pollution and continuous effects. However, the biological methods are also facing many problems: their effectiveness are strongly affected by environmental factors or the insect host; it is difficult to get large numbers of natural enemies’ insects by artificial reproduction and it is very expensive for producing insect natural enemies in laboratories. With the development of molecular biology technology, it has become a new trend for biological pest control by using modern molecular biological targets. RNA interference (RNAi) is a highly conserved post-transcriptional gene silencing mechanism that existed in insects by which the mRNA is targeted for degradation by the double-stranded RNA (dsRNA) or the inducing homologous mRNA, resulting in the sequence specific inhibition of gene expression. RNAi technology not only plays an important role in the study of insect functional genome, but also has great potential in pest control. RNAi was listed as one of the top ten scientific breakthroughs by Science magazine in 2001, and it was also awarded of the Nobel Prize for its discoverers in 2006. RNAi has high efficiency and strong specificity, and it is widely used for studying the function of the target gene or explore experimental treatment for diseases. When the target genes in insects was knocked down via RNAi, it always led to insect death or behavioral defects. This method is an environmentally friendly biotechnological one for pest control, and it rarely causes resistance with other insecticides. Therefore, RNAi technology is considered as a potential pest control strategy, which has great potential, beneficial in insect protection, development of new pesticide, etc., and this has been successfully used in Hemiptera, Orthoptera, Diptera insects and others. In this paper the silencing mechanism of RNAi, several ways of dsRNA transplanting into insects, and factors determining RNAi efficiency on application of insect are mainly described. Finally, we also reviewed the existing problems and some current solutions of RNAi technology, in order to discuss further the mechanism and existing problems of RNAi that applied in pest control. This will provide a new insight in pest management by RNAi technology.

Key words: RNAi technology, target gene, biological method of pest control, protection against pests in agricultural production.

DOI <https://doi.org/10.32845/agrobio.2022.2.1>

Introduction. RNA Interference (RNAi) is a post-transcriptional gene silencing mechanism by which the expression of homologous endogenous mRNA will be inhibited by the introduction of exogenous dsRNA or small interfering RNA (siRNA). (Moritz et al., 2010; Liu et al., 2012; Xu et al., 2016; Itsathitphaisarn et al., 2017). This phenomenon is widely existing in fungi, plants, animals and other eukaryotes, and it can not only participate the defense and differentiation regulation of cells, but can also resist the invasion of viruses and other exogenous nucleic acids, so that to keep the organism itself in a genetically stable state. (Tijsterman et al., 2002; Voinnet, 2008; Walker & Allen, 2011; Armas-Tizapantzi & Montiel-González, 2016). Fire et al

(1991) firstly discovered the silencing ability of antisense RNA in *Caenorhabditis elegans*. Then in 1998, he described the interfering mediator as being a dsRNA, rather than a single-stranded antisense RNA which led to a Nobel Prize in medicine, and also with possible applications in other fields (Fire et al., 1998; Zotti et al. 2018). During the last thirty decades, significant progresses have been made to understand and unravel several aspects of dsRNA mediated gene silencing. RNAi is a highly protected gene regulation mechanism, which inhibits gene expression and silences specific genes by degrading the mRNA of target genes or binding to the non-transcriptional region at the 3' end of mRNA (Jarvinen et al., 1991; Wianny & Zernicka-Goetz, 2000;

Carthew & Sontheimer, 2009; Berezikov, 2011; Liu et al., 2017). Additionally, RNAi has been proved to be very promising in many research fields, in particular, study the gene function determination in genomics and control of cancers and viral disease by the mechanism of gene knockdown in eukaryotes. Meanwhile, as a new specific method, RNAi has shown great potential for pest control in agriculture (Borovsky, 2005; Gordon & Waterhouse, 2007; Price & Gatehouse, 2008).

As a gene silencing method, RNAi played an important role in advancing insect science and helped in identifying functions of many genes involved in physiological, metamorphic, behavioral and reproductive processes of insects (Palli, 2014; Mallikarjuna et al., 2016). Silencing important gene expression will lead to the death or behavioral defect of some insects, so the technology is considered as a potential pest control strategy (Bettencourt et al., 2002; Zotti & Smagghe, 2015; Whitten et al., 2016). RNAi has great potential in insect control and protection, and it has been widely applied in the *Hemiptera*, *Orthoptera*, *Diptera* insects, etc. (Wang et al., 2006; Turner et al., 2006; Zha et al., 2011; Huvenne & Smagghe, 2010; Swevers & Smagghe, 2012; Li et al., 2013). In recent years, the researches about pest control and target agents have been developing rapidly and they have attracted more attention. In this paper the mechanism, introducing methods of RNAi, biological control, factors effecting the efficiency of RNAi, insect resistance are synthetically analyzed and evaluated and provided the reference for researchers in related fields. We also reviewed the feasibility, application methods, existing problems and some current solutions of RNAi technology.

The principle of RNAi and its application in agricultural pest control

It is clear that in many eukaryotes the dsRNA-mediated gene silencing is a relatively conserved mechanism (Hannon, 2002; Geley & Muller, 2004). The dsRNA can be delivered to insects by microinjection (Ren et al., 2018) and artificial diet feeding or introduced into insect systems by spraying onto infested crops (Yu et al., 2014; Guo et al., 2016). The whole of dsRNA silencing process contains the three stages: initiation, maintenance, signal amplification (Cao et al., 2016). Once the dsRNA entered into the insect cell, Dicer RNase III can recognize and cleave it into siRNA which was duplexes composed of approximately 21 to 23 nt. The siRNAs are then loaded in the RNA-induced silencing complex (RISC) that guides degradation or translational inhibition of homologous mRNA, resulting in RNAi-mediated silencing of the target gene in insects (Huvenne & Smagghe, 2010; Terenius et al., 2011).

The advent of RNAi represents a new way for pest control, and it also open the door for studying gene functions. Bettencourt et al. (2002) firstly applied this technology on *Lepidoptera* insect by injecting the dsRNA into *hemolin* inhibiting hemagglutinin gene in the pupal stage of *Hyalophora cecropia*, which lead to the deformity and death of the next generation of embryos. Since then, this technology has been effectively carried out in a wide range of insect species with some promising results (Zhang et al., 2017; Niu et al., 2018; Zotti et al., 2018). Recently reports shows that when

the *tim* gene related to rhythmic behavior of *Laodelphax striatellus* (*Hemiptera: Delphacidae*) are knockdown, it will lead to the rhythm disorders of its adult (Jiang et al., 2018). Deng et al. (2018) synthesized dsRNA of insulin/insulin-like growth receptor of *Leptinotarsa decemlineata*, then he fed to the larvae by the *Solanum tuberosum* leaves that soaked in dsRNA suspension, as a result, the larval development was postponed and larval growth was inhibited. Majidiani et al. (2019) immersed the root system of tomato plant in a solution containing dsRNA, and mortality rate of the tomato pest reach to astounding 80%. RNAi prevents protein synthesis by interfering with the transcription and translation process of genes related to pest growth and development, resistance, immunity and oviposition, which resulting in reduced adaptability or death of pests. This technique has been seen as an alternative to usage of pesticide and also reduced the damage to the environment.

Factors determining RNAi efficiency on application of insect

The feasibility of RNAi technology has been widely accepted, due to its sequence specificity, it can get good result for controlling of species-specific pests. RNAi showed great potential on agriculture applications and it has made great progress in pest control (Joga et al., 2016; Guan et al., 2017, 2018; Mamta & Rajam, 2017; Qi et al., 2019; Rani Das & Sherif, 2020). However, the efficiency of RNAi is easily affected by a variety of factors, which is the most important issues at present. The RNAi efficacy is depended on various insect species, target genes, mode of dsRNA delivery, stable expression of dsRNA (Prentice et al., 2015). The length of expressed dsRNA is also an important factor affecting RNAi efficiency in some insect species (Khan et al., 2013; Wynant et al., 2014a, b; Wang et al., 2016; Song et al., 2017).

Mode of dsRNA delivery ways into insects

Microinjection. Microinjection is a classical method of dsRNA delivery to target insect tissues to initiate an RNAi response. It is considered the preferred approach and offers unique benefits by delivering precise amounts of RNAi molecules into egg, nymph and adults easily and effectively (Yu et al., 2012). The *Drosophila melanogaster*, *Tribolium castaneum*, *Anopheles gambiae* were the first insects that using RNAi method by microinjection of dsRNA (Blandin et al., 2002; Barinova et al., 2007; Kennerdell & Carthew, 1998; Mahaffey et al., 2003). Since then, this technique was widely applied to many other insects, including *Bombyx mori*, *Bees*, *Blattodea*, and other species of *Diptera* and *Orthoptera* (Bellés, 2010; Gu & Knipple, 2013; Scott et al. 2013). In vitro synthesis of dsRNA has been commercialized. The key step of this delivery method is the microinjection process. However, it is difficult to achieve RNAi via microinjection for small insects, meanwhile the mechanical damage and using of anesthetic during the injection also affected RNAi efficiency (Svoboda et al., 2000; Wuriyanghan et al., 2011; Liu et al., 2010; Yan et al., 2020).

Feeding. Feeding is a more popular strategy than microinjection with little damage to insect body, and it has higher application value for pest control based on RNAi. Feeding may also lead to novel methods for pest control by dsRNA

transgenic plants (Price & Gatehouse, 2008). At present, a fixed method of feeding operation has been developed in insects such as *Bees*, *Aphids*, *Bemisia tabaci* and Species of *Delphacidae* (Jarosch & Moritz, 2011; Li et al., 2011; Mutti et al., 2006; Thakur et al., 2011; Whyard et al., 2009). The dsRNA was fed to bees mixed with the appropriate amount of honey. In *Aphids*, *Bemisia tabaci* and *Delphacidae*, dsRNA was mixed with liquid artificial diet, and the solution is sealed with parafilm, so insects can absorb and deliver by piercing-sucking mouthparts. However, in *Diptera* insects, the RNAi efficiency and the consistent by feeding of synthetic dsRNA directly are worse than injection (Cooper et al., 2018; Scott et al., 2013). In *Lepidoptera* and *Orthoptera* species, compared to injection, feeding of dsRNA also could not achieve of good RNAi efficiency (Garbutt et al., 2013; Luo et al., 2013; Wang et al., 2016). While in *Coleoptera*, both feeding and injection have equal RNAi efficiency (Liu et al., 2015; Chitvan et al., 2018; Price & Gatehouse, 2008). Researchers speculated that the degradation of dsRNA in the intestinal tract of insects and the different absorption capacity of cells might affect the feeding effect of dsRNA (Christiaens et al., 2014; Garbutt et al., 2012; Luo et al., 2013).

2.3. Other methods. Another approach is to express dsRNA in host plants, which the insects then feed on. At present, this technology has been applied in corn, tobacco and other crops, which can control tobacco moth and corn root and leaf pests effectively (Baum et al., 2007; Joga, et al., 2016; Zhang et al., 2017). But the biggest problem of this technology is safety, and long-time basic researches are needed to determine its potential threat to humans, the environment, and other non-conventional organisms (Heinemann et al. 2013). Besides, delivery of dsRNA using nanoparticle carriers can enhance RNAi efficiency effectively, and it is the most innovative approaches at present which attracted more and more people's attention (Das et al., 2015; Christiaens et al., 2018; Zheng et al., 2019).

3. Life stage and insect species

The life-stage of the insect is often a key factor for RNAi efficiency. Although adult stage insects are often more easily handled than larvae stage, gene silencing effects are generally more prominent in the early and immature development stages. For example, in *Rhodnius prolixus*, the dsRNA of nitrospin 2 gene had no silencing effect on the 4th instar larvae, but had 42% silencing effect on the 2nd instar larvae (Araujo, et al., 2006); in *Spodoptera frugiperda*, the 5th instar larvae induced a stronger silencing effect than the adults stage (Griebler et al., 2008). Insect species can also affect the RNAi efficiency. Some studies have shown that the RNAi efficiency of *Coleoptera* is much higher than that on *Lepidoptera* species (Zhu et al., 2011; Scott et al., 2013; Palli, 2014). The gene knockdown rate in *Coleoptera* is often 90% or higher, in contrast, in other order insects, that is around 60% or lower (Baum et al., 2007; Bolognesi et al., 2012; Rangasamy & Siegfried, 2012). In *Diptera*, the efficiency differentiation of RNAi is more obvious. For example, the model organism of *Drosophila melanogaster* is much less sensitive to RNAi than *Aedes aegypti* (Scott et al., 2013). Both feeding and injection of dsRNA can produce significant RNAi effects in mosquitoes, while injection

of dsRNA cannot stimulate effective RNAi responses in *Drosophila melanogaster* (Miller et al., 2008).

4. Target gene selection of insects

Target gene is the most important factor for the success of RNAi. Firstly, the RNAi sensitivity of different target genes in the same insect was significantly different. Terenius et al. (2011) reported that, the immune-related genes had better RNAi efficiency than epidermis gene among *Lepidoptera* insects. Secondly, different dsRNA segments of the same gene also produce differences in RNAi efficiency. Li et al. (2011) demonstrated that in *Nilaparvata lugens*, the RNAi efficiency was lowest when the dsRNA fragment located in the 5' coding region, while the RNAi efficiency was the highest when the fragment located on the 3' coding region or non-coding region. Finally, the length and optimal concentration of dsRNA are also very important for RNAi efficiency (Bolognesi et al., 2012). Studies have shown that RNAi efficiency is positively correlated with length of dsRNA. For example, in *Drosophila* S2 cell, the longer fragment of dsRNA has higher RNAi efficiency (Saleh et al., 2006). In *Tribolium castaneum*, length of dsRNA between 69 bp to 520 bp had high RNAi efficiency, but long fragment stimulated RNAi more obviously (Miller et al., 2012). However, in practical applications, especially in pest control, longer dsRNA fragments may bring more off-target effects, or cause harm to non-target insects.

5. The advantages and challenges of RNAi in pest control applications

RNAi is a potential bio-insecticide, compared with traditional chemical method, its advantages are as follows: (1) it is highly specific technology, and act as a pesticide resistance repressor by targeting essential genes; it can kill the target specific pests while leaving other species unharmed; (2) it is environmental-friendly method and has unknown any toxic effects on the ecosystem; (3) it can also solve the problem of pesticide resistance, if the insecticide resistance associated gene be silenced by RNAi; it will increase insect sensitivity to insecticides, then improve insecticide efficiency and reduce the amount of chemical pesticide use. (Kurreck et al., 2009; Bautista et al., 2009; Scott et al., 2013; Borel, 2017; Sparks & Nauen, 2015 ; Liu et al., 2020). Recent research suggests another desirable prospect of RNAi. We can silence the insects' pheromone receptors by RNAi, which will block the communication systems of mating behavior or host-seeking pests, then the pest population will effectively be controlled (Turner et al., 2006; Trivedi, 2010; Zhao et al., 2011).

This technology demonstrates its potential to control pests, however, there are a few challenges in the process of pest management use, such as dsRNA uptake, stability and recalcitrance of insect species (Zhang et al., 2013). The dsRNA is easily degraded before ingested, and variability in specificity within species is differ (Kourti et al., 2017, Kunte et al., 2020). In addition, we also need to focus on the practicability of RNAi production applications. At present, the dsRNA production has been commercial one, but it is quite expensive, limited by small-scale production, and prone to false amplification (Dubrovina et al., 2019; Voloudakis et al., 2015; Alvarez-Sanchez et al., 2017).

Conclusions. In summary, RNAi is a natural mechanism found in most eukaryotic organisms. Researches on applications of RNAi for pest control have made an outstanding growth. It is becoming apparent that RNAi-based approaches can make a major contribution towards integrated pest management and sustainable agriculture. The application of RNAi has helped scientists to find a possible solution to the global problems of agricultural losses attributed to insects and pathogens in a sustainable way, and this technology has raised more attentions. At present, there are also some prob-

lems in the application of RNAi technology in pest control. The RNAi efficiency varies greatly among different target genes and different insects. Especially, *Lepidoptea* species are serious agricultural pests, but most species are not sensitive to RNAi. At present, more and more researches are applied to improving the RNAi efficiency, such as liposome modification and nano particle embedding method, which can reduce the degradation efficiency of dsRNA and promoting the study of insect RNAi technology. We need to do more research in order to applicate better this technology in pest control.

References:

1. Alvarez-Sanchez, A.R., Romo-Quinones, C., Rosas-Quijano, R., Reyes, A.G., Barraza, A., Magallon-Barajas, F., Angul, C. & Mejía-Ruí, C.H. (2017). Production of specific dsRNA against white spot syndrome virus in the yeast *Yarrowia lipolytica*. *Aquaculture Research*, 1–12. doi: 10.1111/are.13479
2. Araujo, R.N., Santos, A., Pinto, N.F., Lehane, M.J. & Pereira, M.H. (2006). RNA interference of the salivary gland nitrophorin 2 in the triatomine Bug *Rhodnius prolixus* (Hemiptera: Reduviidae) by dsRNA ingestion or injection *Insect Biochem. Molecular Biology*, 36(9), 683–693. doi: 10.1016/j.ibmb.2006.05.012
3. Armas-Tizapantzi, A. & Montiel-González, A.M. (2016). RNAi silencing: A tool for functional genomics research on fungi. *Fungal Biology Reviews*, 30(3), 91–100.
4. Barinova, Y., Dietzl, G., Dickson, B. J., Fellner, M., Opiel, S., Su, K.C., Kinsey, K., Gasser, B., Marra, V., Keleman, K., Couto, A.D., Scheiblaue, S. & Schnorrer, F. (2007). A genome-wide for transgenic RNAi library conditional gene inactivation in *Drosophila*. *Nature*, 448, 151–156.
5. Baum, J.A., Bogaert, T., Clinton, W., Heck, G.R., Feldmann, P., Ilagan, O., Johnson, S., Plaetinck, G., Munyikwa, T. & Pleau, M. (2007). Control of coleopteran insect pests through RNA interference. *Nat. Biotechnology*. 25, 1322–1326. doi: <http://dx.doi.org/10.1038/nbt1359>
6. Bautista, M.A.M., Miyata, T., Miura, K. & Tanaka, T. (2009). RNA interference-mediated knockdown of a cytochrome P450, CYP6BG1, from the diamondback moth, *Plutella xylostella*, reduces larval resistance to permethrin. *Insect Biochemistry and Molecular Biology*, 39, 38–46.
7. Bellés, X. (2010). Beyond *Drosophila*: RNAi In Vivo and Functional Genomics in Insects. *Annual Review of Entomology*, 55, 111–128. doi: 10.1146/annurev-ento-112408-085301
8. Berezikov, E. (2011). Evolution of microRNA diversity and regulation in animals. *Nature Review Genetics*, 12(12), 846–860.
9. Bettencourt, R., Terenius, O. & Faye, I. (2002). Hemolin gene silencing by ds-RNA injected into *Cecropia* pupae is lethal to next generation embryos. *Insect Molecular Biology* 11(3), 267–271.
10. Blandin, S., Moita, L. F., Kocher, T., Wilm, M., Kafatos, F. C. & Levashina, E. A., (2002). Reverse Genetics in the mosquito *Anopheles gambiae*: Targeted disruption of them the Defensin gene. *the EMBO Report*. 3, 852–856.
11. Bolognesi, R., Ramaseshadri, P., Anderson, J., Bachman, P., Clinton, W., Flannagan, R., Oliver, I., Christina, L., Steven, L. & William, M. (2012). Characterizing the mechanism of action of double-stranded RNA activity against western corn rootworm (*Diabrotica virgifera virgifera* LeConte). *PLoS ONE*, 7, e47534. doi: 10.1371/journal.pone.0047534
12. Borel, B. (2017). CRISPR, microbes and more are joining the war against crop killers. *Nature*, 543, 302–304.
13. Borovsky, D. (2005). Insect peptide hormones and RNA-mediated interference (RNAi): promising technologies for future plant protection. *Phytoparasitica* 33, 109–112.
14. Cao, J.Y., Xu, Y.P., Li, W., Li, S.S., Rahman, H. & Cai, X.Z. (2016). Genome-Wide Identification of Dicer-Like, Argonaute, and RNA-Dependent RNA Polymerase Gene Families in Brassica Species and Functional Analyses of Their Arabidopsis Homologs in Resistance to *Sclerotinia sclerotiorum*. *Frontiers in Plant Science*, 7, 1614. doi: 10.3389/fpls.2016.01614
15. Carthew, R.W. & Sontheimer, E.J. (2009). Origins and mechanisms of miRNAs and siRNAs. *Cell*, 136(4), 642–655.
16. Chitvan, K., Sergey, I., Elizabeth, W., Lex, F., William, M., Michael, P., Kaylee, M., Zhang, Y., Parthasarathy, R. & Jiang, C. (2018). Development and characterization of the first dsRNA-resistant insect population from western corn rootworm, *Diabrotica virgifera virgifera* LeConte. *PLoS One*, 3, 1–19.
17. Christiaens, O., Swevers, L. & Smaghe, G. (2014). dsRNA degradation in the pea aphid (*Acyrtosiphon pisum*) associated with lack of response in RNAi feeding and injection assay. *Peptides*, 53, 307–314.
18. Christiaens, O., Tardajos, M. G., Martinez Reyna, Z.L., Dash, M., Dubruel, P. & Smaghe, G. (2018). Increased RNAi efficacy in *Spodoptera exigua* via the formulation of dsRNA with guanlylated polymers. *Frontiers in Physiology*, 9, 316.
19. Cooper, A.M.W., Silver, K., Zhang, J. & Park, Y. (2018). Molecular mechanisms of them influencing efficiency RNA interference in insects. *Pest Management Science*, 75, 18–28.
20. Das, S., Debnath, N., Cui, Y., Uhrine, J. & Palli, S.R. (2015). Chitosan, carbon quantum dot, and silica nanoparticle mediated dsRNA delivery for gene silencing in *Aedes aegypti*: A comparative analysis. *ACS. Applied Materials and Interfaces*, 7(35), 19530–19535.
21. Deng, P., Xu, Q.Y., Fu, K.Y., Guo, W.C. & Li, G.Q. (2018). RNA interference against the putative insulin receptor substrate gene chico affects metamorphosis in *Leptinotarsa decemlineata*. *Insect Biochemistry and Molecular Biology*, 103, 1–11. doi: <http://dx.doi.org/10.2144/btn-2019-0171>
22. Dubrovina, A.S., Aleynova, O.A., Kalachev, A.V., Suprun, A.R., Zlata, V. & Ogneva, Z.V. (2019). Induction of transgene suppression in plants via external application of synthetic dsRNA. *International Journal of Molecular Sciences*, 20, 1585. doi: 10.3390/ijms20071585

23. Fire, A., Xu, S.Q., Montgomery, M.K., Steven, A.K., Samuel, E.D. & Craig, C.M. (1998). Potent and specific genetic interference by double-stranded RNA in *Caenorhabditis elegans*. *Nature*, 391, 806–811.
24. Garbutt, J.S. & Reynolds, S. E. (2012). Induction of RNA interference genes by double-stranded RNA; implications for susceptibility to RNA interference. *Insect Biochemistry & Molecular Biology* – 42, 621–628.
25. Garbutt, J.S. Belles, X. Richards, E.H. & Reynolds, S.E. (2013). Persistence of double-stranded RNA in insect hemolymph as a potential determinant of RNA interference success: Evidence from *Manduca sexta* and *Blattella germanica*, *Journal of Insect Physiology*, 59, 171–178.
26. Geley, S. & Muller, C. (2004). RNAi: ancient mechanism with a promising future. *Experimental Gerontology*, 9, 985–998.
27. Gordon, K.H.J. & Waterhouse, P.M. (2007). RNAi for insect-proof plants. *Nature Biotechnology* 25, 1231–1232.
28. Griebler, M., Westerlund, S.A., Hoffmann, K.H. & Meyering-Vos, M. (2008). RNA interference with the allatopregulating neuropeptide genes from the fall armyworm *Spodoptera frugiperda* and its effects on the JH titer in the hemolymph. *Journal of Insect Physiology*, 54, 997–1007.
29. Gu, L. & Knipple, D.C. (2013). Recent advances in RNA interference research in insects: Implications for future insect pest management strategies. *Crop Protection*, 45, 36–40. doi: 10.1016/j.cropro.2012.10.004
30. Guan, R.B., Li, H.C. & Miao, X.X. (2017). RNAi pest control and enhanced BT insecticidal efficiency achieved by dsRNA of chymotrypsin-like genes in *Ostrinia furnacalis*. *Journal of Pest Science*, 90(2), 745–757.
31. Guan, R.B., Li, H.C. & Miao, X.X. (2018). Prediction of effective RNA interference targets and pathway-related genes in lepidopteran insects by RNA sequencing analysis. *Insect Science*, 25(3), 356–367.
32. Guo, Q., Liu, Q., Smith, N.A., Liang, G. & Wang, M.B. (2016). RNA Silencing in Plants: mechanisms, technologies and applications in horticultural crops. *Current Genomics*, 17, 476–489. doi: 10.2174/1389202917666160520103117
33. Hannon, G.J. (2002). RNA interference. *Nature*, 418, 244–251.
34. Heinemann, J.A., Agapito-Tenfen, S.Z. & Carman, J.A. (2013). A comparative evaluation of the regulation of GM crops or products containing dsRNA and suggested improvements to risk assessments. *Environment International*, 55, 43–55.
35. Huvenne, H. & Smagghe, G. (2010). Mechanisms of dsRNA uptake in insects and potential of RNAi for pest control: a review. *Journal of Insect Physiology*. 56(3), 227–235.
36. Itsathitphisarn, O., Thitamadee, S., Weerachatanukul, W. & Sritunyalucksana, K. (2017). Potential of RNAi applications to control viral diseases of farmed shrimp, *Journal of Invertebrate Pathology*, 147, 76–85. doi: 10.1016/j.jip.2016.11.006
37. Jarosch, A. & Moritz, R.F. (2011). Systemic RNA-interference in the honeybee *Apis mellifera*: Tissue dependent uptake of the fluorescent siRNA after intra-abdominal application observed by laser-scanning microscopy. *Journal of insect physiology*, 57, 851–857.
38. Jarvinen, P., Oivanen, M. & Lonnberg, H. (1991). Interconversion and Phosphoester Hydrolysis of 2',5'-and 3',5'-dinucleoside Monophosphates: Kinetics and Mechanisms. *The Journal of Organic Chemistry*, 56, 5396-5401.
39. Jiang, Y.D., Yuan, X., Bai, Y.L., Wang, G.Y., Zhou, W.W. & Zhu, Z.R. (2018). Knockdown of timeless disrupts the circadian behavioral rhythms in *Laodelphax striatellus* (Hemiptera: Delphacidae). *Environmental Entomology*, 47(5), 1216–1225.
40. Joga, M.R., Zotti, M.J., Smagghe, G. & Christiaens, O. (2016). RNAi efficiency, systemic properties, and novel delivery methods for pest insect control: what we know so far. *Frontiers in Physiology*, 7, 553.
41. Kennerdell, J.R. & Carthew, (1998). Use of the dsRNA-mediated based interference to Demonstrate that fiizzled and fiizzled 2 act in the wingless pathway. *Cell*, 95, 1017–1026.
42. Khan, A.M., Ashfaq, M., Zsofia, K., Abbas, K.A., Mansoor, S. & Falk, B.W. (2013). Use of Recombinant Tobacco Mosaic Virus to Achieve RNA Interference in Plants against the Citrus Mealybug, *Planococcus citri* (Hemiptera: Pseudococcidae). *PLoS One*, 8(9), e73657. doi: 10.1371/journal.pone.0073657.
43. Kourtis, A., Swevers, L. & Kontogiannatos, D. (2017). "In search of new methodologies for efficient insect pest control: "the RNAi" "movement", in *Biological Control of Pest and Vector Insects*. ed. V. D. C. Shields (London, UK: IntechOpen Limited).
44. Kunte, N., McGraw, E., Bell, S., Held, D. & Avila, L.A. (2020). Prospects, challenges and current status of RNAi through insect feeding. *Pest Management Science*, 76, 26–41. doi: 10.1002/ps.5588
45. Kurreck, J. (2009) RNA interference: From basic research to therapeutic applications. *Angewandte Chemie (International Edition in English)*, 48, 1378–1398.
46. Li, J., Chen, Q., Lin, Y., Jiang, T., Wu, G. & Hua, H. (2011). RNA interference in *Nilaparvata lugens* (Homoptera: Delphacidae) -based on dsRNA ingestion. *Pest Management Science*, 67, 852–859.
47. Li, J., Wang, X.P., Wang, M.Q., Ma, W.H. & Hua, H.X. (2013). Advances in the use of the RNA interference technique in Hemiptera. *Insect Science*, 20, 31–39. doi: 10.1111/j.1744-7917.2012.01550.x
48. Liu, F. Z., Li, X., Zhao, M.H., Guo, M.J., Han, K.H., Dong, X.X., Zhao, J., Cai, W. L., Zhang, Q.F. & Hua, H.X. (2020). Ultrathorax is a key regulator for the dimorphism of wings, a main cause for the outbreak of planthoppers in rice. *National Science Review*, 7(7), 1181–1189.
49. Liu, Q., Zhou, H., Zhang, K., Shi, X. X., Fan, W. Zhu, R. X., Yu, P. S. & Cao, Z.W. (2012). In Silico Target-Specific siRNA Design Based on Domain Transfer in Heterogeneous Data. *PLoS One*, 7(12), e50697. doi: 10.1371/journal.pone.0050697.
50. Liu, S.H., Ding, Z.P., Zhang, C.W., Yang, B.J. & Liu, Z.W. (2010). Gene knockdown by intro-thoracic injection of double-stranded RNA in the brown planthopper, *Nilaparvata lugens*. *Insect Biochemistry and Molecular Biology*, 40, 666–671.
51. Liu, S.R., Zhou, J.J., Hu, C.G., Wei, C.L. & Zhang, Z.J. (2017). MicroRNA-Mediated Gene Silencing in Plant Defense and Viral Counter-Defense. *Frontiers in Microbiology*, 8: 1801. doi: 10.3389/fmicb.2017.01801
52. Liu, X.P., Yun, K., Qing, F., Shi, F.G., Guo, J.F. & Chao, W. (2015). Functions of nuclear receptor HR3 during larval-pupal molting in *Leptinotarsa decemlineata* (Say) revealed by in vivo RNA interference. *Insect Biochemistry and Molecular Biology*, 63, 23–33.

53. Luo, Y., Wang, X., Wang, X., Yu, D.B. & Kang, L. (2013). Differential responses of Migratory locusts to systemic RNA interference via double-stranded RNA injection and bean. *Insect Molecular Biology*, 22, 574–583.
54. Mahaffey, J.P., Denell Brown, S.J., Mahaffey, J.W. & Lorenzen, M.D. (2003). Using RNAi to investigate orthologous homeotic gene function during development of them distantly related insects. *Evolution & Development*, 1, 11–15.
55. Majidiani, S., PourAbad, R. F., Laudani, F., Campolo, O., Zappalà, L. & Rahmani, S. (2019). RNAi in *Tuta absoluta* management: effects of injection and root delivery of dsRNAs. *Journal of Pest Science*, 92, 1409–1419. doi: 10.1007/s10340-019-01097-6
56. Mallikarjuna, R.J., Moises, J.Z., Guy, S. & Olivier, C. (2016). RNAi Efficiency, Systemic Properties, and Novel Delivery Methods for Pest Insect Control: What We Know So Far. *Frontiers in Physiology*, 7, 553. doi: 10.3389/fphys.2016.00553
57. Mamta, B. & Rajam, M.V. (2017). RNAi technology: a new platform for crop pest control. *Physiology and Molecular biology of Plants*, 23(3), 487–501.
58. Miller, C., Miyata, K., Brown, S.J. & Tomoyasu, Y. (2012). Dissecting Systemic RNA interference in the Red Flour Beetle *Tribolium castaneum*: Parameters Affecting the Efficiency of them RNAi. *PLoS One*, 7.
59. Miller, S.C., Brown, S.J. & Tomoyasu, Y. (2008). Larval RNAi in *Drosophila*? *Development Genes and Evolution*, 218, 505–510.
60. Moritz, G., Thomas, H., Zeynep, A., Oliver, P., Evgeny, K. & Michael, B. (2010). Genome RNAi: a database for cell-based RNAi phenotypes. 2009 update. *Nucleic Acids Research*, 38, D448–D452. doi: 10.1093/nar/gkp1038
61. Mutti, N.S., Park, Y., Reese, J.C. & Reeck, G.R. (2006). RNAi Knockdown of them a Salivary Transcript leading to lethality in the Pea Aphid, *Acyrtosiphon pisum*. *Journal of Insect Physiology*, 6, 1–7.
62. Niu, J., Shen, G., Christiaens, O., Smaghe, G., He, L. & Wang, J. (2018). Beyond insects: current status, achievements and future perspectives of RNAi in mite pests. *Pest Management Science*, 74(12), 2680–2687.
63. Palli, S.R. (2014). RNA interference in Colorado potato beetle: steps toward development of dsRNA as a commercial insecticide. *Current Opinion in Insect Science*, 6, 1–8. doi: 10.1016/j.cois.2014.09.011
64. Prentice, Katterinne., Pertry, I., Christiaens, O., Bauters, L., Bailey, A., Niblett, C., Ghislain, M., Gheysen, G. & Smaghe, G. (2015). Transcriptome Analysis and Systemic RNAi Response in the African Sweetpotato Weevil (*Cylas puncticollis*, Coleoptera, Brentidae). *PLoS One*, 10(1), e0115336. doi: 10.1371/journal.pone.0115336
65. Price, D.R. & Gatehouse, J.A. (2008). RNAi-mediated crop protection against insects. *Trends Biotechnology*, 26, 393–400.
66. Qi, T., Guo, J., Peng, H., Liu, P., Kang, Z. & Guo, J. (2019). Host-induced gene silencing: a powerful strategy to control diseases of wheat and barley. *International Journal of Molecular Sciences*, 20, E206. doi: 10.3390/ijms20010206
67. Rangasamy, M. & Siegfried, B. D. (2012). Validation of RNA interference in western corn rootworm *Diabrotica virgifera virgifera* LeConte (Coleoptera, Chrysomelidae) adults. *Pest Management Science*, 68, 587–591. doi: 10.1002/ps.2301
68. Rani Das, P. & Sherif, S.M. (2020). Application of Exogenous dsRNAs-induced RNAi in Agriculture: Challenges and Triumphs. *Frontiers in Plant Science*, 11, 946. doi: 10.3389/fpls.2020.00946.
69. Ren, Z.W., Zhuo, J.C., Zhang, C.X. & Wang, D. (2018). Characterization of *NIHox3*, an essential gene for embryonic development in *Nilaparvata lugens*. *Archives of Insect Biochemistry and Physiology*, 98, e21448.
70. Saleh, M.C., Tassetto, M., van Rij, R.P., Goic, B., Gausson, V., Berry, B., Jacquier, C., Antoniewski, C. & Andino, R. (2009). Antiviral immunity in *Drosophila* the requires systemic RNA interference spread. *Nature*, 458, 346–350.
71. Scott, J.G., Michel, K., Bartholomay, L.C., Siegfried, B.D., Hunter, W.B., Smaghe, G., Zhu, K.Y. & Douglas, A.E. (2013). Towards the elements of successful insect RNAi. *Journal of Insect physiology*, 59(12), 1212–1221.
72. Song, H.F., Zhang, J.Q., Li, D.Q., Cooper, A.M.W., Silver, K., Li, T., Liu, X.J., Ma, E.B., Zhu, K.Y. & Zhang, J.Z. (2017). A double-strand RNA degrading enzyme reduces the efficiency of oral RNA interference in migratory locust. *Insect Biochemistry and Molecular Biology*, 86, 68–80.
73. Sparks, C. & Nauen, R. (2015). IRAC: Mode of action classification and insecticide hold management. *Pesticides Biochemical physiology*, 121, 122–128.
74. Svoboda, P., Stein, P., Hyashi, H. & Schultz, R.M. (2000). Selective reduction of dormant maternal m RNAs in mouse oocytes by RNA interference. *Development*, 127, 4147–4156.
75. Swevers, L. & Smaghe, G. (2012). Use of RNAi for Control of Insect Crop Pests. In *Arthropod-Plant Interactions*. Netherlands: Springer; 177–197.
76. Terenius, O., Papanicolaou, A., Garbutt, J.S., Eleftherianos, I., Huvenne, H., Kanginakudru, S., Albrechtsen, M., An, C., Aymeric, J.L., Barthel, A., Bebas, P., Bitra, K., Bravo, A., Chevalier, F., Collinge, D.P., Crava, C.M., De Maagd, R.A., Duvic, B., Erlandson, M., Faye, I., Felfoldi, G., Fujiwara, H., Futahashi, R., Gandhe, A.S., Gatehouse, H.S., Gatehouse, L.N., Giebultowicz, J.M., Gomez, I., Gimmelikhuijzen, C.J., Groot, A.T., Hauser, F., Heckel, D.G., Hegedus, D.D., Hrycaj, S., Huang, L., Hull, J.J., Iatrou, K., Iga, M., Kanost, M.R., Kotwica, J., Li, C., Li, J., Liu, J., Lundmark, M., Matsumoto, S., Meyering-Vos, M., Millichap, P. J., Monteiro, A., Mrinal, N., Niimi, T., Nowara, D., Ohnishi, A., Oostra, V., Ozaki, K., Papakonstantinou, M., Popadic, A., Rajam, M. V., Saenko, S., Simpson, R.M., Soberon, M., Strand, M.R., Tomita, S., Toprak, U., Wang, P., Wee, C.W., Whyard, S., Zhang, W., Nagaraju, J., French-Constant, R.H., Herrero, S., Gordon, K., Swevers, L. & Smaghe, G. (2011). RNA interference in Lepidoptera: an overview of successful and unsuccessful studies and implications for experimental design. *Journal of Insect Physiology*, 57, 231–245.
77. Thakur, N., Singh, P. K., Borgio, J.F., Upadhyay, S.K., Verma, P.C., Tuli, R. & Chandrashekar, K. (2011). RNA Interference for the control of whiteflies (*Bemisia tabaci*) by oral route. *Journal of Biosciences*, 36, 153–161.
78. Tijsterman, M., Ketting, R. F. & Plasterk, R.H.A. (2002). The genetics of RNA silencing. *Annual Review of Genetics*, 36, 489–519. doi: 10.1146/annurev.genet.36.043002.091619.
79. Trivedi, B. (2010) Bug silencing: the next generation of pesticides. *The New Scientist*, 205, 34–37.

80. Turner, C.T., Davy, M.W., MacDiarmid, R.M., Plummer, K.M., Birch, N.P. & Newcomb, R.D. (2006). RNA interference in the light brown apple moth, *Epiphyas postvittana* Walker) induced by double-stranded RNA feeding. *Insect Molecular Biological*, 15, 83–391.
81. Voinnet, O. (2008). Post-transcriptional RNA silencing in plant-microbe interactions: a touch of robustness and versatility. *Current Opinion in Plant Biology*, 11(4), 464–470. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.pbi.2008.04.006>.
82. Voloudakis, A.E., Holeva, M.C., Sarin, L.P., Bamford, D.H., Vargas, M. & Poranen, M.M. (2015). "Efficient double-stranded RNA production methods for utilization in plant virus control. chapter 19," in *Plant Virology Protocols, Methods in Molecular Biology*. Eds. I. Uyeda and C. Masuta (New York, U.S.A: Humana Press).
83. Walker, W. B. & Allen, M. L. (2011). RNA interference mediated knockdown of IAP in *Lygus lineolaris* induces mortality in adult and pre-adult life stages. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 138, 83–92.
84. Wang, K.X., Peng, Y.C., Pu, J., Fu, W.X., Wang, J.L. & Han, Z.J. (2016). Variation in RNAi efficacy among insect species is attributable to dsRNA degradation in vivo. *Insect Biochemistry and Molecular Biology*, 77, 1–9.
85. Wang, X.H., Aliyari R., Li, W.X., Li, H.W., Kim, K. & Carthew, R. (2006). RNA interference directs innate immunity against viruses in adult *Drosophila*. *Science*, 312, 452–454. doi: 10.1126/science.1125694
86. Whitten, M.M.A., Facey, P.D., Del, S.R., Fernández-Martínez, L.T., Evans, M.C., Mitchell, J.J., Bodger, O.G. & Dyson, P.J. (2016). Symbiont-mediated RNA interference in insects. *Proceedings of the Royal Society B-Biological Sciences*, 283, 20160042.
87. Whyard, S., Singh, S. D. & Wong, S. (2009). Ingested double-stranded RNAs can act as species-specific insecticides. *Insect Biochemistry and Molecular Biology*, 39, 824–832.
88. Wianny, F. & Zernicka-Goetz, M. (2000). Specific interference with gene function by double-stranded RNA in early mouse development. *Nature Cell Biology*, 2(2), 7–75.
89. Wuriyangan, H., Rosa, C. & Falk, B.W. (2011) Oral delivery of double-stranded RNAs and siRNAs induces RNAi effects in the potato/tomato psyllid, *Bactericerca cockerelli*. *PLoS ONE*, 6 (11), e27736
90. Wynant, N., Santos, D., Van Wielendaele, P. & Vanden Broeck, J. (2014a). Scavenger receptor-mediated endocytosis facilitates RNA interference in the desert locust, *Schistocerca gregaria*. *Insect Molecular Biology*, 23(3), 320–329.
91. Wynant, N., Santos, D., Verdonck, R., Spit, J., Van Wielendaele, P. & Vanden Broeck, J. (2014b). Identification, functional characterization and phylogenetic analysis of double stranded RNA degrading enzymes present in the gut of the desert locust, *Schistocerca gregaria*. *Insect Biochemistry and Molecular Biology*, 46(3), 1–8.
92. Xu, J., Wang, X. F., Chen, P., Liu, F. T., Zheng, S. C., Ye, H. & Mo, M. H. (2016). RNA Interference in Moths: Mechanisms, Applications, and Progress. *Gene*, 7(10), 88. doi: 10.3390/genes7100088
93. Yan, S., Ren, B., Zeng, B. & Shen, J. (2020). Improving RNAi efficiency for pest control in crop species. *BioTechniques*, 68, 283–290.
94. Yu, J.L., An, Z.F. & Liu, X.D. (2014). Wingless gene cloning and its role in manipulating the wing dimorphism in the white-backed planthopper, *Sogatella furcifera*. *BMC Molecular Biology*, 15, 1–9.
95. Yu, N., Christiaens, O., Liu, J., Niu, J., Cappelle, K., Caccia, S., Huvenne, H. & Smaghe, G. (2012). Delivery of dsRNA for RNAi in insects: An overview and future directions. *Insect Science*, 20, 4–14.
96. Zha, W., Peng, X., Chen, R., Du, B., Zhu, L. & He, G. (2011). Knockdown of midgut genes by dsRNA-transgenic plant-mediated RNA interference in the hemipteran insect *Nilaparvata lugens*. *PLOS ONE*, 6: e20504. doi: 10.1371/journal.pone.0020504
97. Zhang, J., Khan, S.A., Heckel, D.G. & Bock, R. (2017). Next-generation insect resistant plants: RNAi-mediated crop protection. *Trends Biotechnology*, 35(9), 871–882.
98. Zhang, X., Zhang, J. & Zhu, K.Y. (2013). Chitosan/double-stranded RNA nanoparticle-mediated RNA interference to silence chitin synthase genes through larval feeding in the African malaria mosquito (*Anopheles gambiae*). *Insect Molecular Biology*, 19, 683–693. doi: 10.1111/j.1365-2583.2010.01029.x
99. Zhao, Y.Y., Liu, F., Yang, G. & You, M.S. (2011). PsOr1, a potential target for RNA interference-based pest management. *Insect Molecular Biology*, 20, 97–104.
100. Zheng, Y., Hu, Y., Yan, S., Zhou, H., Song, D., Yin, M., Shen, J. & Songm, D. (2019). A polymer/detergent formulation improves dsRNA penetration through the body wall and RNAi-induced mortality in the soybean aphid *Aphis glycines*. *Pest Management Science*, 75, 1993–1999.
101. Zhu, L., Kandasamy, S. K. & Fukunaga, R. (2018). Dicer partner protein tunes the length of miRNAs using base-mismatch in the pre-miRNA stem. *Nucleic Acids Research*, 46(7), 3726–3741.
102. Zotti, M., Dos Santos, E.A., Cagliari, D., Christiaens, O., Taning, C.N.T. & Smaghe, G. (2018). RNA interference technology in crop protection against arthropod pests, pathogens and nematodes. *Pest Management Science*, 74(6), 1239–1250.
103. Zotti, M.J. & Smaghe, G. (2015). RNAi technology for insect management and protection of beneficial insects from diseases: lessons, challenges and risk assessments. *Neotropical Entomology*, 44, 197–213. doi: 10.1007/s13744-015-0291-8

Цао Чжишань, аспірантка, Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна, Школа ресурсів і навколишнього середовища, Інститут науки і технологій Хенань, Сінсян, КНР

Власенко В.А., доктор сільськогосподарських наук, професор, Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна

Перспективи застосування та удосконалення технології інтерференції РНК у боротьбі з шкідниками
Через серйозні проблеми, які спричиняють хімічні пестициди – «ЗР» (формування стійкості до них, переродження та шкідливі залишки), вони поступово замінюються в сільському господарстві іншими методами боротьби з шкідниками та патогенами. Водночас, трансгенні культури, що експресують токсини *Bacillus thuringiensis* (Bt), були широко залучені для боротьби з кошами-шкідниками, але еволюція стійкості до Bt у задіяних шкідників

загрожує надійності такого підходу. Дослідження щодо пошуку нових способів ефективної боротьби з шкідниками ніколи не припиняються. В останні роки отримав визнання біологічний метод боротьби з шкідниками, оскільки дає перевагами щодо відсутності забруднення та безперервного впливу на довкілля. Проте, біологічні методи також стикаються з багатьма проблемами: на їхню ефективність сильно впливають фактори зовнішнього середовища або комаха-господар; важко отримати велику кількість комах природних ворогів шляхом штучного розмноження, це дуже дорого для виробництва у лабораторіях комах – природних ворогів. З розвитком технологій молекулярної біології за допомогою сучасних молекулярно-біологічних мішеней отримано нову тенденцію для біологічної боротьби з шкідниками. Інтерференція РНК (RNAi) є висококонсервативним механізмом приглушення генів після транскрипції, який існує у комах. За допомогою цього мРНК націлена на деградацію дволанцюгової РНК (dsRNA) або гомологічної мРНК, що призводить до інгібування специфічної послідовності генів. Технологія RNAi не тільки відіграє важливу роль у вивченні функціонального геному комах, але також має великий потенціал у боротьбі з шкідниками. У 2001 році технологію RNAi було занесено журналом Science до складу десяти найкращих наукових проривів, а також його першовідкривачів удостоєно Нобелівської премії у 2006 році. RNAi має високу ефективність і сильну специфічність, широко використовується для вивчення функції цільового гена або дослідження експериментального лікування хвороб. Коли цільові гени комах знищувалися за допомогою РНК-і, це завжди призводило до загибелі комах або поведінкових дефектів. Це є екологічно чистий біотехнологічний метод для боротьби з шкідниками, він рідко викликає стійкість до інших інсектицидів. Тому технологія RNAi розглядається як потенційна стратегія боротьби з шкідниками, яка має великий потенціал, корисна для захисту від комах та розробки нових пестицидів тощо. Ця технологія успішно використовується у комах Hemiptera (напівкрилих), Orthoptera (прямокрилих), Diptera (двокрилих) та інших. У цій роботі в основному описано механізм приглушення RNAi, кілька способів трансплантації dsРНК комахам та фактори, що визначають ефективність RNAi при застосуванні на комах. Нарешті, ми також розглянули існуючі проблеми та деякі поточні рішення технології RNAi, щоб додатково обговорити механізм та існуючі проблеми RNAi, які застосовуються у боротьбі з шкідниками. Це додає нове уявлення про боротьбу з шкідниками за допомогою технології RNAi.

Ключові слова: технологія RNAi, ген-мішень, біологічний метод боротьби з шкідливими комахами, захист від шкідників у сільськогосподарському виробництві.

**SCREENING STUDY ON THE FORMULATION OF NUTRIENT SOLUTION
FOR HYDROPONIC GREEN LEAF LETTUCE IN PLANT FACTORY WITH ARTIFICIAL LIGHT**

Wang Xinfu

PhD student

Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine

Henan Institute of Science and Technology, Henan, China

ORCID: 0000-0002-6293-5624

Wangxf2006@qq.com

Onychko Viktor

PhD (Agricultural Sciences), Associate Professor

Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine

ORCID: 0000-0003-0584-319X

onichko@gmail.com

Zubko Vladislav

PhD (Technical Sciences), Associate Professor

Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine

ORCID: 0000-0002-2426-2772

zubkovladislav@ukr.net

Zhao Mingfu

M.S. (Control Science & Engineering), Professor

Henan Institute of Science and Technology, Henan, China

ORCID: 0000-0002-3163-2110

zhaomf@hist.edu.cn

The article presents the data of screening studies of the optimal composition of the nutrient medium for the hydroponic cultivation of green lettuce leaves in rooms with piece light. With the rapid development of soilless cultivation and artificial light plant lighting technology, the greenhouse and the plant factory with artificial light (PFAL) have become the main production base of vegetables and played an important role in agricultural production. An PFAL is a completely closed agricultural production mode that relies on artificial light, does not need soil and is not affected by climate. It can be built in urban centers, underground, deserts, ruins, and even the universe and space, so as to realize annual uninterrupted, large-scale, industrialized and clean vegetable production and ensure high-quality and sufficient market supply in four seasons. It may become the mainstream mode of productive urban agriculture in the future.

In order to screen the nutrient solution formula suitable for the large-scale hydroponic culture mode of green leaf lettuce in PFALs, the effects of different water-soluble fertilizer nutrient solutions on its growth were studied through hydroponic cultivation experiments. Arnon and Hoagland general formula were selected as treatment group I (T1), leaf vegetable A formula from the Agrochemical Laboratory of South China Agricultural University as treatment group II (T2), Yamazaki formula (lettuce) as treatment group III (T3), Japanese Garden test general formula as treatment group IV (T4), and the commercial water-soluble leaf vegetable fertilizer produced by Henan Xinlianxin enterprise as experimental control group (CK). The experimental results showed that in terms of fresh mass of stems and leaves, fresh mass of roots, root to crown ratio, plant height, stem thickness and number of leaves, both T2 and T4 could be used and followed by T3 for hydroponic green leafy lettuce in PFALs. T3 was the best formula in terms of appearance. This paper provides a reference to large-scale hydroponic production of green leaf lettuce in greenhouses and PFALs.

Key words: soilless culture, greenhouse, industrialized production of crops, PFAL, green leaf lettuce.

DOI <https://doi.org/10.32845/agrobio.2022.2.2>

Introduction. Hydroponics is a soilless culture (Sambo et al., 2019; Son et al., 2021; Fussy et al., 2022), which has developed rapidly in recent years, is widely used in plant greenhouses (Khan, 2018; Koukounaras, 2020) and plant factories with artificial light (PFALs). Its cultivation methods do not use soil or substrate to grow plants directly in a nutrient solution (Wild, 1985; Peyvast et al., 2010; Khater et al., 2021). Hydroponics has many advantages such as short growth cycle, high yield, good quality, fewer pests

and diseases, water and fertilizer saving, and automatic management (Hyunjin et al., 2021), but without soil buffer and microorganisms, the selection of nutrient solution formulation becomes very important for crop growth and development (Kilinc et al., 2007; Lele et al., 2020; Lu et al., 2022). In production, the formulation of nutrient solutions for hydroponic leafy vegetables is closely related to the water source and water quality (Vandam et al., 2017; Jakobsen et al., 2020). It can be said that the water source and water

quality determine the nutrient solution formulation (Schwarz et al., 2005; Dias et al., 2018; Elisa et al., 2020). According to the characteristics of water quality, selecting the best nutrient solution formulation to achieve high yield and quality of leafy vegetables is an urgent problem in leafy vegetable hydroponic production.

Lettuce, also known as leaf lettuce, is a one- to two-year-old herb in the Asteraceae family that is crisp, tender and refreshing, and can be eaten raw (Martínez-Sánchez et al., 2012), and is an indispensable leafy vegetable in people's daily lives (Sirsat et al., 2018). Green leaf lettuce is very suitable for hydroponic lettuce varieties in PFALs, with characteristics such as resistance to seedling, resistance to dry heartburn, resistance to mildew and frost disease, and firmness at the base of the leaf bulb, etc. (Saengtharatip et al., 2018; Lee et al., 2019) It has a bright green appearance like an open green rose. Therefore, it has ornamental, edible, and commercial values at the same time.

This paper aims to screen the most suitable nutrient solution formula for hydroponic Lettuce in the greenhouse and the PFAL. According to the local water quality and artificial light layer frame hydroponic culture model in Henan Province, the effects of different water-soluble fertilizer nutrient solutions on the growth of Hydroponic Lettuce were studied with green leaf lettuce varieties as experimental materials and the existing common nutrient solution formulas of leafy lettuce.

Materials and methods. *Experiment site and overview.* The experiment was conducted from July 2021 to March 2022 in the PFAL Laboratory of the Henan Institute of Science and Technology. The laboratory is located on the campus of Henan Institute of Science and Technology, Xinxiang City, Henan Province, and is built on the first floor of a comprehensive teaching building with a building area of about 200m² and a floor height of about 3.3 m. The laboratory equipment includes air conditioner, dehumidifier, water and fertilizer integrated irrigation system, intelligent LED plant lighting system, fresh air system, intelligent environmental monitoring system, water purification and treatment equipment, nutrient solution disinfection and recycling equipment, CO₂ automatic control equipment, ultraviolet

disinfection lamp, wireless Internet of things system, front integrated control system, etc. These devices or systems are mainly used for the regulation of the environment, illumination, fertilization, and irrigation required for plant growth. During the light period, the ambient temperature of the growing room is maintained at around 23°C and the CO₂ concentration at 800 ml/l. During the absence of light, the ambient temperature of the growing room is maintained at around 18°C and the CO₂ concentration at 500 ml/l. The humidity in the growing room is maintained at around 70%. The light time is set at 14 hours.

Experiment materials. The trial was conducted using hydroponics. Two three-tier cultivation racks were used. The top of each tier is equipped with LED lights adjustable by red-blue-white colors. The light quality, light intensity and light period of each tier can be adjusted individually. Each layer of the cultivation rack consists of a cultivation tank, a fixing plate, a reservoir, a circulating and filling pump, with automatic circulation of the nutrient solution on a single layer. Each cultivation tank is 120 cm long, 80 cm wide and 8 cm high with a capacity of 46 liters, allowing up to 96 leafy greens to be hydroponically grown in one layer at a time. Each treatment was planted with 48 green leafy lettuces and replicated three times, random arrangement. The seedling age of green leaf lettuce was 3 leaves. The hydroponic experiment of green leaf lettuce in PFAL laboratory is shown in Fig. 1.

Nutrient formulation and management. In the experiment, Arnon and Hoagland general formula (Arnon), Hunong a formula (Hunong A), Yamazaki formula (Yamazaki) and Japanese garden experiment general formula (GE) (Petropoulos et al., 2018), which are most conducive to leaf vegetable cultivation, were used, and compared with the water-soluble chemical fertilizer produced by commercial enterprises. The general formula was used for the proportion of microelements (Laland et al., 1955), and the commercial water-soluble leaf vegetable fertilizer produced by Henan Xinlianxin enterprise was used as the control. The formula details are shown in Table 1. The water used for nutrient solution preparation is purified water treated by reverse osmosis purification equipment, with a pH of 7.1 to 7.3, no



Fig. 1. The hydroponic experiment of green leaf lettuce in PFAL laboratory

fluoride, arsenic, selenium, copper, lead, cadmium, or zinc detected in the water, chloride $< 0.25\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ in the water, and an EC value of 0.25 to $0.4\text{mS}\cdot\text{m}^{-3}$. The nutrient solution is intelligently prepared by water and fertilizer integrated irrigation equipment, and is fed by an oxygen pump to maintain Dissolved Oxygen (DO) $\text{DO} \geq 10\text{mg/L}$, the EC value is set at $1.8 \sim 2.0\text{mS}\cdot\text{m}^{-3}$ and the pH value is set at 6.0-6.9. The nutrient solution is changed every 7 days.

Determination items and methods. After 35D (Days) planting, the number of green leaf lettuce leaves was counted manually, root length, maximum leaf length and maximum leaf width were measured using a straightedge, and the fresh weight of individual green leaf lettuce and the fresh weight of the roots were weighed by an electronic scale. For data processing and analysis, Excel 2021 and SPSS 20.0 were used.

Results. *Effect of different nutrient solution formulations on leaf growth of green leaf lettuce.* As can be seen from Table 2, after 35D planting, the number of leaves was more in T1 and T4, with no significant difference between them, but the T4 treatment was significantly higher than the other formulations and the controls. The maximum leaf length was longer in T3 and the control, with no significant difference between them, but the T3 treatment was significantly higher than the other formulations. The maximum leaf width was wider in control and T3, with no significant difference between them, but the control treatment was significantly higher than the other formulations.

Effect of different nutrient solution formulations on root growth of green leaf lettuce. As can be seen from Table 1, after 35D planting, T2 was significantly higher than T3 and T3 was significantly higher than the other treatments in terms of maximum root length. The root weight of control and T2 was the largest with no significant difference between them, but significantly higher than the other formulations.

Effect of different nutrient solution formulations on fresh weight of green leaf lettuce. As can be seen from Table 1, after 35D planting, the largest fresh weights were T4, control and T2 with no significant difference between the three treatments, significantly higher than T1 and T3, while formulation T1 fresh weight was significantly lower than T3.

Discussion. The production of vegetables using the hydroponic model requires the screening of optimal nutrient solution formulations for vegetable growth (Miller et al., 2020). In this experiment, under the hydroponic mode and management method of PFALs, comparing the four nutrient liquid formulations with the commercial leafy vegetable nutrient liquid fertiliser, the fresh weight of lettuce was significantly higher in the T2 and T4 than the other formulations, but not significantly different from the commercial nutrient liquid fertiliser. The next best formula was the T3, with a slightly lower fresh weight than the above three formulations. Therefore, in terms of yield factors, the T2 and T4 can be used for hydroponic leafy lettuce in PFALs, and the T3 is the second best. The maximum leaf length and maximum leaf width are one of the most important fac-

Table 1

Specific formula of nutrient solution

| formula | macro-elements (mg/L) | | micro-elements (mg/L) |
|--|--|---|---|
| | A solution | B solution | |
| Arnon and Hoagland (T1) | Calcium nitrate tetrahydrate 945 Potassium nitrate 506 Ammonium nitrate 80 | Potassium dihydrogen phosphate 136 Magnesium sulfate 493 Iron salt solution 2.5 | Disodium EDTA 30 boric acid 2.8 Manganese sulfate 2.2 zinc sulfate 0.22 copper sulphate 0.08 ammonium molybdate 0.02 |
| Formula A of Leafy Vegetables in Agricultural Chemistry Room of South China Agricultural University (T2) | Calcium nitrate tetrahydrate 472 potassium nitrate 267 ammonium nitrate 53 | Potassium dihydrogen phosphate 100 potassium sulfate 116 magnesium sulfate heptahydrate 264 | |
| Japanese Yamazaki (lettuce) (T3) | Calcium nitrate tetrahydrate 472 potassium nitrate 267 | Ammonium dihydrogen nitrate 77 magnesium sulfate heptahydrate 246 | |
| Japanese Garden general formula (T4) | Calcium nitrate tetrahydrate 945 potassium nitrate 809 | Ammonium dihydrogen nitrate 153 magnesium sulfate heptahydrate 493 | |

Table 2

Indexes of green leaf lettuce with different nutrient solutions at harvest

| Experimental group | Leaf number | leaf length /cm | leaf width /cm | root length /cm | Root weight /g | Fresh weight /g |
|--------------------|-------------|-----------------|----------------|-----------------|----------------|-----------------|
| T1 | 29ab | 18.6d | 12.3b | 24.6c | 6.2b | 106.7c |
| T2 | 27c | 19.5c | 13.7b | 32.7a | 8.6a | 137.3ab |
| T3 | 27c | 21.6a | 13.8ab | 27.9b | 6.7b | 128.8b |
| T4 | 30a | 20.1bc | 13.6b | 23.5c | 6.3b | 139.6a |
| CK | 28bc | 21.3ab | 14.3a | 23.6c | 8.9a | 138.1ab |

Note: No identical lowercase letters after the data in the same column indicate significant differences between groups ($P < 0.05$).

tors in measuring the appearance and quality of green leaf lettuce. T3 has better maximum leaf length and width than other experience group. Because hydroponic green leaf lettuce is mostly sold by individual plants, T3 is the best from the perspective of ornamental quality factors.

Zhang (Zhang, 2005) used 1/4 concentration of Hoglan-Anon formulation, Yamamoto Yamazaki lettuce formulation and South China Agricultural University leafy lettuce formulation to test growing 2 to 17 leaf age American fast-growing lettuce. The results showed that 1/4 concentration of the Hoglan-Anon formulation had the best yield. Li (Li et al., 2019) used the Japanese garden test formula and the Hoagland formula to grow Italian lettuce tolerant to drawl, and the results showed that the Japanese garden test formula was superior to the Hoagland formula in terms of yield, plant height and leaf width. Ding (Ding et al., 2012) compared Hogeland, Japanese Garden test, Japanese Yamazaki and South China Agricultural University leaf lettuce formulations for planting Italian lettuce under 8 leaves old, and the results showed that the South China Agricultural University leaf lettuce formulation produced the highest yield.

Soilless vegetable cultivation is a complex reaction system. Environmental factors, cultivation methods and nutrient supply are the main factors affecting soilless cultivation (Balliu et al., 2021). In hydroponic management, nutrient solu-

tion temperature, dissolved oxygen, pH and EC values are all key factors in root growth and nutrient absorption, and all these influencing factors need further in-depth study (Suyantohadi et al., 2010). Therefore, in planting and production, suitable nutrient solution formulations should be screened according to vegetable variety, fertility period, cultivation pattern, water quality and other factors.

Conclusions. Through experimental research, it can be concluded that in terms of fresh mass of stem and leaf, fresh mass of root, ratio of root to crown, plant height, stem diameter and number of leaves, both the Japanese Garden Trial General and the A formula from the Agrochemical Laboratory of South China Agricultural University could be used for hydroponics of green leafy lettuce in artificial light factory, followed by the Japanese Yamazaki formula; from the appearance, the Yamazaki formula is the best formula.

Fundings. This work is jointly funded by the Department of Science and Technology of Henan Province (Henan Science and Technology Research Project, grant number 212102110234 and 222102320080) and the Department of Education of Henan Province (Key Scientific Research Project of Colleges and Universities in Henan Province, grant number 22A210013). It has also received the support of major science and technology projects in Xinxiang City, Henan Province, with the approval number of 21ZD003.

References:

1. Balliu, A., Zheng, Y. B., Sallaku, G., Fernández, J. A., Gruda, N. S., & Tuzel, Y. (2021) Environmental and Cultivation Factors Affect the Morphology, Architecture and Performance of Root Systems in Soilless Grown Plants. *Horticulturae*, 7(8), 243. doi: 10.3390/horticulturae7080243.
2. Dias, S., Morais, D., Sarmiento, A., Neto, S., & Freitas, D. (2018) Nutrient solution salinity effect of greenhouse melon (*Cucumis melon* L. cv. Néctar). *Acta Agronómica*, 67(4), 517–524. doi: 10.15446/acag.v67n4.60023
3. Ding, W. Y., Wu, X. P., Liu, M. N., Wang, J. J., & Lin, X. Y. (2012). Effects of different nutrient formulations and mists on the quality of lettuce. *Journal of Zhejiang University of agriculture* (02), 175–184.
4. Elisa, S. T., Paul, F., & Celina, G. (2020) Growth rate and nutrient uptake of basil in small-scale hydroponics. *HortScience*, 1–8. doi: 10.21273/hortsci14727-19.
5. Fussy, A., & Papenbrock, J. (2022) An Overview of Soil and Soilless Cultivation Techniques—Chances, Challenges and the Neglected Question of Sustainability. *Plants*, 11(9), 1153. doi: 10.3390/plants11091153.
6. Hyunjin, C., & Sainan, H. (2021) A study on the design and operation method of plant factory using artificial intelligence. *Nanotechnology for Environmental Engineering*, 2021, 6(3). doi: 10.1007/s41204-021-00136-x.
7. Jakobsen, O. M., Schiefloe, M., Mikkelsen, O., Paille, C., & Jost, A.I.K. (2020) Real-time monitoring of chemical water quality in closed-loop hydroponics. *Acta Horticulturae*, 1005–1018. doi: 10.17660/actahortic.2020.1296.127
8. Khan, F. A. (2018) A Review an Hydroponic Greenhouse Cultivation for Sustainable Agriculture. *International Journal of Agriculture Environment and Food Sciences*, 2(2), 59–66. doi: 10.31015/jaefs.18010.
9. Khater, E., Bahnasawy, A., Abass, W., Morsy, O. & Egela, M. (2021) Production of basil (*Ocimum basilicum* L.) under different soilless cultures. *Scientific Reports*, 11(1). doi: 10.1038/s41598-021-91986-7.
10. Kilinc, S. S., Ertan, E., & Seferoglu, S. (2007). Effects of different nutrient solution formulations on morphological and biochemical characteristics of nursery fig trees grown in substrate culture. *Scientia Horticulturae*, 113(1), 20–27. doi: 10.1016/j.scienta.2007.01.032.
11. Koukounaras, A. (2020) Advanced greenhouse horticulture: new technologies and cultivation practices. *Horticulturae*, 7(1), 1. doi: 10.3390/horticulturae7010001.
12. Kozai, T. (2018) Benefits, problems and challenges of plant factories with artificial lighting (PFALs): a short review. *Acta Horticulturae*, 25–30. doi: 10.17660/actahortic.2018.1227.3.
13. Laland, K. N., & Rao, M. S. (1955) Micro-Element Nutrition of Plants. *Soil Science*, 79(3), 231. doi: 10.1097/00010694-195503000-00029.
14. Lee, R. J., Bhandari, S. R., Lee, G., & Lee, J. G. (2019). Optimization of temperature and light, and cultivar selection for the production of high-quality head lettuce in a closed-type plant factory. *Horticulture Environment and Biotechnology*. doi: 10.1007/s13580-018-0118-8.
15. Lele, M., Zhang, J. W., Ren, R. D., Fan, B. H., Hou, L. P., & Li, J. M. (2020). Effects of different organic nutrient solution formulations and supplementation on tomato fruit quality and aromatic volatiles. *Archives of Agronomy and Soil Science*. doi: 10.1080/03650340.2020.1740208.
16. Li, C., Wu C. J., Li, G. B., Feng, J. C., Zhang, F. S., Wang, C., & Zhang, B. G. (2019). Effects of hydroponic nutrient solution formula on Yield and quality of different leafy vegetables. *Changjiang vegetables* (06), 62–66.

17. Lu, T., Yu, H. J., Wang, T. Y., Zhang, T. Y., Shi, C. H., & Jiang, W. J. (2022) Influence of the Electrical Conductivity of the Nutrient Solution in Different Phenological Stages on the Growth and Yield of Cherry Tomato. *Horticulturae*, 8(5), 378. doi: 10.3390/horticulturae8050378.
18. Martínez-Sánchez, A., Luna, M. C., Selma, M. V., Tudela, J. A., Abad, J., & Gil, M. I. (2012). Baby-leaf and multi-leaf of green and red lettuces are suitable raw materials for the fresh-cut industry. *Postharvest Biology and Technology*, 63(1), 1–10. doi: 10.1016/j.postharvbio.2011.07.010.
19. Miller, A., Adhikari, R., & Nemali, K. (2020). Recycling Nutrient Solution Can Reduce Growth Due to Nutrient Deficiencies in Hydroponic Production. *Frontiers in Plant Science*, 11. doi: 10.3389/fpls.2020.607643.
20. Orsini, F., Pennisi, G., Zulfiqar, F., & Gianquinto, G. (2020) Sustainable use of resources in plant factories with artificial lighting (PFALs). *European Journal of Horticultural Science*, 85(5), 297–309. doi: 10.17660/ejhs.2020/85.5.1.
21. Petropoulos, S., Fernandes, N., Karkanis, A., Antoniadis, V., Barros, Lillian, & Ferreira, I. C. (2018). Nutrient solution composition and growing season affect yield and chemical composition of *Cichorium spinosum* plants. *Scientia Horticulturae*, 231, 97–107. doi: 10.1016/j.scienta.2017.12.022.
22. Peyvast, G. H., Olfati, J. A., Kharazi, P. R., & Roudsari, O. N. (2010) Effect of substrate on greenhouse cucumber production in soilless culture. *Acta Horticulturae*, 429–436. doi: 10.17660/actahortic.2010.871.59.
23. Saengtharapip, S., Lu, N., & Takagaki, M. (2018) Supplemental upward LED lighting for growing romaine lettuce (*Lactuca sativa*) in a plant factory: cost performance by light intensity and different light spectra. *Acta Horticulturae*, 623–630. doi: 10.17660/actahortic.2018.1227.79.
24. Sambo, P., Nicoletto, C., Giro, A., Pii, Y., Valentinuzzi, F., Mimmo, T., Lugli, P., Orzes, G., Mazzetto, F., & Cesco, S. (2019) Hydroponic Solutions for Soilless Production Systems: Issues and Opportunities in a Smart Agriculture Perspective. *Frontiers in Plant Science*, 10. doi: 10.3389/fpls.2019.00923.
25. Schwarz, D., Grosch, R., Gross, W., & Hoffmann-Hergarten, S. (2005) Water quality assessment of different reservoir types in relation to nutrient solution use in hydroponics. *Agricultural Water Management*, 71(2), 145–166. doi: 10.1016/j.agwat.2004.07.005
26. Sirsat, S., Mohammad, Z. H., & Raschke, I. M. (2021). Safety and Quality of Romain Lettuce Accessible to Low Socioeconomic Populations Living in Houston, TX. *Journal of Food Protection*. doi: 10.4315/jfp-21-250.
27. Son, Y. J., Park, J. E., Kim, J., Yoo, G., & Nho, C. W. (2021) The changes in growth parameters, qualities, and chemical constituents of lemon balm (*Melissa officinalis* L.) cultivated in three different hydroponic systems. *Industrial Crops and Products*, 163, 113313. doi: 10.1016/j.indcrop.2021.113313.
28. Suyantohadi, A., Kyoren, T., Hariadi, M., Purnomo, M. H., & Morimoto, T. (2010). Effect of high concentrated dissolved oxygen on the plant growth in a deep hydroponic culture under a low temperature. *IFAC Proceedings Volumes*, 43(26), 251–255. doi: 10.3182/20101206-3-jp-3009.00044.
29. Vandam, D., Anderson, T., Villiers, D., & Timmons, M. (2017). Growth and Tissue Elemental Composition Response of Spinach (*Spinacia oleracea*) to Hydroponic and Aquaponic Water Quality Conditions. *Horticulturae*, 3(2), 32. doi: 10.3390/horticulturae3020032.
30. Wild, A. (1985) A guide for the hydroponic and soilless culture grower. *Agricultural Systems*, 16(3), 194–195. doi: 10.1016/0308-521x(85)90012-5.
31. Zhang, J. X. (2005). Effects of different concentrations of nutrient solution on the growth of lettuce *Anhui Agricultural Science* (12), 2302-2303 + 2317.

Ван Сінґфа, аспірант, Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна, Інститут науки і техніки Хенань, м. Хенань, КНР

Оничко В.І., кандидат сільськогосподарських наук, доцент, Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна

Зубко В.М., доктор технічних наук, доцент, Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна

Чжао Мінфу, професор, Інститут науки і техніки Хенань, м. Хенань, КНР

Скринінгові дослідження складу поживного розчину для гідропонного вирощування зеленого листя салату в теплицях зі штучним світлом

У статті наведено дані скринінгових досліджень оптимального складу поживного розчину для гідропонного вирощування зеленого листя салату в приміщеннях з штучним світлом. Завдяки швидкому розвитку технологій безґрунтового вирощування і впровадженню штучного освітлення рослин теплиці і фабрики по вирощуванню рослин зі штучним освітленням (PFAL) стали основною виробничою базою вирощування овочів і відіграли суттєву роль у сільськогосподарському виробництві. PFAL – це повністю закритий режим сільськогосподарського виробництва, який базується на штучному освітленні, не потребує ґрунту та не піддається впливу кліматичних факторів. Його можна будувати в міських центрах, під землею, у пустелях, на пустирях і навіть у всесвіті та космосі, щоб реалізувати щорічне безперебійне, масштабне, промислове та екологічно чисте виробництво овочів та забезпечити якісне й достатнє постачання їх на ринок упродовж усіх періодів року. У майбутньому це може стати основним способом продуктивного міського сільськогосподарства.

Щоб підібрати оптимальний склад поживного середовища, який би міг відповідати вимогам широкомасштабного гідропонного вирощування зеленого листя салату в PFAL, вивчити вплив різних поживних водорозчинних розчинів добрив на збільшення його виробництва було проведено дослідження в умовах гідропонного вирощування.

Загальна формула розчинів Арнона і Хоугланда була взята для обробки у якості групи I (T1), формула розчину для листових овочів А з агрохімічної лабораторії Южно-Китайського сільськогосподарського університету була обрана в якості групи II (T2), формула розчину Ямазаки (салат) була обрана в якості групи III (T3), японська

Загальна формула обробки саду в якості групи IV (T4) і комерційне водорозчинне добриво для листових овочів виробництва підприємств Хенань Хіпіанхіп в якості експериментальної контрольної групи (СК).

Результати досліджень показали, при вирощуванні гідропонних рослин зеленолистоного салату в PFAL за показниками свіжої маси стебел і листків, свіжої маси кореню, співвідношення підземної та надземної частин рослин, висоти рослин, товщини стебла та кількості листків більш ефективним є використання поживних середовищ T2 і T4, дещо менша ефективність була у T3. Слід зазначити, що на варіанті із застосуванням формули T3 рослини салату мали кращий зовнішній вигляд у порівнянні із іншими варіантами дослідження.

Ключові слова: безґрунтове вирощування, теплиця, промислове вирощування сільськогосподарських культур, фабрика із зовнішнім освітленням (PFAL), зелене листя салату.

ISOLATION AND SCREENING OF METHYL DISULFURON-DEGRADING MICROORGANISMS

Yinghui Zhu

PhD student

Sumy National Agricultural University, Sumy, Ukraine,
Henan Institute of science and technology, Xinxiang, China

ORCID: 0000-0001-7860-1111

542309457@qq.com

Rozhkova Tetiana

PhD (Biological Sciences), Associate Professor

Sumy National Agricultural University, Sumy, Ukraine

ORCID: 0000-0002-0791-9736

rozhkova8@gmail.com

The widespread use of herbicides has caused significant pollution to the soil environment, which has seriously endangered people's life and development. Therefore, there is an urgent need for an effective method to control environmental soil pollution, and the degradation of residual pesticides by microorganisms is an effective bioremediation method developed in recent years. Taking the soil treated with methyl disulfuron as the research subjects, the microbial strains with high degradation effect on methyl disulfuron were isolated by plate gradient dilution method, the isolated strains were enriched and cultured, medicated and cultured, and soil colonization test, so as to determine the effect of methyl disulfuron on the strains. The results showed that a bacterium J20191108-1 and a fungus Tr20191108-E were isolated from soil, and no actinomycetes were isolated. The bacterial colony is milky white, the surface is wet and smooth, and the fungus is preliminarily identified as Trichoderma. The bioaccumulation test of bacteria J20191108-1 showed that there was no significant difference in the external morphology and number of bacterial colonies growing on the two media with and without chemicals, in the soil colonization test, the bacteria grew better in the medium with herbicides. Trichoderma Tr20191108-E cultured on plates with different drug contents had little effect on colony growth. Fungus grew all over the plate after 2 days of culture. The variance analysis of the spore yield of the fungus by SPSS showed that the p value was 0.163 > 0.05, indicating that there was no significant difference between the concentration of methyl disulfuron and the spore yield of the fungus. It can be seen that the concentration of methyl disulfuron has little effect on the external morphology of bacteria, but the concentration of pesticide has a certain effect on the growth rate of fungi.

Key words: methyl disulfuron, degrading bacteria, bioremediation, enrichment culture, soil colonization.

DOI <https://doi.org/10.32845/agrobio.2022.2.3>

Introduction. Methyl disulfuron, also known as metsulfuron methyl, is developed by Bayer crop science company in Germany, it has the characteristics of ultra-high efficiency, wide herbicidal spectrum and environmental friendliness, it can be widely used in field weeding of wheat, corn, soybean and other crops (Singh et al., 2018; Vazan et al., 2011; Zhang et al., 2009). It belongs to sulfonylurea high-efficiency herbicide, which acts by inhibiting acetylactate synthase, is absorbed by weeds' roots and leaves, is conducted in plants, and makes weeds die after stopping growth (Yin et al., 2010; Tang, 2008). However, due to the long-term unscientific application of pesticides, with the widespread use of herbicides, it has caused serious pollution to the soil and environment, which has seriously endangered people's life and development. Therefore, an effective method is urgently needed to control environmental soil pollution.

Pesticide residue degradation technology based on microbial remediation theory is a safe, effective and cheap way to solve residual drug harm, this method has the advantages of non-toxic, no residue and no secondary pollution (Cai et al., 2020; Zhou et al., 2016). This technology is a new technology for soil pollution control developed in recent 20 years (Liang, 2020; Hu, 2020; Dong, 2020), it mainly converts organic pollutants in the environment into small substances

such as CO₂ and H₂O with little impact on the environment and no secondary pollution through the action of microorganisms. At present, there are many types of researches on microbial degradation of pesticides at home and abroad, but most of them are on the isolation, degradation characteristics and factors affecting the degradation rate of pesticide degrading bacteria (Wang et al., 2018; Wei et al., 2007; Cheng et al., 2017), most of the work is still limited to the laboratory, and the research is not very in-depth (Zhou et al., 2013; Su et al., 2019; Zabaloy et al., 2014). For example, the research of Thirunarayanan et al. (1985) shows that when the pH is 6.2, the half-life of Chlorsulfuron is 88.5 D, and when the pH increases to 8.1, its half-life is up to 144 days. Xu et al. (2003) showed that the abiotic degradation of pyrazosulfuron was faster at low pH than at neutral conditions, and the degradation of pyrazosulfuron by Pseudomonas was faster at pH 7.0 than pH 9.0. Dinelli et al. (1997) studied the relationship between the degradation rate and temperature of four sulfonylurea herbicides and concluded that the higher the temperature, the shorter the degradation half-life, at the same time, they established the functional relationship between the degradation rate and temperature and humidity to predict their degradation and loss. At present, there is no study on the degradation of methyl disulfuron by microorganisms.

In this study, the high-efficiency degrading bacteria were isolated from the soil using methyl disulfuron for many years, the degrading bacteria were isolated from the plots containing methyl disulfuron herbicide, enriched and cultured, colonized in the soil and grew in the medicated medium. The purpose was to provide reference for bioremediation and toxic degradation of soil polluted by pesticide methyl disulfuron by microorganisms.

Materials and methods. In July 2021, the surface layer soil of methyl disulfuron (96% lukuan Agricultural Technology Co., Ltd.) was collected from the test field in Xinxiang City, China, and the soil was sampled at 5 points. The soil was air dried at 25 °C and sieved at 60 meshes and stored for standby. Fully stir according to soil water 4:5 to remove impurities. The filtered solution was the soil leaching solution at 4 °C for standby (Zheng et al., 1990).

10g soil sample was added into a triangular flask of 100 ml water and incubated for 24 hours. Pipette 1 ml of stocked solution, injected it into a 10 ml centrifuge tube, added 9 ml of sterile water, and diluted it to 10^{-8} successively, used a pipette gun to suck the concentration stock solution (fungi: 10^{-3} , 10^{-4} , 10^{-5} , bacteria: 10^{-6} , 10^{-7} , 10^{-8} , actinomycetes: 10^{-3} , 10^{-4} , 10^{-5}) 100 μ L was added drop wise on three kinds of culture media, evenly coated, each concentration was repeated three times, and pure culture was obtained after culture at 28 °C (Wang et al., 2011; Ying et al., 2007; Hooda et al., 2015). According to the field application amount (0.06 mg / L), the technical drug of methyl disulfuron was added into a triangular flask with 100 ml LB liquid medium and 1g soil sample, based on the field concentration (0.06 mg / L), diluted to 10^{-6} , 10^{-7} , 10^{-8} and 10^{-1} , 10^{-2} and 10^{-3} respectively by gradient dilution method, and applied them on beef extract peptone medium and PDA plate respectively. The growth of bacteria and fungi (Shen et al., 2020; Li et al., 2020) was observed. Separately packed 50ml of soil leaching solution into a triangular flask, made three dosing and three controls, connected the purified single bacterial colony to the soil leaching solution, and observed its absorbance on the 3th days and 7th days respectively (Sun et al., 2017; Chen., 2018).

Results. Microorganisms were isolated from the soil, where methyl disulfuron was used for many years. In the experiment, the gradient dilution method was used for the separation of degrading bacteria in the soil. The prepared gradient dilution was added to beef extract peptone medium (isolated bacteria), PDA medium (isolated fungi) and Gao's No. 1 medium (isolated actinomycetes) respectively, evenly coated, and single colonies with good growth were selected from the cultured medium. Pure culture was obtained after lineation purification and perforation inoculation. After culture, a bacterium J20191108-1 and a fungus Tr20191108-E were isolated, and no actinomycetes were isolated. It was shown by colony morphology and electron microscope photos. Bacteria were milky white, with smooth and moist surface, the fungus was *Trichoderma*, with white hyphae at first, and then the hyphae turned green from the middle. Diagnosis of these species will be carried later.

Then conducted a study of the effect of the herbicide on the growth of bacterial colonies. The bacteria J20191108-1 were bioaccumulated and cultured, the bacterial diluent was evenly applied to the beef extract peptone medium of methyl disulfuron, and the control was set. It was found that methyl disulfuron did not affect the growth and morphology of bacterial colonies (Fig.1).

It could be seen from Figure 1 that there was no significant difference in the external morphology of bacterial colonies grown on the two media with and without dosing. The colonies were milky white, with wet and smooth surface. It could be seen that the concentration of methyl disulfuron had no effect on the external morphology of bacteria. The bacteria could continue to grow under the action of methyl disulfuron.

Next, in the experiments, the soil colonization test was carried out on the bacterium J20191108-1. The soil leaching solution was sub packed into a triangular flask, 50 ml of soil leaching solution for each bottle, and the control was set. The purified single bacterial colony was picked up and connected to the soil leaching solution, the absorbance on the 3rd and 7th days was observed with a spectrophotometer to compare the effect of the drug on bacterial growth (table. 1).

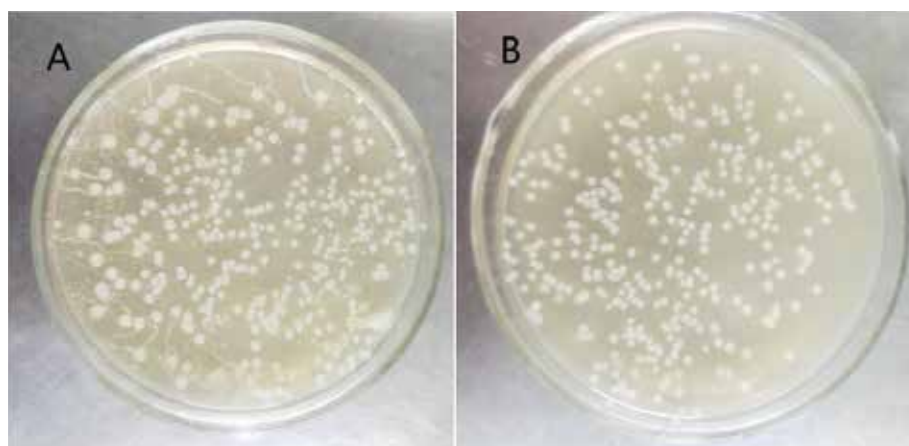


Fig. 1. Morphology of bacterial colonies (J20191108-1):
A – dosing; B – No dosing

It was found from the results of soil colonization test of bacteria J20191108-1 in Table 1, through the analysis of variance by SPSS, the P value on the third day was $0.581 > 0.05$, and the p value on the seventh day was $0.254 > 0.05$. The difference was not statistically significant, and the bacteria grew better in the environment where the pesticide existed. Therefore, it showed that the bacteria had a certain degradation effect on methyl disulfuron.

The next step in our research was to test the growth of fungus Tr20191108-E on the first and second days medium with and without the addition of herbicide (Fig. 2).

It could be seen from Fig. 2 that there was little difference in the colony diameter of fungi with and without drugs on the first day (Fig. 2-AB). On the second day, all fungi were full of Petri dishes, and the diameter of fungi was 90 mm (Fig. 2-CD). But the fungus grew better on a nutrient medium with the addition of herbicides.

Next we continued to study the growth of fungus Tr20191108-E on the first day, the purified fungi were perforated and connected to the PDA plate, numbered, cultured in the dark in the incubator at 28 °C, and the diameter of fungi was measured by cross method (Table. 2).

The p value obtained by SPSS analysis of variance was $0.23 > 0.05$, indicating that there was no significant difference among treatments. Therefore, the concentration of methyl disulfuron had no effect on the growth rate of fungi.

Next, we studied and observed the features of sporulation Tr20191108-E (Fig. 3).

It could be seen from Fig. 3 that after Trichoderma completely turned green, the spore production of different treatments was measured (Fig. 3-A), and the blood cell count plate was used for detection (Fig. 3-B).

Finally, after all the fungi turned green, all fungi on the culture dish were eluted with 10 ml normal saline, diluted with sterile water in a certain proportion, and the number of spores was observed with a blood cell counting plate (the best number was 5-6 spores per small grid), and then the number of fungal spores per 1 ml was calculated (Table.3).

It could be seen from table 3 that although the spore production decreases with the decrease of concentration, the difference was not particularly obvious. The analysis of variance by SPSS showed that the p value was $0.163 > 0.05$, indicating that the difference of pesticide concentration on spore production was not significant. However, the fungus could continue to grow with methyl disulfuron and had a certain growth promoting effect, indicating that the fungus had a certain degradation effect on methyl disulfuron.

Discussion. Microbial degradation had the advantages of low investment, non toxicity, no residue and no secondary pollution, and the treatment effect was relatively obvious. It was recognized as a low-cost and environment-friendly method to remove pollutants (Tatiane et al.,2007; Singh et al., 2010; Das et al., 2011; Wang ,2017). In this experiment, the strains were isolated and screened from the polluted soil treated with methyl disulfuron for a long time

Table 1

Absorbance on the 3th and 7th day of soil colonization

| Absorbance (unit: 1) | Dosing | | No dosing | |
|---------------------------|--------------|--------------|--------------|----------------|
| | the 3th day | the 7th day | the 3th day | the 7th day |
| Average value±standard | 0.034±0.026a | 0.035±0.026a | 0.059±0.042a | 0.0003±0.0003a |

Note: the data in the table are mean ± standard error. The lowercase letters after the data indicate the difference at the 0.05 level

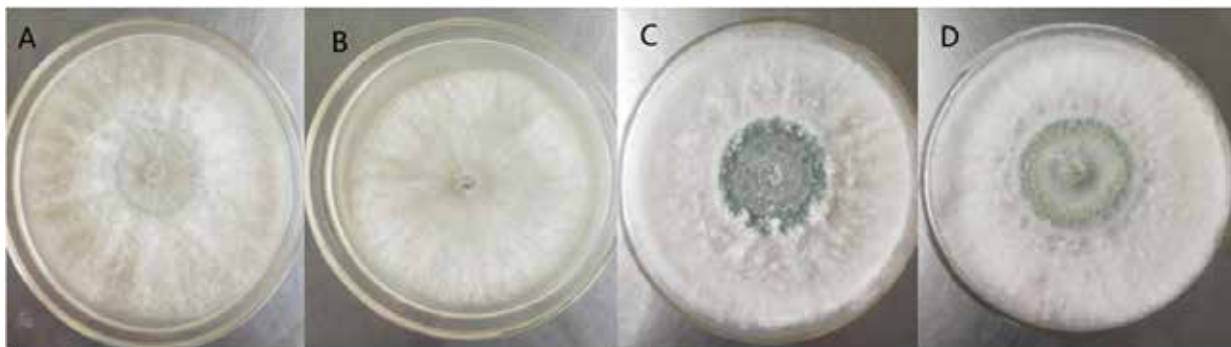


Fig. 2. Morphology of Trichoderma colonies: A – the first day of dosing, B- the first day without dosing, C – the second day after dosing, D – the second day without dosing

Table 2

Growth of fungus Tr20191108-E on the first day

| Colony diameter(mm) | Concentration | | | |
|------------------------|---------------|-------------|-------------|-------------|
| | 10-1 | 10-2 | 10-3 | CK |
| average value±standard | 76.00±1.00a | 78.67±2.60a | 79.33±2.91a | 75.33±0.67a |

Note: the data in the table are mean ± standard error. The lowercase letters after the data indicate the difference at the 0.05 level

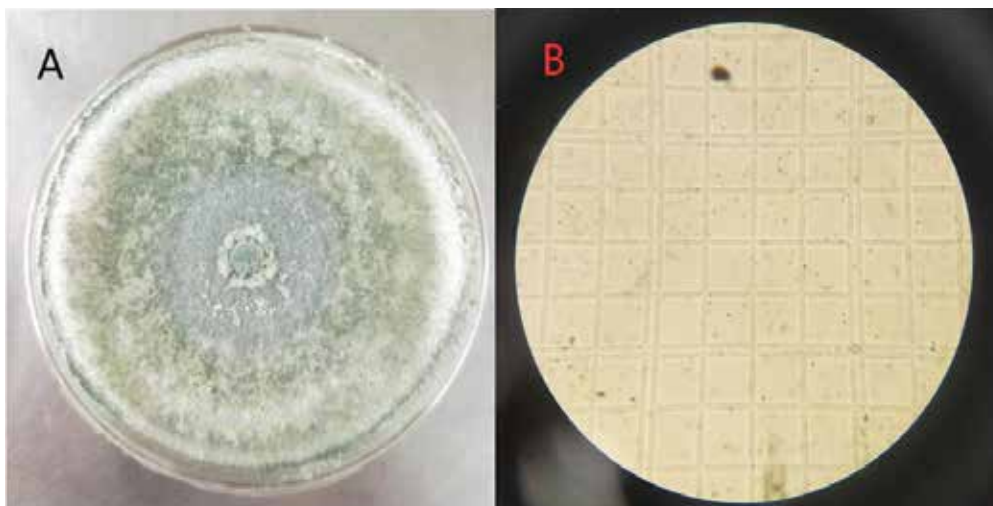


Fig. 3. Counting conidia of the fungus Tr20191108-E

Table 3

Spore production of fungi under different concentrations

| Spore yield (10 ⁹ /mL) | Concentration | | | |
|--------------------------------------|------------------|------------------|------------------|------------|
| | 10 ⁻¹ | 10 ⁻² | 10 ⁻³ | CK |
| average value±standard | 2.24±0.06a | 1.84±0.06a | 1.57±0.02a | 1.71±0.38a |

Note: the data in the table are mean ± standard error. The lowercase letters after the data indicate the difference at the 0.05 level

in the experimental field of Xinxiang City, China. By using the plate gradient dilution method, a bacterium J20191108-1 and a *Trichoderma* Tr20191108-E were finally obtained. Through the observation of individual morphology and electron microscope, the bacteria were milky white, the surface was smooth and moist, and the fungus was *Trichoderma* fungi.

This study showed that the higher the concentration of methyl disulfuron degrading bacteria, the stronger the degradation characteristics, which showed that the degradation change of the strain was basically consistent with the growth trend, that was, the higher the degradation rate, the greater the growth, which was consistent with the results of Chen et al. (2011), Liang et al. (2019) and Ye et al. (2017). In the crop soil where pesticides were widely used for a long time, the degradation ability of bacteria and fungi to pesticides was greater than that of crop soil where pesticides were less used, and the long-term use of a single pesticide may lead to bacterial gene mutation, so as to improve the degradation characteristics of pesticides. At the same time, the large number of bacteria and fungi with different degradation ability in soil further proved that soil bacteria and fungi played an irreplaceable role in environmental remediation (Wu et al., 2007; Zhu et al., 2012; Zhou et al., 2008). However, the application of microbial degradation in the environment needs to be improved. At present,

the research on microbial degradation was mainly carried out under pure culture conditions, which was very different from the environmental conditions and pesticide treatment load in natural ecology (Li et al., 2008; Tian et al., 2016). Therefore, its application research in the environment needs to be further strengthened.

Conclusions. In this study, high-efficiency degrading bacteria were screened and isolated from cultivated soil using methyl disulfuron for many years. Through gradient acclimation, separation and purification, a bacterium J20191108-1 and a *Trichoderma* Tr20191108-E were finally obtained. Through the study on the effect of methyl disulfuron on the growth of bacteria J20191108-1, it was found that the addition of herbicide did not affect the external morphology and quantity of bacterial colonies, and the bacteria could continue to grow. The results showed that the bacteria grew better in the presence of herbicide environment and had a certain degradation effect on methyl disulfuron. The cross method was used to measure the diameter of fungus Tr20191108-E. The experiment showed that the concentration of methyl disulfuron basically had no effect on the growth rate of fungi. After *Trichoderma* turned green, the spore yield was measured. The results showed that fungi could continue to grow with methyl disulfuron and had a certain biodegradation of herbicide.

References:

1. Andersen, S. M., Hertz, P. B., Holst, T., Bossi, R., & Jacobsen, C. S. (2001). Mineralisation studies of 14C-labelled metsulfuron-methyl, tribenuron-methyl, chlorsulfuron and thifensulfuron-methyl in one Danish soil and groundwater sediment profile. *Chemosphere*, 45(6–7), 775–782. doi: 10.1016/s0045-6535(01)00132-1
2. Brown, H. M., Joshi, M. M., Van, A. T., Carski, T. H., & Doughty, J. (1997). Degradation of Thifensulfuron Methyl in soil: Role of Microbial Carboxyesterase Activity. *Journal of Agricultural & Food Chemistry*, 45(3), 955–961. doi: 10.1021/jf9604145

3. Cai, D. M., Huang, W., Ren, Y. L., Xue, Y. Z., Ren, Z. Z., Liu, H. J., & Shao, H. X. (2020). Study on Mitigation Measures of Wheat after Spraying SigMa.Tillage and Cultivation. 40(1), 24–26. doi: 10.13605/j.cnki.52-1065/s.2020.01.007
4. Cheng, J., Du, H. L., Zhang, D. B., & Wang, W. (2017). Isolation and Identification of tetracycline degrading bacteria. *Journal of Nuclear Agricultural Sciences*, 31(5), 884–888. doi: 10.11869/j.issn.100-8551.2017.05.0884
5. D. Chen., & G. A. Zentmyer. (2018). Production of Sporangia by *Phytophthora Cinnamomi* in Axenic Culture, *Brief Articles*, 62(2), 397–402. doi: 10.1080/00275514.1970.12018977
6. Das, N., & Chandran, P. (2011). Microbial Degradation of Petroleum Hydrocarbon Contaminants:An Overview. *Biotechnology Research International*, 10, 1–13. doi: 10.4061/2011/941810.
7. Dinelli, G., Vicari, A., Bonetti, A., & Catizone, P. (1997). Hydrolytic Dissipation of Four Sulfonylurea Herbicides. *J.Agric. Food Chem*, 45, 1940–1945. doi: 10.1021/jf960649g
8. Dong, H. F. (2020). Research status and trend of contaminated soil remediation technology. *Shanxi chemical industry*, 1, 163–164, doi: 10.16525/j.cnki.cn14-1109/tq.2020.01.59
9. Hooda, R., Bhardwaj, N. K., & Singh, P. (2015). Screening and Identification of Lignolytic Bacteria for the Treatment of Pulp and Paper Mill Effluent. *Water Air Soil Pollut*, 226(9), 305. doi:10.1007/s11270-015-2535-y
10. Hu, X. (2020). Research status and trend of contaminated soil remediation technology. *New technologies and products in China*, 1, 124–125. doi: 10.13612/j.cnki.cntp.2020.02.054
11. Li, S. G., & Li, R. Q. (2008). Research Progress on biodegradation of organophosphorus pesticides. *Scientific and technological information development and economy*, 18(2), 123–124. doi: 10.3969/j.issn.1005-6033.2008.02.071
12. Li, Y., Li, H. P., & Yang, Z. G. (2020). Study on the growth and degradation characteristics of a strain of methylparaben degrading bacteria. *Science and technology wind*, 3(10), 176–177. doi: 10.19392/j.cnki.1671-7341.202010158
13. Liang, Z. D. (2020). Research status and contaminated technology. *Environment and development*, 2, 79–80. doi:10.16647/j.cn15-1369/x.2020.02.045
14. Paporisch, A., Laor, Y., Rubin, R., & Eizenberg, H. (2020). Effect of Repeated Application of Sulfonylurea Herbicides on Sulfosulfuron Dissipation Rate in Soil. *Agronomy*, 10(11), 1724. doi: 10.3390/agronomy10111724
15. Shen, Z.H., Wang, Y., Li, H. C., Mao, X. X., Feng, F. Y., Ren, L. Y., & Yu, X. Y. (2020). Isolation, identification and degradation characteristics of a fluconazole degrading strain. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 48(4), 273–278. doi: 10.15889/j.issn.1002-1302.2020.04.049
16. Singh, A., Kewat, M. L., & Sondhia, S. (2018). Studies on the effect of day time application of herbicide mesosulfuronmethyl on soil microbial communities of wheat rhizosphere. *Journal of environmental Biology*, 39(1), 59–65. doi: 10.22438/jeb/39/1/mrn-562
17. Singh, B. K., & Walker, A. (2010). Microbial degradation of organophosphorus compounds. *Fems Microbiology Reviews*, 30(3), 428–471. doi: 10.1111/j.1574-6976.2006.00018.x
18. Su, Z. J., Liu, Y. T., Xu, C. J., Ding, H., Yu, L. X., & Ai, X. H. (2019). Isolation, identification and degradation characteristics of a deltamethrin-degrading bacterial strain. *Freshwater Fisheries*, 49(1), 98–106. doi: 10.13721/j.cnki.dsyy.2019.01.018
19. Sun, Z. N., Cui, H. C., Wang, H. L., Ren, X. B., & Liu, H. R. (2017). Screening of sporangium producing medium and induction method of *Phytophthora*. *Science Technology and Engineering*, 17(19), 18–23. doi: 10.3969/j.issn.1671-1815.2017.19.004
20. Tang, J. M. (2008). Malignant gramineous weeds and their suitable herbicides in wheat field of Jiangsu Province. *Weed science*, 3, 75–77. doi: 10.19588/j.issn.1003-935x.2008.03.026
21. Tatiane, M. S., Maria, I. S., Ander, M. M., Fabiana, D. A., Sonia, A. V. P., Paulo, R. F., Marcelo, D. C., Emanuel, C., Paulo, I. B. C., & Marcos, P. (2007). Degradation of 2, 4-D herbicide by microorganisms isolated. *Brazilian Journal of Microbiology*, 38, 522–525. doi: 10.1590/S1517-83822007000300026
22. Thirunarayanan, K., Zimdahl, R. L., & Smika, D. E. (1985). Chlorsulfuron adsorption and degradation in soil. *Weed Science*, 33(4), 558–563. doi: 10.1111/j.1365-3180.1985.tb00668.x
23. Tian, C. Y., Xu, J., Dong, F. S., Liu, X. G., Wu, X. H., & Zheng, Y. Q. (2016). Research Progress on microbial degradation of triazole fungicides. *Journal of Pesticide Science*, 18(2), 141–150. doi: 10.16801/j.issn.1008-7303.2016.0019.
24. Vazan, S., Oveisi, M., & Baziar, S. (2011). Efficiency of mesosulfuron-methyl and clodinafop-propargyl dose for the control of *Lolium perenne* in wheat. *Crop Protection*, 30(6), 592–597. doi: 10.1016/j.cropro.2011.01.004
25. Wang, J. W., Zhen, J., Xie, B. E., Liu, Y. Y., & Li, G. J. (2011). Isolation, screening and preliminary identification of organophosphorus degrading bacteria. *Henan Science*, 29(1), 31–34. doi: 10.3969/j.issn.1004-3918.2011.01.010
26. Wang, X. W. (2017). Research Progress on degradation modes of sulfonylurea herbicides in soil. *Journal of Shandong Agricultural Engineering College*, 34(10), 164–165. doi: 10.15948/j.cnki.37-1500/s.2017.10.081
- Wang, X., Sun, S. Y., & Zhang, H. W. (2018). Advances in the research on microbial degradation of sulfonylurea herbicides. *Chinese Journal of Ecology*, 37(11), 3449–3457. doi:10.13292/j.1000-4890.2018.11.021
- Wei, M., & Li, Y. M. (2007). Advance and Prospect of Microorganism Degrading Soil Pesticide. *Shandong chemical industry*, 3, 15–18. doi: 10.19319/j.cnki.issn.1008-021x.2007.06.006
27. Wu, H. P., & Zheng, F. C. (2007). Research progress of microbial degradation of organophosphorus pesticides. *Guangxi Agricultural Science*, 38(6), 637–642. doi: 10.3969/j.issn.1004-874X.2008.01.018
28. Xu, J., Li, Y. X., Qiu, L. H., & Pan, C. P. (2009). Biodegradation of pyrazosulfuron-ethyl by three strains of bacteria isolated from contaminated soils. *Chemosphere*, 74(5), 682–687. Doi: 10.1016/j.chemosphere.2008.09.078
29. Yin, L. B., Liu, Y., Zhang, D. Y., Zhang, S. B., & Zhang, G. M. (2010). Research Progress on Microbial Degradation of Sulfonylurea Herbicides. *Microbiology bulletin*, 37 (4), 594–600. doi: 10.13344/j.microbiol.china.2010.04.014
30. Ying, F., Xie, M., Wan, F. H., Wang, R., Qiu, W. L., & Li, L. (2007). Isolation and screening of atrazine degrading bacteria. *Chinese Journal of Biological Control*, 23(4), 368–372. doi: 10.16409/j.cnki.2095-039x.2007.04.017

31. Zabaloy, M. C., & Gomez, M. A. (2014). Isolation and characterization of indigenous 2,4-D herbicide degrading bacteria from an agricultural soil in proximity of Sauce Grande River, Argentina. *Ann Microbiol*, 64, 969–974. doi: 10.1007/s13213-013-0731-9
32. Zhang, S. J., Yang, G. L., Zheng, Z. S., Chen, Y. D., Wang, L., & Qian, X. (2009). Residue dynamics of methyl disulfuron in wheat and soil, *Journal of Agricultural University of Hebei*. 32(3), 5. doi: 10.3969/j.issn.1000-1573.2009.03.003
33. Zheng, X. B., & Lu, J. X. (1990). A preliminary study on the stimulation of soil extract to *Phytophthora* producing Ascomycetes. *Journal of Nanjing Agricultural University*, 13(4), 125. doi: 10.7685/j.issn.1000-2030.1990.04.025
34. Zhou, H., Wang, D. M., Tan, H. J., Meng, N. C., & Liao, Y. J. (2017). Isolation and screening of a naphthalene degrading bacterium. *Journal of Northwest University of Nationalities*, 38(4), 36–40. doi: 10.14084/j.cnki.cn62-1188/n.2017.04.009
35. Zhou, J. H., Huang, R. X., Fan, H. X., Tian, S. N., Li, Z. X., Yang, W., Li, T., & Gao, Q. (2016). A Review on the Progresses of Remediation Technologies for Contaminated Soils. *Reserach of Soil and Water Conservation*, 23(3), 366–372. doi: 10.13869/j.cnki.rswc.2016.03.064
36. Zhou, J. H., Sun, X. W., Hu, F., & Li, H. X. (2013). Isolation, Screening and Identification of Prometryne-Degrading Bacteria and Their Characteristics. *Environmental Science*, 34(7), 2894–2898. doi: 10.13227/j.hjx.2013.07.005
37. Zhu, X. K., Yu, A. L., Zhu, Y. Z., & An, L. J. (2012). Isolation and screening of 114 strains of pesticide degrading bacteria from agricultural cultivated soil. *Shandong Agricultural Science*, 44(6), 88–92. doi: 10.14083/j.issn.1001-4942.2012.06.002

Іньхуей Чжу, аспірант, Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна, Інститут науки і техніки Хенань, Сінсян, КНР

Рожкова Т. О., кандидат біологічних наук, доцент, Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна

Виділення та скринінг мікроорганізмів, які розкладають метилдисульфурон

Широке використання гербіцидів спричинило значне забруднення ґрунтового середовища, що серйозно загрожує життю та розвитку людства. Тому існує нагальна потреба в ефективному методі контролю забруднення ґрунту, а деградація залишкових пестицидів мікроорганізмами ефективний метод біоремедіації, розроблений в останні роки. Метилдисульфурон, також відомий як метсульфурон-метил, розроблений компанією Bayer Crop Science у Німеччині, активно використовується у КНР і призводить до його накопичення у ґрунті з наступною післядією на сільськогосподарські культури. Для дослідження використали зразки ґрунту з метилдисульфуроном (96% Iukuan Agricultural Technology Co., Ltd.), які зібрали у липні 2021 р. з випробувального поля у місті Сінсян, провінції Хенань. Беручи за предмети дослідження ґрунт, забруднений метилдисульфуроном, штами мікробів з високим ефектом деградації на гербіцид, провели виділення методом градієнтного розведення, ізольовані штами збагачували та культивували, обробляли та культивували, а також тестували на колонізацію ґрунту, щоб визначити вплив метилдисульфурону на штами. Приготоване градієнтне розведення додавали до пептонного середовища яловичого екстракту (для виділення бактерій), середовища PDA (для ізоляції грибів) та середовища Гао № 1 (для виділення актиноміцетів). З культивованих середовищ відбирали поодинокі колонії з хорошим зростанням. Результати показали, що бактерія J20191108-1 та гриб Tr20191108-E були виділені з ґрунту, а очікувані актиноміцети не виділили. Колонії бактерій виявились молочно-білими з вологою та гладкою поверхнею. Гриб попередньо ідентифікували як *Trichoderma*. Тест на біоаккумуляцію бактерій J20191108-1 показав, що не було суттєвої різниці у зовнішній морфології та кількості бактеріальних колоній, які виростили на двох середовищах з хімічними речовинами та без них. У тесті на колонізацію ґрунту бактерії краще росли на середовищі з гербіцидами. *Trichoderma* Tr20191108-вирощування на чашках з наявністю на відсутність препарату мало вплинуло на ріст колонії, гриб зайняв усю чашку через 2 дні культивування. Візуально відмітили краще спороношення гриба у варіанті з гербіцидом, тому провели підрахунок конідій *Trichoderma*. Але дисперсійний аналіз утворення спор гриба показав, що значення p було $0,163 > 0,05$, що вказує на відсутність суттєвої різниці між концентрацією метилдисульфурону та кількістю конідій гриба. Визначили, що концентрація гербіциду мало впливає на зовнішню морфологію бактерій, але цей показник має певний вплив на швидкість росту грибів.

Ключові слова: метилдисульфурон, бактерії-деструктори, біоремедіація, збагачувальна культура, колонізація ґрунту.

РІСТ І РОЗВИТОК РОСЛИН КАРТОПЛІ ЗА РІЗНИХ СПОСОБІВ І НОРМ ВНЕСЕННЯ ДОБРИВ

Бикін Анатолій Вікторович

доктор сільськогосподарських наук, професор, член-кореспондент Національної академії аграрних наук України
 Національний університет біоресурсів і природокористування України м. Київ, Україна
 ORCID: 0000-0001-7212-7340
 timur_panchuk@ukr.net

Панчук Тимур Вікторович

аспірант
 Національний університет біоресурсів і природокористування України м. Київ, Україна
 ORCID: 0000-0003-2629-1427
 timur_panchuk@ukr.net

Картопля є одним із основних продуктів харчування людей. Її використовують для отримання крохмалю, глюкози, гідролу, спирту та інших речовин. Зростаюча потреба в цій сировині вимагає постійного удосконалення технологій вирощування картоплі з метою отримання високого рівня врожаю з хорошими показниками якості бульб.

Наукові дослідження проводились в польовому досліді кафедри агрохімії та якості продукції рослинництва ім. О. І. Духечкіна НУБіП України на території землекористування ТОВ «Біотех ЛТД» (Бориспільський район, Київська область). Грунт дослідної ділянки – темно-сірий опідзолений грубопилуватий легкосуглинковий на лесі. Для проведення досліджень було обрано ранньостиглий сорт Тирас. Схема польового досліді передбачала різні способи та норми внесення фосфорних і калійних добрив.

Азотні добрива, як фон в усіх варіантах вносили у передпосівний обробіток ґрунту з дозою N_{100} на поверхню ґрунту з наступним його заробленням. Решта азоту в нормі N_{35} у вигляді КАС-25 вносились перед формуванням гребенів з подальшим їх заробленням гребнеутворювачем, а N_{15} у вигляді кальцієвої селітри у підживлення.

РКД 8-24 вносили, як передпосівне удобрення у варіанті з розкидним способом за допомогою самохідного обприскувача Теспота Lazer 3000, а калій хлористий за допомогою агрегату John Deere 6195M та розкидача МВД 1000 з подальшим їх заробленням дискатором Vanderstad Carrier CR 400 на глибину 10-12 см. Локальне внесення добрив проводили агрегатом у складі John Deere 8300 та культиватора Peliper RV 3000. Фосфорні добрива розподілили у ґрунті стрічкою (глибина 15 см), а калійні – смугою (ширина 10–12 см, глибина 18–20 см).

Локальне внесення $P_{60}K_{135}$ на фоні N_{150} забезпечувало в умовах досліді максимальну висоту рослин картоплі (77,8 см). Водночас аналогічний спосіб внесення зі збільшенням норми фосфорних та калійних добрив до рівня $P_{80}K_{180}$ на фоні N_{150} обумовив меншу висоту рослин (71,3 см.).

Найбільший вплив на формування вегетативної частини рослин мало локальне внесення фосфорних та калійних добрив у нормі $P_{60}K_{135}$ на фоні N_{150} . Воно забезпечило найбільший показник маси надземної (38,0 т/га), а також підземної частини рослин (28,7 т/га), що на 2,6 т/га більше від варіанту з аналогічним способом внесення повної норми $P_{80}K_{180}$ на фоні N_{150} .

Найбільша площа листків до фази «зеленої ягоди» сформувалась у варіанті з локальним внесенням $P_{80}K_{180}$ на фоні N_{150} і досягала 56873 м²/га з листовим індексом – 5,69. Розкидне внесення такої ж норми добрив обумовлювало отримання цього показника на рівні 48191 м²/га, що на 8682 м²/га менше від вищезазначеного варіанту. У цей період найбільша маса бульб під одним кущем сформувалась за внесення $P_{60}K_{135}$ локально на фоні N_{150} – 458 г. Збільшення локальної норми до $P_{80}K_{180}$ на фоні N_{150} обумовлювало формування дещо меншої маси бульб – 408 г., що на 12,1% менше вищезазначеного варіанту.

Отже, локальне внесення фосфорних та калійних добрив здатне обумовлювати кращий ріст і розвиток рослин картоплі сорту Тирас в основні фази та бульб зокрема.

Ключові слова: локальне внесення, розкидне внесення, картопля, фотосинтез, листову площу, листовий індекс, фосфорні добрива, калійні добрива.

DOI <https://doi.org/10.32845/agrobio.2022.2.4>

Вступ. Картопля входить до п'ятірки основних продуктів харчування людей. Її також використовують для отримання крохмалю, глюкози, гідролу, спирту та інших речовин. Зростаюча потреба в цій сировині вимагає постійного удосконалення технологій вирощування картоплі з метою отримання високого рівня врожаю з хорошими показниками якості бульб (Martseniuk & Zavołoka, 2020). Впровадження нових технологічних прийомів має базуватися на враховуванні фізіологічних та біологічних особливостей росту та розвитку сортів рослин, їх потреби в елементах живлення в конкретну фазу, осо-

бливо в період формування врожаю (Stroianovskyi & Rykhlyvskyi, 2014). Формування бульб є тривалим та дуже складним процесом, який залежить від багатьох взаємопов'язаних факторів взаємодія яких обумовлює певні внутрішньоклітинні та тканинні режими, які запускають різноманітні реакції в рослинах в т. ч. і через фотосинтез (Herasymuk-Chernova & Bartoshyk, 2019). Основним фактором, який зумовлює високу інтенсивність останнього є фотосинтетична діяльність рослин рівень якої визначається площею листової поверхні та її продуктивністю (Klymenko et al., 2016; Tekalign & Hammes, 2005). За

збільшення загальної площі листків підвищується фотосинтетичний потенціал рослин (навіть на фоні зниження чистої продуктивності фотосинтезу) (Mialkovskiy, 2018).

Рівень впливу інтенсивності фотосинтезу рослин картоплі на врожай носить складний характер. В результаті цього процесу відбувається нагромадження у листках рослин лише первинних асимілятів, а формування бульб залежить від їх подальшого використання для росту і розвитку рослин яке більшою мірою залежить від зовнішніх факторів, ніж від фотосинтезу (Mialkovskiy, 2018). Активність фотосинтетичних процесів у листках змінюється залежно від ярусу їх розміщення на рослині та віку. В середньому рослини формують 15–20 ярусів листків, загальна площа яких коливається в межах 0,6–2,0 м² на кущ. Дослідженнями встановлено, що максимальна інтенсивність проходження фотосинтезу, здебільшого, спостерігалася у листках верхніх 3–4 ярусів (Вукин & Bordiuzha, 2017).

Тривалість використання рослинами ФАР протягом їх вегетації, тобто число «робочих днів» листової поверхні визначає фотосинтетичний потенціал посівів (ФПП) (Chapman & Loomis, 1953; Savchenko & Kozhushko, 2013). Важливо щоб удосконалення технологічних прийомів було спрямоване не тільки на забезпечення оптимальних умов росту рослин, а й на швидке формування активної листової поверхні та її тривале функціонування (Lykhochvor, 2002; Firman & Allen, 1989; Bhagsari & Brown, 1986; Vasko, 2012).

Стеблоутворююча здатність бульб є одним із визначальних факторів, який обумовлює ФПП картоплі, а отже і продуктивність рослин в цілому. Встановлено, що до початку ініціації бульб стеблестій повинен забезпечити покриття 50 % поверхні ґрунту для ранніх і до 70 % – для пізніх сортів картоплі. У період масового цвітіння міжряддя рослин повинні зімкнутись. Для середньо-пізніх сортів з масою надземної частини рослин 40–50 т/га за сприятливих умов характерний середньодобовий приріст маси бульб близько 1 т/га. В кінці вегетації відбувається старіння та зменшення стеблостою, що обумовлює різке зниження цього показника, особливо за втрати близько 70 % листків. Максимальний рівень врожайності досягається лише за умови пізнього (в кінці вегетації) їх повного відмирання. За передчасного механічного або хімічного видалення надземної вегетативної маси, а також через шкочинну діяльність хвороб і шкідників різко знижується реалізація потенціалу сортів (Strilchuk, 2021; Sokolovska & Umrykhin, 2019; Kalenska & Knap, 2012). Тому визначення основних біо-

метричних показників протягом періоду вегетації (висота рослин, густина стеблостою, площа листової поверхні, кількість та маса бульб під кущем) є необхідною умовою для управління врожаєм (Burstall & Harris, 1983; Olesinski et al., 1989). Для отримання високого рівня врожаю рослини повинні сформувати оптимальну кількість стебел (4–6 шт./росл.), а також листову поверхню площею 40–50 тис. м²/га з тривалим її функціонуванням.

Метою досліджень було встановлення особливостей росту і розвитку рослин картоплі сорту Тирас в основні фази в т. ч. і в період формування бульб за внесення фосфорних та калійних добрив різними способами та у зменшених від оптимальних нормах.

Матеріали і методи досліджень. Наукові дослідження проводились в польовому досліді кафедри агрохімії та якості продукції рослинництва ім. О. І. Душечкіна НУБіП України на території землекористування ТОВ «Біотех ЛТД» (Бориспільський район, Київська область) протягом 2019–2021 рр. згідно розробленої схеми досліді (табл. 1).

Площа посівної ділянки становила 495 м², а облікової – 312 м². Повторність досліді 4-кратна. Розміщення варіантів було систематичним. Ґрунт дослідної ділянки – темно-сірий опідзолений грубопилуватий легкосуглинковий на лесі. Він характеризувався слабко-кислою реакцією ґрунтового розчину (5,48), високим ступенем забезпечення рухомими сполуками фосфору (246 мг/кг) та обмінного калію (224 мг/кг), підвищеним вмістом обмінного магнію (2,64 мг.екв/100 г), середнім вмістом кальцію (7,93 мг.екв/100 г), низьким вмістом рухомої сірки (3,64 мг/кг) та мінерального азоту (14,5 мг/кг) (Вукин & Panchuk, 2021).

В дослідженнях використовували наступні добрива: КАС – 25: вміст N – 25 %, S – 2,4 % (ТУ У 24.1-00203826.024-2002), РКД 8:24: вміст N – 8 %, P₂O₅ – 24 % (ТУ 2186-627-00209438-01), калій хлористий: вміст K₂O – 60 % (ТУ 2184-042-00209527-97), сульфат магнію: вміст MgO – 16 % (ТУ 2141-073-00206457-2007), кальцієва селітра: вміст N – 15,5 %, Ca – 19 % (ТУ У6-13441912.004-99).

Азотні добрива, як фон в усіх варіантах вносили у передпосівний обробіток ґрунту з дозою N₁₀₀ на поверхню ґрунту з наступним його заробленням. Решта азоту в дозі N₃₅ у вигляді КАС-25 вносились перед формуванням гребенів з подальшим їх заробленням гребнеутворювачем, а N₁₅ у вигляді кальцієвої селітри у підживлення.

РКД 8-24 вносили, як передпосівне удобрення у варіанті з розкидним способом за допомогою самохідного обприскувача Теснома Lazer 3000, а калій хлористий за

Таблиця 1

Схема польового досліді по вивченню ефективності різних способів і норм внесення добрив, 2019–2021 рр.

| Порядковий номер варіанта | Спосіб та норма внесення добрив | |
|---------------------------|---------------------------------|-----------|
| | розкидний | локальний |
| 1 | N150P80K180 | – |
| 2 | N150 | P80K180 |
| 3 | N150 | P60K135 |
| 4 | N150 | P40K90 |

допомогою агрегату John Deere 6195M та розкидача МВД 1000 з подальшим їх заробленням дискатором Vanderstad Carrier CR 400 на глибину 10-12 см. Локальне внесення проводили агрегатом у складі John Deere 8300 та культиватора Peliper RV 3000: фосфорні добрива (РКД 8-24) стрічкою (глибина 15 см), а калійні – смугою (ширина 10–12 см, глибина 18–20 см) (Вукін & Панчук, 2021).

Передвисадкове підготування бульб передбачало оброблення стимуляторами росту Грос Коренеріст (1,5 л/т) та Еколайн Фосфитний (К) (1 л/т) за допомогою аплікатора на інспекційному столі (Вукін & Панчук, 2021).

Зразки ґрунту та рослин картоплі відбирались у наступні фази росту і розвитку: сходи (ВВСН–10), бутонізація (ВВСН–51-59), цвітіння (ВВСН–60-69), «зелена ягода» (ВВСН–70-79), технічна стиглість (ВВСН–91-99). Відбір та підготовка зразків ґрунту до аналізів здійснювалась згідно ДСТУ ISO 10381-2:2004 та ДСТУ ISO 11464 – 2001.

Результати. Суттєвим недоліком найбільш розповсюдженого розкидного способу внесення добрив є нерівномірність розподілу гранул, особливо за недостатньо якісного гранулометричного складу мінеральних добрив. Це зумовлює формування нерівномірних зон з різними умовами росту й розвитку рослин.

Відомо, що за перемішування добрив із великим об'ємом ґрунту активізуються процеси їх розчинення, поглинання і зв'язування елементів живлення. Для уникнення втрат поживних речовин набуває гострої актуальності потреба в оптимізації способів внесення мінеральних добрив. Одним із перспективних шляхів у цьому відношенні є внесення особливо фосфорних та калійних добрив із локалізацією біля коренів рослин. За такого способу підвищуються коефіцієнти використання поживних елементів завдяки знаходженню протягом тривалого проміжку часу в доступній формі. Розміщення добрив у такий спосіб, позитивно впливає на формування стійкості сільськогосподарських культур до стресових умов та покращує процеси синтезу запасаючих речовин (Вукін & Панчук, 2021). Зокрема, локальне внесення фосфорних добрив сприяє прискореному росту та розвитку кореневої системи, а також поглинанию і транспортуванню іонів елементів живлення. За такого розміщення гранул сполуки фосфору стають більш доступними впродовж вегетації, що обумовлює формування оптимальної кількості бульб картоплі. Відомо, що локальне внесення калійних добрив сприяє кращому засвоєнню елементів кореневою системою рослин, а також забезпечує синтез і транспорт вуглеводів, що покращує всмоктування корінням вологи та поживних елементів з ґрунту (Вукін & Панчук, 2021).

Відомо, що висота рослин є показником, який характеризує умови їх росту. Нами встановлено, що картопля столова у фазу сходів розвивалась за рахунок ресурсів материнської бульби і тому суттєвої різниці за цим показником у рослин варіантів, що досліджувались не було. Вона коливалась в межах від 11,3 до 13,8 см (табл. 2). З подальшим ростом та розвитком рослин картоплі до фази бутонізації їх висота у середньому збільшилась в три рази. Проте найбільші темпи цього процесу були характерними для варіанту з локальним внесенням

$P_{40}K_{90}$ на фоні N_{150} . Їх середня висота становила 46,5 см, а найменшим цей показник був у варіанті з локальним внесенням $P_{60}K_{135}$ на фоні N_{150} . У фазу масового цвітіння відбулося зменшення темпів росту рослин. Це може бути пов'язано з тим, що почалась ініціація бульб і частина енергії використовувалась для їх формування. Зокрема, у варіанті, де застосовували локальне внесення фосфорних та калійних добрив у нормі $P_{80}K_{180}$ на фоні N_{150} сформувалась найбільша висота рослин (57,6 см). За розкидного внесення аналогічної норми добрив цей показник був меншим на 4,3 см.

До фази «зеленої ягоди» висота рослин збільшувалась, а потім стабілізувалась. У цей період локальне внесення $P_{60}K_{135}$ на фоні N_{150} сприяло максимальному росту рослин до рівня (77,8 см.), що на 41,6% більше порівняно з попередньою фазою розвитку. Проте, аналогічний спосіб внесення зі збільшенням норми фосфорних та калійних добрив до рівня ($P_{80}K_{180}$) на фоні N_{150} обумовлював менший приріст (23,7 %) порівняно з вищезазначеною фазою вегетації, а висота рослин становила 71,3 см. Водночас у варіанті з розкидним внесенням добрив ($N_{150}P_{80}K_{180}$) цей показник порівняно із попередньою фазою (масове цвітіння) зріс на 39,7 %, а рослини досягали висоти 74,5 см. Таким чином можна зробити висновок, що локальний спосіб внесення добрив обумовлює кращий розвиток та ріст рослин картоплі.

Важливим показником, який впливає на формування бульб є стеблестій. Середня кількість стебел в умовах дослідів становила 5,05–5,35 шт/росл. Безпосереднього впливу способів і норм внесення добрив на нього не встановлено.

Відомо, що на формування бульб впливає характер і темпи розвитку рослин. Нами встановлено, що залежно від варіанту у період сходів маса надземної частини коливалась від 1,19 до 1,49 т/га, а підземної – 0,98–1,20 т/га.

Слід відмітити, що в цю фазу суттєвої різниці у співвідношенні надземної до підземної частини рослин між варіантами не спостерігалось (1,21–1,28).

При настанні фази бутонізації найкращий розвиток надземної вегетативної частини обумовлював розкидний спосіб внесення ($N_{150}P_{80}K_{180}$), маса якої досягала рівня 13,3 т/га, що на 12,1 т/га більше порівняно з фазою сходів. У варіантах з локальним внесенням фосфорних та калійних добрив приріст цього показника був дещо меншим і коливався від 9,85 до 11,2 т/га, що може бути обумовлено локалізацією фосфорних добрив на глибині 12–15 см та калійних на 18–20 см. За розкидного способу вони знаходились у верхньому шарі, що сприяло швидшому стартовому споживанню коренями рослин елементів живлення. У цей період також розпочався активний приріст підземної маси рослин, яка збільшилась у 2 рази порівняно із фазою сходів та коливалась в межах 2,24–2,40 т/га. Найбільші темпи були характерні для варіанту з локальним внесенням $P_{60}K_{135}$ на фоні N_{150} – 2,40 т/га, що на 1,29 т/га більше порівняно з фазою сходів. При підвищенні норми до $P_{80}K_{180}$ на фоні N_{150} за аналогічного способу внесення маса підземної частини досягала лише 2,24 т/га. У фазу бутонізації

**Біометричні показники рослин картоплі сорту Тирас за різних способів та норм внесення добрив,
2020–2021 рр.**

| Фаза росту та розвитку рослин | Спосіб внесення | Норма внесення, кг/га д.р. | Показник | | | | | | | | |
|-----------------------------------|-----------------|----------------------------|-------------------|--------------------------------|------------------------------|------------------------------|---|---|-----------------|-------------------------------|-------------------------|
| | | | висота рослин, см | кількість стебел під кущем, шт | маса надземної частини, т/га | маса підземної частини, т/га | співвідношення надземної до підземної частини | площа листової поверхні, м ² /га | листовий індекс | кількість бульб під кущем, шт | маса бульб під кущем, г |
| сходи (ВВСН-10) | розкидний | P80 K180* | 11,3 | 5,13 | 1,19 | 0,98 | 1,21 | 1261 | 0,13 | - | - |
| | локальний | P80 K180* | 13,2 | 5,05 | 1,36 | 1,06 | 1,28 | 1236 | 0,12 | - | - |
| | локальний | P60 K135* | 12,2 | 5,35 | 1,36 | 1,11 | 1,22 | 1567 | 0,16 | - | - |
| | локальний | P40 K90* | 13,8 | 5,18 | 1,49 | 1,20 | 1,24 | 1490 | 0,15 | - | - |
| | НІР05/Sx,% | | | 2,91/3,3 | 0,43/1,2 | 0,16/1,7 | 0,11/1,5 | - | 147,5/1,5 | - | - |
| бутонізація (ВВСН-51-59) | розкидний | P80 K180* | 43,4 | - | 13,3 | 2,39 | 5,56 | 14317 | 1,43 | - | - |
| | локальний | P80 K180* | 44,6 | - | 11,2 | 2,24 | 4,99 | 12787 | 1,28 | - | - |
| | локальний | P60 K135* | 41,6 | - | 12,2 | 2,40 | 5,09 | 13670 | 1,37 | - | - |
| | локальний | P40 K90* | 46,5 | - | 12,7 | 2,28 | 5,56 | 14042 | 1,40 | - | - |
| | НІР05/Sx,% | | | 4,09/1,3 | - | 1,58/1,9 | 0,24/1,5 | - | 755,5/08 | - | - |
| цвітіння (ВВСН-60-69) | розкидний | P80 K180* | 53,3 | - | 24,3 | 5,37 | 4,52 | 25312 | 2,53 | 9,0 | 37,2 |
| | локальний | P80 K180* | 57,6 | - | 22,9 | 7,83 | 2,93 | 27380 | 2,74 | 10,3 | 82,3 |
| | локальний | P60 K135* | 54,9 | - | 25,0 | 8,29 | 3,01 | 30197 | 3,02 | 10,8 | 84,1 |
| | локальний | P40 K90* | 56,3 | - | 25,0 | 7,50 | 3,33 | 29980 | 3,00 | 12,0 | 74,6 |
| | НІР05/Sx,% | | | 6,54/1,7 | - | 1,75/1,0 | 0,60/1,2 | - | 2384,2/1,2 | - | 1,22/1,7 |
| «зелена ягода» (ВВСН-70-79) | розкидний | P80 K180* | 74,5 | - | 36,6 | 23,0 | 1,59 | 48191 | 4,82 | - | 351 |
| | локальний | P80 K180* | 71,3 | - | 35,5 | 26,1 | 1,36 | 56873 | 5,69 | - | 408 |
| | локальний | P60 K135* | 77,8 | - | 38,0 | 28,7 | 1,33 | 40676 | 4,07 | - | 458 |
| | локальний | P40 K90* | 71,5 | - | 34,8 | 22,3 | 1,56 | 38984 | 3,90 | - | 347 |
| | НІР05/Sx,% | | | 7,01/1,4 | - | 3,74/1,5 | 2,54/1,5 | - | 3844,9/1,2 | - | - |

*Примітка: на фоні внесення N₁₅₀

відбулось розширення співвідношення надземної маси до підземної. Воно коливалось в межах 4,99–5,56 залежно від варіанту. Найширше співвідношення було у варіантах з розкидним внесенням N₁₅₀, P₈₀, K₁₈₀ та локальним P₄₀, K₉₀ на фоні N₁₅₀ – 5,56.

В подальшому до фази цвітіння розвиток надземної частини рослин різко прискорився. У варіантах з локальним внесенням P₆₀, K₁₃₅ та P₄₀, K₉₀ на фоні N₁₅₀ цей показник був найбільшим та досягав рівня 25,0 т/га, що на 2,1 т/га більше від варіанту з аналогічним способом внесення фосфорних та калійних добрив у нормі P₈₀, K₁₈₀ на фоні N₁₅₀. Найкращий розвиток підземної частини рослин у цей період був у варіантах з локальним внесенням добрив. Її маса коливалась в межах 5,37–8,29 т/га. Найбільша маса підземної частини рослин була у варіанті з локальним внесенням P₆₀, K₁₃₅ на фоні N₁₅₀ (8,29 т/га). Вона переважала цей показник порівняно з фазою бутонізації на 5,89 т/га. Варіант, де застосовувалась повна норма добрив P₈₀, K₁₈₀ на фоні N₁₅₀ за аналогічного способу внесення поступався вищезазначеному варіанту на 0,46 т/га, а приріст від фази бутонізації до цвітіння стано-

вив 3,13 т/га. Слід відмітити, що у фазу цвітіння почалося активне формування та наростання бульб. Найширше співвідношення у цей період було у варіанті розкидним внесенням N₁₅₀, P₈₀, K₁₈₀ (4,52). Локальне внесення сприяло звуженню цього показника до рівня – 3,33–2,93. Від фази цвітіння темпи наростання бульб зростали, що обумовлювало подальше звуження вищезазначеного співвідношення у всіх варіантах досліджу.

У фазу «зеленої ягоди» найефективніший вплив на формування надземної вегетативної частини рослин мало локальне внесення фосфорних та калійних добрив у нормі P₆₀, K₁₃₅ на фоні N₁₅₀. Воно забезпечило найбільший показник (38,0 т/га), який на 13 т/га був більшим, ніж у фазу цвітіння. Внесення повної норми P₈₀, K₁₈₀ аналогічним способом на фоні N₁₅₀ обумовлювало формування меншої надземної частини (35,5 т/га), а приріст до фази цвітіння становив 12,6 т/га. Слід відмітити, що до фази «зеленої ягоди» темпи приросту підземної частини рослин картоплі були високими в усіх варіантах. Найбільш ефективним виявилось локальне внесення фосфорних та калійних добрив у нормі P₆₀, K₁₃₅ на фоні N₁₅₀, яке спри-

яло формуванню найбільшій за масою підземної частини рослин (28,7 т/га). Це на 2,6 т/га більше від варіанту з аналогічним способом внесення повної норми $P_{80}K_{180}$ на фоні N_{150} , а також на 6,4 т/га більше за показник варіанту з локальним внесенням $P_{40}K_{90}$. Такий приріст може обумовлюватись кращою доступністю елементів живлення у варіанті з локальним внесенням добрив на фоні оптимального вологозабезпечення рослин. Також, нами було встановлено, що у цей період найширше співвідношення надземної маси до підземної було у варіанті з розкидним внесенням добрив – 1,59. Водночас локальне внесення забезпечило подальше звуження співвідношення з 1,56 до 1,33 залежно від норми внесення.

Формування оптимальної площі листової поверхні є одним із факторів, які через ефективне використання ФАР мають безпосередній вплив на проходження всіх фізіолого-біохімічних процесів у рослинах. Згідно наших досліджень, у фазу сходів площа листової поверхні коливалась в межах 1236–1567 м²/га, а листовий індекс становив 0,12–0,16. До фази бутонізації площа листків у всіх варіантах збільшилась майже до 10 разів. Водночас цей показник був найбільшим у варіанті з розкидним внесенням і становив 14317 м²/га, за листового індексу 1,43. У варіантах з локальним внесенням добрив листову площу була дещо меншою і коливалась від 12787 до 14042 м²/га, а листовий індекс відповідно від 1,28 до 1,40.

У фазу цвітіння найкращий розвиток листової поверхні спостерігався за локального внесення $P_{60}K_{135}$ на фоні N_{150} . Її площа становила 30197 м²/га, а листовий індекс – 3,02. За збільшення дози до рівня $P_{80}K_{180}$ на фоні N_{150} листову площу була меншою та досягала 27380 м²/га, а листовий індекс 2,74. У варіанті з розкидним внесенням аналогічної норми добрив площа листків та листовий індекс були найменшими серед варіантів – 25312 м²/га та відповідно 2,53.

Найбільша листову площу у фазу «зеленої ягоди» була у варіанті з локальним внесенням $P_{80}K_{180}$ на фоні N_{150} і досягала 56873 м²/га, а її приріст порівняно з фазою цвітіння становив 108%, листовий індекс був на рівні 5,69. У варіанті з розкидним внесенням такої ж норми добрив приріст досягав 90% порівняно з попередньою фазою розвитку. Площа листків у фазу «зеленої ягоди» становила 48191 м²/га, що на 8682 м²/га менше від варіанту з локальним внесенням.

Формування потужної підземної частини картоплі є основною умовою для отримання високого рівня врожаю. Добре розвинена коренева система краще споживає поживні речовини та вологу, що буде сприяти збільшенню розмірів бульб та їх кількості. Продуктивність сорту залежить від кількості бульб у кущі та їх маси. Загальна їх кількість певною мірою залежить від багатьох факторів в т. ч. і удобрення та вологи. Для сорту Тирас ініціація бульб починається до фази бутонізації, але формування типової їх кількості припадає на момент масового цвітіння. У цей період найбільша кількість бульб під кущем сформувалась у варіанті з локальним внесенням добрив $P_{40}K_{90}$ на фоні N_{150} – 12 шт., а їх маса становила 74,6 г. Збільшення норми добрив до $P_{60}K_{135}$ за аналогічного їх внесення на фоні N_{150} обумов-

лювало формування бульб у кількості 10,3 шт. та отримання найбільшого показника маси бульб під кущем – 84,1 г. Подальше збільшення локальної норми добрив до $P_{80}K_{180}$ на фоні N_{150} обумовлювало формуванню бульб на рівні (10,3 шт.) з масою 82,3 г. Також, слід відмітити, що у варіанті з внесенням аналогічної норми добрив розкидним способом кількість бульб досягала 9 шт., а маса – 37,2 г., що на 45,1 г. менше за вищезазначений варіант.

У фазу «зеленої ягоди» найбільша маса бульб під одним кущем сформувалась за внесення $P_{60}K_{135}$ локально на фоні N_{150} – 458 г. Збільшення локальної норми до $P_{80}K_{180}$ на фоні N_{150} обумовлювало формування дещо меншої маси бульб – 408 г., що на 12,1% менше вищезазначеного варіанту. Тоді як за аналогічної норми добрив внесеної в розкид маса бульб досягала рівня 351 г., що на 16 % менше вищезазначеного варіанту. Отже, локальне внесення мінеральних добрив забезпечує кращі темпи формування бульб картоплі.

Обговорення. Величина урожаю має пряму залежність від ефективності використання сонячної енергії рослинами. Найважливішою умовою її зростання є формування оптимальної площі асиміляційної поверхні та висока ефективність її функціонування. Посіви як фотосинтезуючі системи повинні мати високу оптимальну щільність, велику площу листової поверхні та розмір кореневої системи. Такі умови регулюються оптимізацією густоти посіву та площею живлення рослин. Це досягається покращенням ґрунтової родючості, водозабезпеченням та удобренням. Встановлено, що для оптимального проходження фотосинтезу загальна площа листків повинна перевищувати площу ґрунту у 3–5 разів. Для нормальної роботи фотосинтетичного апарату рослини потребують також достатнього забезпечення їх усіма елементами живлення (Mazur & Myronova, 2021; Kalenska et al., 2017).

Згідно результатів досліджень, які проводились у зоні Лісостепу України встановлено, що оптимальна площа листової поверхні для картоплі коливається в межах 40–60 тис. м²/га залежно від сортових особливостей. Коли площа листової поверхні буде менша від оптимальної, порушується оптимізація оптико-біологічної структури насаджень, що зумовлює нераціональне використання ФАР. Однак, занадто велика листову площу є небажаною, тому що виникає взаємозатінення і велика частина листків, які розміщуються на нижніх ярусах може опадати (Вукина, 2016; Ivanova & Konstantinova, 2020; Villa et al., 2017).

Багато досліджень свідчать, що мінеральне живлення впливає на властивості листків через обводнення тканин, зміну поверхневої щільності сухої речовини та концентрації пігментів (Mialkovskiy, 2018). В умовах Лісостепу Західного, у фазу цвітіння найбільше наростання фітомаси спостерігалось у рослин картоплі сорту Слаута за передпосадкового оброблення бульб Регоплантом і Квадростимом. Це обумовлювало збільшення надземної маси рослин на 10,2 і 14,6% та площі листків на 11,8 і 10,6% порівняно з контролем (Mialkovskiy & Bezvikonnyi, 2020).

Ільчук Ю. Р. та Ільчук Р. В. (Ilchuk & Ilchuk, 2021) встановили, що у варіантах з внесенням мінеральних добрив у нормі $N_{60}P_{60}K_{90}$ збільшилась тривалість міжфазних періодів різних сортів на 1–4 доби порівняно з контролем

(без добрив). За збільшення норм мінеральних добрив помітно зростала площа листової поверхні та продуктивність фотосинтезу.

Внесення РКД 11-37 у нормі P_{105} на фоні $N_{120}K_{180}$ та передпосадкове оброблення бульб рістстимулюючим препаратом Атонік Плюс сприяло оптимізації площі листової поверхні у критичні фази росту і розвитку рослин картоплі. Листковий індекс коливався в межах 0,94–6,26, а чиста продуктивність фотосинтезу досягала меж 4,22–18,7 г/м² за добу, що обумовлювало формування високого рівня врожаю – 42,6 т/га (Bykin & Bordiuzha, 2017).

Результати досліджень Гамаюнової В. В. та Іскакової О. Ш (Hamaionova, et al., 2015) з ранньостиглим сор-

том Тирас, середньораннім Забава та середньостиглим Слов'янка за середньої забезпеченості ґрунту рухомими сполуками елементів живлення та локального внесення мінеральних добрив у нормі $N_{45}P_{45}K_{45}$ на глибину до 12 см, засвідчували аналогічний рівень впливу на їх урожайність та якість бульб, як і повна норма мінеральних добрив $N_{90}P_{90}K_{90}$ врозкид.

Висновки. Локальне внесення фосфорних та калійних добрив у нормі $P_{60}K_{135}$ на фоні N_{150} обумовлювало оптимізацію росту і розвитку рослин картоплі та сприяло досягненню висоти рослин у фазу «зеленої ягоди» (77,8 см), маси надземної (38 т/га) і підземної вегетативних частин (28,7 т/га) та формуванню бульб загальною масою 458 г.

Бібліографічні посилання:

1. Bhagsari, A. S., & Brown, R. H. (1986). Leaf Photosynthesis and its Correlation with Leaf Area 1. *Crop science*, 26(1), 127–132.
2. Burstall, L., & Harris, P. (1983). The estimation of percentage light interception from leaf area index and percentage ground cover in potatoes. *The Journal of Agricultural Science*, 100(1), 241–244. doi: 10.1017/S0021859600032676
3. Bykin, A. V., & Bordiuzha, I. P. (2017). Vplyv ridkykh kompleksnykh dobryv na chystu produktyvnist fotosyntezu roslyn kartopli stolovoi [Influence of liquid complex fertilizers on the net productivity of photosynthesis of table potato plants]. *Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho ahrarynoho universytetu imeni VV Dokuchaieva. Seriya: Gruntoznavstvo, ahrokhimiia, zemlerobstvo, lisove hospodarstvo, ekolohiia gruntiv*, (2), 199–205 (in Ukrainian).
4. Bykin, A. V., & Panchuk, T. V. (2021) Produktivnist nasinnievoi kartopli za lokalnoho vnesennia fosfornykh i kaliinykh dobryv [Productivity of seed potatoes of local application of phosphorus and potassium fertilizers]. *Naukovyi zhurnal «Roslynytstvo ta gruntoznavstvo»*, 12(2), 37–46 (in Ukrainian). doi: 10.31548/agr2021.02.037
5. Bykina, N. M. (2016). Vplyv umov zhyvlennia na aktyvnist fiziologichnykh protsesiv kartopli stolovoi [Influence of nutritional conditions on the activity of physiological processes of table potatoes]. *NAUCHNYE TRUDY SWorld*, 7, 53–58 (in Ukrainian).
6. Chapman, H. W., & Loomis, W. E. (1953). Photosynthesis in the Potato Under Field Conditions. *Plant physiology*, 28(4), 703–716. doi: 10.1104/pp.28.4.703
7. Firman, D., & Allen, E. (1989). Relationship between light interception, ground cover and leaf area index in potatoes. *The Journal of Agricultural Science*, 113(3), 355–359. doi: 10.1017/S0021859600070040
8. Hamaionova, V. V. & Iskakova, O. Sh. (2015). Osoblyvosti udobrennia ta vykorystannia kartopli litnoho sadinnia na kraplynnomu zroshenni v umovakh Stepu Ukrainy [Features of fertilization and use of summer planting potatoes on drip irrigation in the steppe of Ukraine] (in Ukrainian).
9. Herasymyk-Chernova, T. P., & Bartoshyk, I. S. (2019). Osoblyvosti formuvannia vrozhaiu kartopli [Features of potato crop formation]. *Silskohospodarski mashyny: Zb. nauk. st.*, 42, Lutsk, 158 (in Ukrainian).
10. Ilchuk, Yu. R., & Ilchuk, R. V. (2021). Osoblyvosti rostu i rozvytku rannostyhykh sortiv kartopli zalezno ploshch zhyvlennia ta velychyny sadyvnoi fraktsii bulb [Peculiarities of growth and development of early-rating varieties of potatoes depending on the area of father and size of the planting fraction of tubers]. *Sciences of Europe*, (62-2), 3–10 (in Ukrainian).
11. Ivanova, I., & Konstantinova, S. (2020, August). Efficiency of liquid bio-organic fertilizer on potatoes. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 548(5), 052039. IOP Publishing.
12. Kalenska, S. M., & Knap, N. V. (2012). Formuvannia produktyvnosti kartopli v umovakh Zakarpattia [Formation of potato productivity in the conditions of Transcarpathia]. *Naukovyi visnyk Natsionalnoho universytetu bioresursiv i pryrodoko rystuvannia Ukrainy. Ser.: Ahronomiia*, 176), 24 (in Ukrainian).
13. Kalenska, S.M., Knap, N.V. & Fedosii, I.O. (2017). Kartoplia: biolohiia ta tekhnolohiia vyroshchuvannia [Potato: biology and virology technology]. «Nilan-LTD», Vinnytsia, 144.
14. Lykhochvor, V. V. (2002). Kartoplia, topinambur, batat [Potatoes, Jerusalem artichokes, sweet potatoes]. *NVF «Ukrainski tekhnolohii»*, Lviv, 60 (in Ukrainian).
15. Martseniuk, I. M. & Zavoloka, K. S. (2020). Kharakterystyka produktsii, shcho vyrobliaietsia z kartopli [Characteristics of products made from potatoes]. *Suchasni pidkhody do vyroshchuvannia, pererobky i zberihannia plodoovochevoi produktsii : materialy mizhnarodnoi nauk.-prakt. konf.*, 18–20 bereznia 2020 r. MNAU, Mykolaiv, 177–179 (in Ukrainian).
16. Mazur, O. V., & Myronova, H. V. (2021). Vychennia tekhnolohichnykh pryiomiv vyroshchuvannia nasinnievoi kartopli [Study of technological methods of growing seed potatoes]. *Silke hospodarstvo ta lisivnytstvo*, 3(22), 237–250 (in Ukrainian).
17. Mialkovskyy, R. O. (2018). Formuvannia ploshchi lystkovoi poverkhni kartopli zalezno vid sortovykh osoblyvostei ta napriamku riadkiv v ahrofitotsenozii [Formation of the leaf surface area of potatoes depending on varietal characteristics and direction of rows in the agrophytocenosis]. *Zroshuvane zemlerobstvo: mizhvidomchyi tematychnyi nauk. zb.* Kherson, 53–57 (in Ukrainian).

18. Mialkovskiy, R. O. (2018). Vrozhainist kartopli zalezno vid ploshchi lystkovoї poverkhni na riznykh fonakh zhyvliennia [Potato yields depending on the leaf surface area on different food backgrounds]. Zbirnyk naukovykh prats Natsionalnoho naukovoho tsentru Instytut zemlerobstva, NAAN, 2, 66–74 (in Ukrainian).
19. Mialkovskiy, R. O., & Bezvikonnyi, P. V. (2020). Vplyv rehulatoriv rostu i biohumusu na produktyvnist kartopli umovakh lisostepu zakhidnoho [Influence of growth regulators and biohumus on potato productivity in the conditions of western forest-steppe] (in Ukrainian).
20. Olesinski, S. Wolf, J. Rudich, A. Marani, Effect of Leaf Age and Shading on Photosynthesis in Potatoes (*Solanum tuberosum*), *Annals of Botany*, Volume 64, Issue 6, December 1989, Pages 643–650. doi: 10.1093/oxfordjournals.aob.a087889
21. Savchenko, P. V., & Kozhushko, N. S. (2013). Metod opredeleniya ploshchady lystvovoi poverkhnosti rastenyia kartofelia [Method for determining the leaf surface area of potato plants]. *Vestnyk Sumskoho natsyonalnoho ahrarnoho unyversyteta*, 11, 191–195 (in Ukrainian).
22. Sokolovska, I. M., & Umrykhin, N. L. (2019). Formuvannia produktyvnosti posiviv nasinnievoi kartopli v umovakh pivnichnoho stepu Ukrainy [Formation of productivity of seed potato crops in the conditions of the northern steppe of Ukraine], 487. (in Ukrainian).
23. Strilchuk, M. L. (2021). Ahrobiolohichni osoblyvosti sortiv kartopli ta yakisni pokaznyky urozhaiu v umovakh Zakhidnoho Lisostepu Ukrainy [Agrobiological features of potato varieties and quality indicators of yield in the Western forest-steppe of Ukraine] (Doctoral dissertation) (in Ukrainian).
24. Stroianovskiy, V. S., & Rykhivskiy, I. P. (2014). Efektyvnist vyroshchuvannia kartopli za riznykh tekhnolohii v umovakh Pivdenno-zakhidnoho Lisostepu Ukrainy [Efficiency of potato cultivation by different technologies in the conditions of the South-Western forest-steppe of Ukraine]. *Bioresursy i pryrodokorystuvannia*, 6(5–6), 68–71 (in Ukrainian).
25. Tekalign, T., & Hammes, P. S. (2005). Growth and productivity of potato as influenced by cultivar and reproductive growth: I. Stomatal conductance, rate of transpiration, net photosynthesis, and dry matter production and allocation. *Scientia Horticulturae*, 105 (1), 13 doi: 10.1016/j.scienta.2005.01.029
26. Vasko, N. M. (2012). Lystkovyi indeks ta vrozhainist kartopli in vitro za vykorystannia pidzhyvlen vodorozchynnymy kompleksnymy dobryvamy [Leaf index and in vitro map yield using water-soluble complex fertilizers]. *Visnyk ahrarnoi nauky*, (9), 65–66 (in Ukrainian).
27. Villa, P. M., Sarmiento, L., Rada, F. J., Machado, D., & Rodrigues, A. C. (2017). Leaf area index of potato (*Solanum tuberosum* L.) crop under three nitrogen fertilization treatments. *Agronomía Colombiana*, 35(2), 171–175.

Bykin A.V., Doctor (Agricultural Sciences), Professor, Corresponding Member of NAAS, National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

Panchuk T. V., PhD student, National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

Growth and development of potato plants under different methods and norms of fertilizer application

Potatoes are one of the main food products of people. It is used to obtain starch, glucose, hydrol, alcohol, and other substances. The growing need for this raw material requires constant improvement of potato growing technologies to obtain a high level of harvest with good indicators of tuber quality.

Scientific research was carried out in the field experiment of the department of agrochemistry and the quality of plant products named after O. I. Dushechkina of the National Institute of Science and Technology of Ukraine on the land use territory of Biotech LTD LLC (Boryspil district, Kyiv region). The soil of the experimental site is a dark gray, golden, coarse-grained, light loamy loam in the loess. The early ripening variety Tiras was chosen for the research. The scheme of the field experiment provided various methods and rates of application of phosphorus and potash fertilizers.

As a background in all variants of the experiment, nitrogen fertilizer was applied to the pre-sowing soil treatment, with the rate of N_{100} on the soil surface, followed by its cultivation. The rest of the nitrogen in the norm of N_{35} in the form of UAN-25 was applied before the formation of ridges with their subsequent formation by a ridge former, and N_{15} in the form of calcium nitrate as a top dressing.

Liquid complex fertilizer (APP) 8–24 was applied as a pre-sowing fertilizer in a spreading method using a Tecnomax Lazer 3000 self-propelled sprayer, and potassium chloride was applied using a John Deere 6195M unit and an MVD 1000 spreader, followed by spreading with a Vaderstad Carrier CR 400 disk cultivator to a depth of 10–12 cm. Local application of fertilizers was carried out with a John Deere 8300 unit and a Peliper RV 3000 cultivator. Phosphorous fertilizers were distributed in the soil with a tape (15 cm deep), and potassium fertilizers with a strip (10–12 cm wide, 18–20 cm deep).

The local introduction of $P_{60}K_{135}$ on the background of N_{150} provided the maximum height of potato plants (77.8 cm) under the experimental conditions. At the same time, a similar method of application with an increase in the rate of phosphorus and potassium fertilizers to the level of $P_{80}K_{180}$ against the background of N_{150} resulted in a lower plant height (71.3 cm).

The greatest influence on the formation of the vegetative part of plants was exerted by the local application of phosphorus and potassium fertilizers at the rate of $P_{60}K_{135}$ against the background of N_{150} . It provided the largest indicator of the mass of above-ground (38.0 t/ha) and underground part of plants (28.7 t/ha), which is 2.6 t/ha more than the option with a similar method of applying the full rate of $P_{80}K_{180}$ on the background of N_{150} .

The largest area of the leaves before the "green berry" phase was formed in the variant with local application of $P_{80}K_{180}$ against the background of N_{150} and reached 56873 m²/ha with a leaf index of 5.69. Scattered application of the same rate

of fertilizers caused this indicator to be obtained at the level of 48191 m²/ha, which is 8682 m²/ha less than the above-mentioned option. During this period, the largest mass of tubers under one bush was formed when applying P₆₀K₁₃₅ locally on the background of N₁₅₀ – 458 g. The increase of the local norm to P₆₀K₁₈₀ on the background of N₁₅₀ led to the formation of a slightly smaller mass of tubers – 408 g, which is 12.1 % less than the above-mentioned option.

Therefore, the local application of phosphorus and potassium fertilizers can condition the better growth and development of potato plants of the Tiras variety in the main phases and tubers in particular.

Key words: local application, scattered application, potato, photosynthesis, leaf area, leaf index, phosphorus fertilizers, potash fertilizers.

ОЦІНКА СТАНУ ПРЕПАРАТІВ ДНК ЛЬОНУ ЗА ТРИВАЛОГО ТЕРМІНУ ЗБЕРІГАННЯ

Верещагін Ігор Володимировичкандидат сільськогосподарських наук, доцент
Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна
ORCID: 0000-0002-6589-5138
ihor_vereschahin1986@ukr.net**Оничко Віктор Іванович**кандидат сільськогосподарських наук, доцент
Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна
ORCID: 0000-0003-0584-319X
onichko@gmail.com**Кандиба Наталія Миколаївна**кандидат сільськогосподарських наук, доцент
Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна
ORCID: 0000-0001-6548-3670
kandybanataliya@protonmail.com

Льон (*Linum usitatissimum* L.) є надзвичайно стародавньою прядивною культурою. Селекційна наука досягла значних результатів у створенні сортів прядивного льону з високим вмістом волокна у стеблах: 28–32%, а в окремих випадках навіть 36–43%. При цьому залишається велика кількість нерозв'язаних проблем у селекції льону, зокрема філогенез культури, генетичний контроль успадкування господарських та біологічних ознак, а також характер їх успадкування. Разом з цим виникає потреба у впровадженні в селекційну практику льону методів молекулярної біології, оскільки вони є універсальними, бо працюють на рівні нуклеїнових кислот (ДНК).

Сьогодні методи молекулярної біології активно впроваджуються в практику агрономічних досліджень і виконують різноманітні функції: ідентифікація ГМО та патогенних організмів, створення генетичних карт сільськогосподарських культур, маркерна селекція польових культур, секвенування геномів цінних сортів і видів з метою більш успішної селекції та багато інших.

Основною проблемою, якою супроводжуються молекулярні дослідження, є якість препаратів ДНК, котрі використовуються для проведення основного етапу молекулярних досліджень – полімеразної ланцюгової реакції або ПЛР. На якість препаратів ДНК впливає багато факторів, зокрема дотримання протоколу виділення нуклеїнових кислот, наявність компонентів буфера для виділення у препараті, кількість відмивань препарату, загальна чистота в лабораторії, а також тривалість та температура зберігання. Порушення правил зберігання ДНК призводить до руйнування або деградації молекули.

Існує довготривалий та короткочасний способи зберігання ДНК, які використовуються залежно від особливостей молекулярних досліджень. У статті розглядаються результати досліджень якості препаратів ДНК сортів льону Гладіатор та Есмань за довготривалого способу зберігання (90 діб), при температурі +4°C і -20°C в деіонізованій воді та ТЕ-буфері (TrisHCl EDTA). Було встановлено, що препарати ДНК здебільшого зберігають свою стабільність за тривалого способу зберігання, і, отже, можуть бути придатними для ПЛР.

Ключові слова: льон, сорт, зразок, препарат, ДНК, полімеразна ланцюгова реакція, деградація, деіонізована вода, ТЕ-буфер, довготривалий спосіб зберігання.

DOI <https://doi.org/10.32845/agrobio.2022.2.5>

Вступ. Льон (*Linum usitatissimum* L.) почав використовуватися людиною ще на початку цивілізації і навіть сьогодні залишається цікавим об'єктом для дослідження. У селекції льону-довгунця найбільш розв'язаною проблемою можна вважати створення високоволокнистих сортів завдяки надійним методам оцінки селекційного матеріалу на всіх етапах селекції. При цьому слід зазначити, що робота у даному напрямку виявилася надзвичайно успішною та результативною, оскільки вміст волокна у стеблах сучасних сортів складає 28–32%, а в окремих випадках досягає 36–43% (Lohinov et al., 2014; Soto-Cerda et al., 2013). Проте, його філогенез, а також генетичний контроль ознак та характер успадкування залишаються актуальним предметом вивчення.

Однією з найбільш актуальних проблем селекції льону-довгунця є створення сортів, які б поєднували високу

продуктивність із поліпшеною якістю волокна. Для отримання сортів з високим вмістом та якістю волокна, окрім знання особливостей успадкування даної ознаки, потрібні надійні та достовірні методи оцінки селекційного матеріалу на всіх етапах селекційного процесу (Guo et al., 2020).

Таким чином, перед селекцією льону постає ряд завдань, успішно вирішити які дозволяють методи молекулярної біології через свою універсальність. На сьогоднішній день молекулярна діагностика все активніше впроваджується в практику агрономічних досліджень і біотехнології, а перелік її застосування дуже широкий:

- створення генетично-модифікованих рослин, а також діагностика на ГМО;
- виявлення рослинних патогенів і створення стійких сортів;

- картування геномів сільськогосподарських культур;
- проведення діагностики сортової відповідності і надання референс-послуг замовникам;
- створення нових сортів шляхом маркерної селекції (MAS – marker assisted selection) – застосування молекулярних маркерів різних класів, що пов'язані з наявністю відповідних генів. Добір безпосередньо за маркерами значно підвищує ефективність селекції і дозволяє скоротити процес;
- виявлення расового складу бактеріальних та вірусних забруднювачів навколишнього середовища;
- секвенування геномів сільськогосподарських культур з метою визначення філогенетичних зв'язків та створення молекулярно-генетичних банків (Ceccherini et al., 2003; Nguyen-Hieu et al., 2012; Ivanova & Kuzmina, 2013; Rebecchi et al., 2009).

Однією з найбільших проблем, якою супроводжуються молекулярні дослідження, є якість препаратів ДНК, їх чистота та цілісність (Wang et al., 2007) (рис. 1.). На чистоту препаратів ДНК впливає дотримання протоколу виділення, наявність компонентів буферних розчинів для виділення та очищення нуклеїнової кислоти (вони зазвичай є інгібіторами полімеразної ланцюгової реакції (ПЛР) – основного етапу молекулярної діагностики), випадкова контамінація під час зберігання препарату, загальна чистота в лабораторії (Bitskinashvili et al., 2019; Xu et al., 2018; Miernyk et al., 2017; Kawane et al., 2014; Kohll et al., 2020). Недостатня чистота препарату ДНК, виділеного з клітини, може призвести до незадовільних результатів ПЛР, або взагалі унеможливить реакцію (Godard et al., 2003; Dong et al., 2020; Bauer et al., 2004; Menchhoff et al., 2022) (рис. 2).

При короткотривалому терміні зберігання заморожування препарату не застосовується. ДНК розчиняють в ТЕ-буфері (TrisHCl EDTA) або деіонізованій воді і зберігають у холодильнику при $t + 4\text{ }^{\circ}\text{C}$ або навіть при кімнатній температурі (Hao et al., 2021; Tan et al., 2021; Somiari et al., 2011).

Метою наших досліджень було порівняти стан препаратів ДНК льону за тривалого періоду зберігання при -20 та $+ 4\text{ }^{\circ}\text{C}$, приготованих з використанням ТЕ-буфера та деіонізованої води.

Матеріали і методи досліджень. Виділення геномної ДНК з рослинного матеріалу проводили за наступним протоколом. Насіння льону (сортів Гладіатор та Есмань) подрібнювали вручну товчачиком у порцеляновій ступці, після чого переносили 80 мг отриманого гомогенату до пробірок Ерпендорф об'ємом 1,5 мл. У кожену пробірку додавали 700 μl лізуючого буфера (pH 8,1). Пробірки з сумішшю інкубували у твердотілому термостаті при $t + 65\text{ }^{\circ}\text{C}$ протягом 30 хв. Після інкубації пробірки центрифугували 10 хв. зі швидкістю 12000 об/хв. По завершенні центрифугування відбирали 300 – 400 μl надосадової рідини (супернатанту) і переносили до чистих пробірок, додавали 5 μl розчину протеїнази К (20 мкг/мл), а також 250 μl розчину NaCl 6М. Отриману суміш перемішували, а потім центрифугували протягом 15 хв. зі швидкістю 12000 об/хв. Очищений супернатант перенесли у чисті пробірки. Осадження ДНК проводили додаванням охолодженого етилового спирту (96% при $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$) з подальшим центрифугуванням протягом 15 хв. зі швидкістю 12000 об/хв. Відмивання отриманого осаду ДНК проводили з використанням етанолу (70%) та центрифугу-

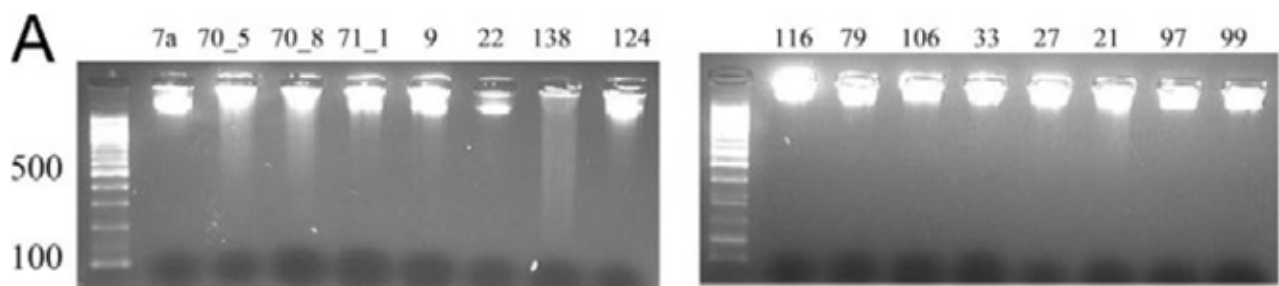


Рис. 1. Препарати ДНК у нормальному стані (за Wang F. et al., 2007)

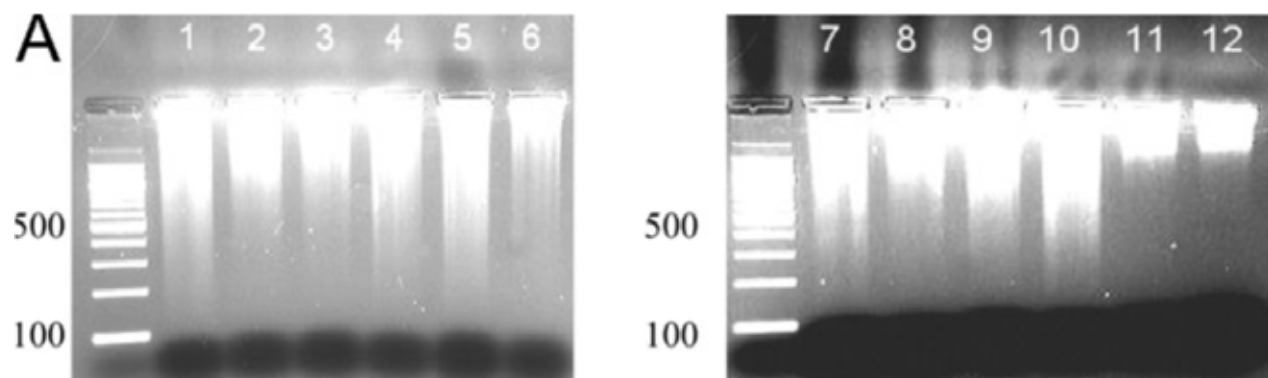


Рис. 2. Препарати ДНК різного ступеня деградації (за Wang F. et al.)

гуванням протягом 5 хв. зі швидкістю 12000 об/хв. Після видалення спирту препарат ДНК висушували у термостаті при t 65 °C протягом 3 хв. і розчиняли у 100 μ л ТЕ-буфера (TrisHCl EDTA), pH 8,0 (перший зразок) і в такій же кількості деіонізованої води (другий зразок). Препарати ДНК зберігали протягом 90 діб у холодильнику при t -20 °C та +4 °C. Також дані розчини використовували для проведення 4 ПЛР (розморожували і заморозували 4 рази).

Візуалізацію ДНК проводили методом горизонтального електрофорезу у 1% агарозному гелі в присутності бромистого етидію за допомогою трансільюмінатора Bio-Rad UV Uviev Mini. В якості маркера молекулярної ваги використовували pUC19 DNA/Kzo9I. Маркер являє собою плазмідну, гідролізовану ферментом з утворенням 15 фрагментів та включає від 955 до 8 пар нуклеотидів.

Результати. Зразки геномної ДНК сортів льону Гладіатор та Есмань, що зберігалися як в ТЕ-буфері, так і в деіонізованій воді при температурі +4 °C виявляють задовільний ступінь стабільності, окрім останнього зразка (сорт Есмань). Стан зразка у вигляді розмазаної плями вказує на початок деградації. Даний розчин ДНК виготовлено на основі деіонізованої води. Подальші маніпуляції з даним зразком неможливі і він абсолютно не підходить для ПЛР. Інші зразки знаходяться у задовільному стані; бенди (смужки) основних фрагментів ДНК достатньо добре видно. Такі зразки можна використовувати для проведення полімеразної ланцюгової реакції.

Розчини ДНК льону, як в ТЕ-буфері, так і в деіонізованій воді, котрі зберігалися в замороженому стані (t -20 °C), виявляють високий ступінь стабільності, про що свідчить стан бендів після процедури горизонтального електрофорезу в агарозному гелі. Смужки ДНК добре видно, вони не розмазані, що говорить про добру збереженість препаратів. У порівнянні з маркером молекулярної ваги не встановлено фрагментації молекул ДНК; основні фрагменти молекул складають 955 пар нуклеотидів або більше. Такі зразки цілком придатні для

проведення полімеразної ланцюгової реакції. Стан препаратів також дозволяє утримувати їх при низьких температурах ще протягом тривалого часу.

Обговорення. Молекула ДНК здатна пошкоджуватися у процесі виділення (хімічний лізис), зокрема під час струшування розчину на вортексі через гідророзриви ланцюга. Подібний зразок під час гель-електрофорезу утворює розмазані або фрагментарні смуги (бенди). Таким чином, отриманий розчин не можна використовувати для проведення ПЛР. Недотримання температурного режиму під час зберігання препаратів, а також часте розморожування-заморожування мають негативний вплив і призводять до деградації ДНК. До пошкоджень ДНК ще на підготовчому етапі може призвести, наприклад, пересушування рослинного зразка.

Отримані нами результати цілком підтверджуються дослідженнями інших авторів. Зокрема зазначається, що аліквоти геномної ДНК, що зберігалися при температурі -20 °C та -80 °C були стабільні протягом 24 місяців і витримували 19 циклів заморожування-розморожування, не виявляючи при цьому ознак деградації. Зразки ДНК, що зберігалися при температурі +4 °C, були стабільні протягом 12 місяців, а при кімнатній температурі деградували через 9 місяців. Але найшвидше деградація ДНК відбувалася за сухого способу зберігання (без буфера) при кімнатній температурі і складала три місяці (Wu et al., 2009). У роботі Saito&Doi (2021) було встановлено, що швидкість деградації молекули ДНК напряму залежить від температури води, в якій вона зберігається. Lee et al., (2012) зазначають, що ДНК добре зберігається в сухому вигляді (без розчинення в буфері), але для цього потрібна або низька позитивна (+4 °C), або взагалі негативна температура (від 20 до 80 °C). Smith & Morin (2005) вказують, що ДНК сильно деградує при +4 °C та навіть при -20°C, а при -80°C вона розпадається надзвичайно повільно. Однак автори зазначають, що швидкість деградації може залежати від характеру матеріалу, а також типу самої ДНК. Схожі результати були отримані й Soniat et al., (2021),

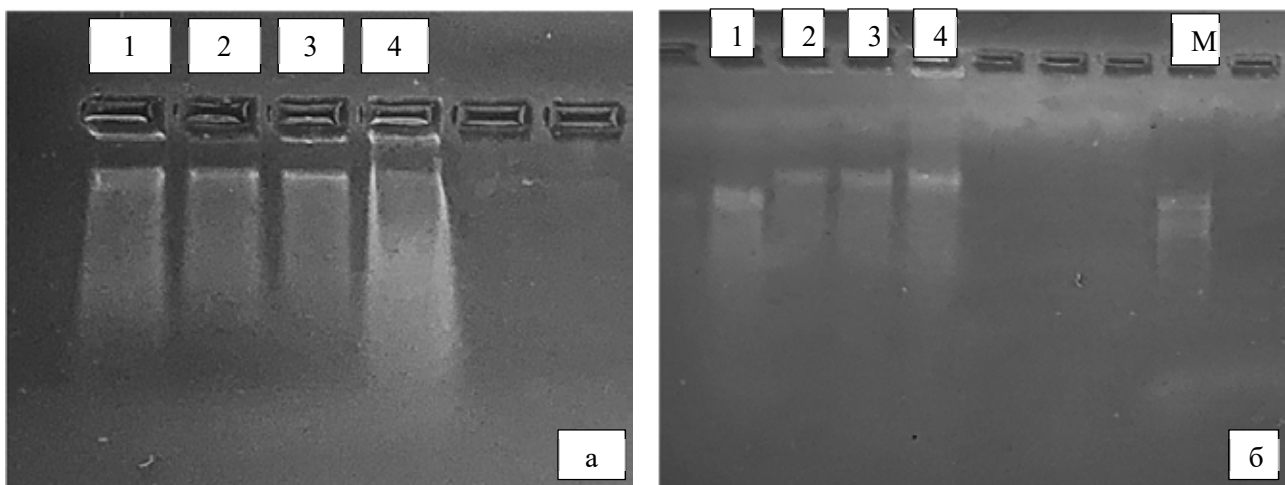


Рис. 3. Стан препаратів ДНК сортів льону Гладіатор та Есмань, що зберігалися за +4 °C (а) та -20 °C (б).
1, 2 – ДНК сорту Гладіатор в ТЕ-буфері та деіонізованій воді відповідно;
3, 4 – ДНК сорту Есмань в ТЕ-буфері та деіонізованій воді відповідно; М – маркер молекулярної маси

де досліджувалася проблема виділення ДНК з матеріалів тривалого зберігання. У дослідженнях Coudy et al., (2021) та Owens et al., (2005), присвячених проблемі довготривалого зберігання ДНК, зазначається, що молекули здатні витримувати кімнатну температуру (до 25 °C) протягом нетривалого періоду, однак потім деградує дуже швидко. Загалом, автори відзначають найкращу збереженість ДНК за низьких температур. Kim et al., (2011) у своїх дослідженнях ще більше деталізували вплив температури зберігання препаратів нуклеїнових кислот і буферів, які слугують розчинниками. Всі зразки, що зберігалися у дистильованій воді за кімнатної температури (+25 °C) деградували через 4 тижні, натомість препарати ДНК, розчинені в ТЕ-буфері виявляли стабільність за цієї ж температури. При зберіганні ДНК при температурі +4 °C

протягом 10 тижнів кількість деградованих зразків значно зменшилася, а зберігання препаратів при низьких температурах (-20...-70 °C) забезпечує їх від руйнування протягом тривалого часу. Загалом, автори рекомендують використовувати ТЕ-буфер для розчинення ДНК.

Таким чином, результати наших досліджень аналогічні результатам інших авторів, які проводили дослідження на інших об'єктах.

Висновки. Препарати ДНК сортів льону Гладіатор та Есмань за довготривалого терміну зберігання при різних температурах демонструють достатньо високу стабільність. Це стосується зразків, що зберігалися як в деіонізованій воді, так і ТЕ-буфері, проте найкраща збереженість ДНК відмічається за низьких температур і для цього краще використовувати ТЕ-буфер.

Бібліографічні посилання:

1. Bauer, T., Hammes, W. P., Haase, N. U. & Hertel, C. (2004). Effect of food components and processing parameters on DNA degradation in food. *Environmental Biosafety Research*, 3, 215–223.
2. Bitskinashvili, K., Gabriadze, I., Kutateladze, T., Vishnepolsky, B., Mikeladze, D. & Datukishvili, N. (2019). Influence of Heat Processing on DNA Degradation and PCR-Based Detection of Wild-Type and Transgenic Maize. *Journal of Food Quality*, 2019, 1–11. doi: 10.1155/2019/5657640
3. Bohn, P., Weisel, M. P., Wolfs, J. & Meier, M. A. R. (2022). Molecular data storage with zero synthetic effort and simple read-out. *Nature*, 12(12), 1–8. doi: 10.1038/s41598-022-18108-9
4. Ceccherini, M. T., Pote, J., Kay E., Van, V. T., Marechal, J., Pietramellara, G., Nannipieri, P., Vogel, T. M. & Simonet P. (2003). Degradation and Transformability of DNA from Transgenic Leaves. *Applied and environmental microbiology*, 69(1), 673–678. doi: 10.1128/AEM.69.1.673–678.2003
5. Coudy, D., Colotte, M., Luis, A., Tuffet, S. & Bonnet, J. (2021). Long term conservation of DNA at ambient temperature. Implications for DNA data storage. *PLoS ONE*, 16(11), 1–14. doi: 10.1371/journal.pone.0259868
6. Dong Y., Sun, F., Ping, Z., Ouyang, Q. & Qian, L. (2020). DNA storage: research landscape and future prospects. *National Science Review*, 7, 1092–1107.
7. Godard, B., Schmidtke, J., Cassiman, J.-J. & Ayme, S. (2003). Data storage and DNA banking for biomedical research: informed consent, confidentiality, quality issues, ownership, return of benefits. A professional perspective. *European Journal of Human Genetics*, 11(2), 89–122. doi: 10.1038/sj.ejhg.5201114
8. Guo, D., Jiang, H., Yan, W., Yang, L., Ye, J., Wang, Y., Yan, Q., Chen, J., Gao, Y., Duan, L., Liu H. & Xie, L. (2020). Resequencing 200 Flax Cultivated Accessions Identifies Candidate Genes Related to Seed Size and Weight and Reveals Signatures of Artificial Selection. *Frontiers in Plant Science*, 1(10), 1–15. doi:10.3389/fpls.2019.01682.
9. Hao, Y., Li, Q., Fan, C. & Wang, F. (2021). Data Storage Based on DNA. *Small Structures*, 2, 1–13. doi: 10.1002/ssr.202000046
10. Ivanova, N. V. & Kuzmina, M. L. (2013). Protocols for dry DNA storage and shipment at room temperature. *Molecular Ecology Resources*, 13(5), 890–898 doi:10.1111/1755-0998.12134
11. Kawane, K., Motani, K. & Nagata, S. (2014). DNA Degradation and Its Defects. *Cold Spring Harbor Laboratory Press*, 6, 1–15.
12. Kim, Y.-T., Choi, E.-H. Son, B.-K., Seo, E.-H., Lee, E.-K., Ryu, J.-K., Ha, G.-W., Kim, J.-S., Kwon, M.-R., Nam, J.-H., Kim, Y.-J. & Lee, K.-R. (2011). Effects of Storage Buffer and Temperature on the Integrity of Human DNA. *Korean Journal of Clinical Laboratory Science*, 44(1), 24–30.
13. Kohll, A. X., Antkowiak, P. L., Chen, W. D., Nguyen, B. H., Stark, W. J., Ceze, L., Strauss K. & Grass, R. N. (2020). Stabilizing synthetic DNA for long-term data storage with earth alkaline salts. *Chemical Communication*, 56, 3613 – 3616. doi: 10.1039/d0cc00222d
14. Lee, S. B., Clabaugh, K. C., Silva, B., Odigie, K. O., Coble, M. D., Loreille, O., Scheible, M., Fournay, R. M., Stevens, J., Carmody, G. R., Parsons, T. J., Pozder, A., Eisenberg, A. J., Budowle, B., Ahmad, T., Miller, R. W. & Crouse, C. A. (2012). Assessing a novel room temperature DNA storage medium for forensic biological samples. *Forensic Science International: Genetics*, 6, 31–40. doi: 10.1016/j.fsigen.2011.01.008
15. Lohinov, M.I., Rosnovskiy, M.H. & Lohinov, A.M. (2014). Seleksiia lonu-dovhuntsia: istorychni aspekty rozvytku. *Fakty eksperymentalnoi evoliutsii orhanizmiv*, 14, 236–240. (in Ukrainian)
16. Lozano-Peral, D., Rubio, L., Santos, I., Gaitán, M. J., Viguera, E. & Martín-de-las-Heras, S. (2021). DNA degradation in human teeth exposed to thermal stress. *Nature*, 11(12), 1 – 9. doi: 10.1038/s41598-021-91505-8
17. Menchhoff, S. I., Solomon, A. D., Cox, J. O., Hytinen, M. E., Miller, M. T. & Cruz, T. D. (2022). Effects of storage time on DNA profiling success from archived latent fingerprint samples using an optimized workflow. *Forensic Sciences Research*, 7(1), 61 – 68. doi: 10.1080/20961790.2020.1792079
18. Miernyk, K. M., DeByle, C. D. & Rudolph K. M. (2017). Evaluation of two matrices for long-term, ambient storage of bacterial DNA. *Biopreserv Biobank*, 15(6), 529–534. doi: 10.1089/bio.2017.0040.
19. Molinuevo, R., Freije, A., Contreras, L., Sanz, J. R. & Gandarillas, A. (2020). The DNA damage response links human squamous proliferation with differentiation. *Journal of Cell Biology*, 219(11), 1–19. doi: 10.1083/jcb.202001063

20. Nguyen-Hieu, T., Aboudharam, G. & Drancourt, M. (2012). Heat degradation of eukaryotic and bacterial DNA: an experimental model for paleomicrobiology. *BioMedCentral Research Notes*, 5(528), 1–6.
21. Owens, C. B., & Szalanski, A. L. (2005). Filter Paper for Preservation, Storage, and Distribution of Insect and Pathogen DNA Samples. *Journal Of Medical Entomology*, 42(4), 709–711.
22. Rebecchi, L., Cesari, M., Altiero, T., Frigieri, A. & Guidetti, R. (2009). Survival and DNA degradation in anhydrobiotic tardigrades. *The Journal of Experimental Biology*, 212, 4033–4039. doi:10.1242/jeb.033266
23. Saito, T. & Doi, H. (2021). A Model and Simulation of the Influence of Temperature and Amplicon Length on Environmental DNA Degradation Rates: A Meta-Analysis Approach. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 9, 1–8. doi: 10.3389/fevo.2021.623831
24. Smith, S. & Morin, P. A. (2005). Optimal Storage Conditions for Highly Dilute DNA Samples: A Role for Trehalose as a Preserving Agent. *Journal of Forensic Sciences*, 50(5), 1–8.
25. Somiari, R. I., Adebijoyi, E., Ukachukwu, L., Mba, I. I., Anthony, F. A., Ogundele, A. O., Onuaha, I., Brainard, M., Lubber, S., Larson, C., Russell, S., Bharathan, N., & Somiari, S. B. (2011). STR Analysis of Human DNA Samples After Dry-State Ambient Temperature Storage in GenPlates. *The Open Forensic Science Journal*, 4, 30–35.
26. Soniat, T. J., Sihaloho, H. F., Stevens, R. D., Little, T. D., Phillips, C. D. & Bradley, R. D. (2021). Temporal-dependent effects of DNA degradation on frozen tissues archived at – 80°C. *Journal of Mammalogy*, 102(2), 375–383.
27. Soto-Cerda, B.J., Diederichsen, Axel., Ragupathy, R. & Cloutier, S. (2013). Genetic characterization of a core collection of flax (*Linum usitatissimum* L.) suitable for association mapping studies and evidence of divergent selection between fiber and linseed types. *BioMedCentral Plant Biology*, 13(78). 1–15.
28. Tan, X., Ge, L., Zhang, T. & Lu, Z. (2021). Preservation of DNA for data storage. *Russian Chemical Reviews*, 90(2), 280–291. doi: 10.1070/RCR4994
29. Villarrubia, C. W. N., Tumas, K. C., Chauhan, R., MacDonald, T., Dattelbaum, A. M., Omberg, K. & Gupta, G. (2022). Long-term stabilization of DNA at room temperature using a one-step microwave assisted process. *Emergent Materials*, 5, 307–314. doi: 10.1007/s42247-021-00208-3
30. Wang, F., Wang, L., Briggs, C., Sicinska, E., Gaston, S. M., Mamon, H., Kulke, M. H., Zamponi, R., Loda, M., Maher, E., Ogino, S., Fuchs, C. S., Li, J., Hader, C. & Makrigiorgos, G. M. (2007). DNA Degradation Test Predicts Success in Whole-Genome Amplification from Diverse Clinical Samples. *Journal of Molecular Diagnostics*, 9(4), 441 – 451. doi: 10.2353/jmoldx.2007.070004
31. Wu, J., Cunanan, J., Kim, L., Kulatunga, T., Huang, C. & Anekella, B. (2009). Stability of Genomic DNA at Various Storage Conditions. *SeraCare Life Sciences*, 1, 1–11.
32. Xu, Y., Ren, X. Y., Wang, H. B., Wang, M. & Li, G. H. (2018). Evaluation of DNA degradation and establishment of a degradation analysis model for Lepidoptera specimens. *BioTechniques*, 56(5), 138–147.

Vereshchahin I. V., PhD (Agricultural Sciences), Associate Professor, Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine
Onychko V. I., PhD (Agricultural Sciences), Associate Professor, Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine
Kandyba N. M., PhD (Agricultural Sciences), Associate Professor, Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine
Assessment of the condition of flax DNA preparations during long-term storage

Flax (Linum usitatissimum L.) is an extremely ancient spinning crop. Selection has achieved significant results in creating varieties of spinning flax with a high fiber content in stems: 28–32%, and in some cases even 36–43%. At the same time, there remains a large number of unsolved problems in flax breeding, in particular, the phylogeny of the culture, the genetic control of the inheritance of economic and biological traits, as well as the nature of their inheritance. At the same time, there is a need to introduce the methods of molecular biology into the selection practice of flax, as they are universal because they work at the level of nucleic acids (DNA).

Today, the methods of molecular biology are actively implemented in the practice of agronomic research and perform various functions: identification of GMOs and pathogenic organisms, creation of genetic maps of agricultural crops, marker selection of field crops, sequencing of genomes of valuable varieties and species for the purpose of more successful selection, and many others.

The main problem associated with molecular research is the quality of DNA preparations used for the main stage of molecular research – polymerase chain reaction or PCR. The quality of DNA preparations is affected by many factors, including adherence to the nucleic acid isolation protocol, the presence of isolation buffer components in the preparation, the number of washes of the preparation, the overall cleanliness of the laboratory, and the duration and temperature of storage. Violation of the rules of DNA storage leads to the destruction or degradation of the molecule.

There are long-term and short-term methods of DNA storage, which are used depending on the specifics of molecular research. The article examines the results of research into the quality of DNA preparations of Gladiator and Esman varieties of flax during long-term storage (90 days), at temperatures of +4 °C and -20 °C in deionized water and TE-buffer (TrisHCl EDTA). It has been found that DNA preparations mostly retain their stability under long-term storage and may therefore be suitable for PCR.

Key words: flax, variety, sample, preparation, DNA, polymerase chain reaction, degradation, deionized water, TE-buffer, long-term storage method.

ОСНОВНІ ТЕНДЕНЦІЇ ПРОСТОРОВО-ЧАСОВОЇ ДИНАМІКИ ОСНОВНИХ ВИДІВ МИСЛИВСЬКИХ ТВАРИН ЖИТОМИРЩИНИ

Власюк Володимир Павлович

кандидат сільськогосподарських наук, доцент
Поліський національний університет, м. Житомир, Україна
ORCID: 0000-0001-6220-6280
wlasyukvp@ukr.net

Кратюк Олександр Леонідович

доктор біологічних наук, професор
Поліський національний університет, м. Житомир, Україна
ORCID: 0000-0002-2661-8074
deneshi_ks@ukr.net

Климчук Олександра Олександрівна

кандидат сільськогосподарських наук, доцент
Поліський національний університет, м. Житомир, Україна
ORCID: 0000-0002-4429-6072
oleksandraklymchuk@gmail.com

Чисельність мисливських тварин у значній мірі залежить від структури мисливських угідь та форми власності мисливського господарства. Для встановлення типологічної структури всі угіддя Житомирщини поділили на три типи: лісові, польові та водно-болотні. Як предмет досліджень, були обрані найбільш поширені та перспективні для ведення мисливського господарства види тварин розглянутого регіону: олень благородний, козуля європейська та кабан дикий. З метою з'ясування основних тенденцій просторової зміни чисельності та щільності тварин всі мисливські угіддя Житомирської області об'єднали у три групи: угіддя державних лісгосподарських підприємств, угіддя Українського товариства мисливців і рибалок (УТМР) та угіддя приватних користувачів, громадських й інших організацій (мисливські товариства, клуби тощо). Для виявлення часових закономірностей зміни чисельності було обрано період із 2010 по 2020 роки.

Встановлено, що найвища щільність тварин спостерігається у мисливських господарствах приватних користувачів мисливських угідь. У даних угіддях щільність оленя благородного становить 1,87 голів (1000 га)-1, козулі європейської – 14,45 голів (1000 га)-1, кабана дикого – 2,54 голів (1000 га)-1. В господарствах даної групи встановлена тенденція постійного зростання щільності оленя благородного та козулі європейської впродовж аналізованого періоду.

У мисливських угіддях, де користувачами є державні лісгосподарські підприємства, показники щільності тварин є нижчими. На території даних господарств щільність оленя благородного становить 0,45 голів (1000 га)-1, козулі європейської – 11,62 голів (1000 га)-1, кабана дикого – 1,92 голів (1000 га)-1. Крім того, у цих мисливських господарствах виявлена негативна тенденція зниження чисельності усіх видів тварин.

У мисливських господарствах УТМР щільність тварин знаходиться на дуже низькому рівні. В угіддях господарств цієї групи щільність козулі європейської та кабана дикого становить 2,62 і 0,45 голів (1000 га)-1 відповідно. Олень благородного у господарствах УТМР фіксували лише у певні роки, що свідчить про спорадичність його зустрічальності. Позитивним явищем у користувачів угідь цієї групи є те, що щільність козулі європейської стабільно, хоча і повільно, зростає впродовж останніх 11 років.

Як наслідок проведених досліджень, було встановлено, що найвища чисельність основних видів ратичних тварин зафіксована у мисливських господарствах, де структура угідь має наступний вигляд: 65% – лісові угіддя; 30% – польові; 5% – водно-болотні. Висока частка (80–90%) лісових чи польових угідь знижує їх якість загалом, і не сприяє зростанню чисельності тварин. Також виявлено, що найбільш ефективними по відношенню до відтворення ресурсів мисливської фауни є мисливські господарства приватних користувачів мисливських угідь.

Ключові слова: мисливські угіддя, чисельність мисливських тварин, щільність мисливських тварин, олень благородний, козуля європейська, кабан дикий.

DOI <https://doi.org/10.32845/agrobio.2022.2.6>

Вступ. Основним показником, котрий визначає стан та перспективи ведення мисливського господарства, є чисельність основних видів мисливських тварин. В наш час більшість користувачів мисливських угідь зосереджена на веденні господарства на ратичних тварин, зокрема кабана дикого, козулю європейську та оленя бла-

городного. Проте, не всі користувачі мисливських угідь можуть відзначитись високими показниками чисельності цих тварин. Не винятком є й мисливські господарства Житомирської області. Причин низької чисельності тварин в угіддях господарств може бути чимало, зокрема господарсько необґрунтовані розміри вилучення тварин

з угідь, неправильно сформована статеві-вікова структура популяцій тварин, низька ефективність чи недостатні обсяги проведення біотехнічних заходів, проведення на низькому рівні охоронних та ветеринарно-санітарних заходів, високий рівень браконьєрства (Muzyka & Honta, 2020) тощо. Не менш важливим чинником, який визначає чисельність тварин у господарствах, є структура мисливських угідь, адже саме від неї залежать основні показники, котрі визначають їх кормові та захисні властивості (Muraviov, 2019). Саме ці показники є найбільш важливими для тварин, оскільки вони визначають потенційну продуктивність угідь, а відповідно і чисельність тварин. Зважаючи на зазначене, метою нашого дослідження було з'ясування основних тенденцій впливу структури угідь на просторову і часову динаміку тварин.

У зв'язку із важливістю зазначених закономірностей, їх вивченню присвячено ряд праць відомих науковців. Зокрема, В. Музика та О. Гонта (Muzyka & Honta, 2020) у своїй роботі розглядають питання розподілу угідь за користувачами. Питання щільності і чисельності тварин в угіддях, в тому числі й ратичних, висвітлені у роботах В. Д. Бондаренка (Bondarenko & Rizun, 2016), О. М. Соболя (Sobol, 2021), В. І. Домніча (Domnich et al., 2010), М. І. Желізка (Zhelizko et al., 2016). Ці роботи присвячені вивченню зазначених питань як на території України загалом, так і по різних регіонах країни. Подібні дослідження проводили й інші науковці. Розподіл мисливських угідь Львівщини за користувачами з точки зору їх раціонального використання висвітлено у роботах В. Ю. Муравйова та П. Б. Хоєцького (Muraviov, 2019; Muraviov & Khoietskyi, 2011), А. В. Івануси і В. З. Холявки (Ivanusa & Kholyavka, 2011), А. М. Дейнеки та В. Р. Бурмаса (Deyneka & Burmas, 2013), Запорізької області – О. О. Соболевської (Sobolevska, 2021), Степу України – А. М. Волоха (Volokh, 2015). Різун Е. (Rizun, 2019) досліджувала структуру мисливських угідь Лісостепової (правобережної) зони України та їх придатність для проживання козулі європейської. Тенденції зміни чисельності тварин у Сумській області досліджував А. В. Мельник (Melnyk et al., 2021), у Львівській – М. М. Казимир і П. Б. Хоєцький (Kazymyr, & Khoietskyi, 2004), С. Р. Мерензак та І. І. Делеган (Merenzak & Delehan, 2016), у Волинській – О. М. Пахолюк (Pokhaliuk, 2017), у Житомирській – В. П. Власюк (Vlasiuk, 2015), у Закарпатській – Л. А. Потіш і А. Л. Потіш (Potish & Potish, 2017), у Херсонській – В. Н. Смаголь (Smagol, et al. 2019), у Донецькій, Луганській та Харківській – І. О. Смірнова (Smirnova, et al. 2011), у Криму – В. Н. Смаголь та В. Л. Яриш (Smagol, et al. 2017; Smagol & Yarysh, 2017). Структура мисливських угідь Житомирщини як умов проживання мисливських тварин описується у праці 2014 року (Huzii et al., 2014). Дослідженням структури мисливських угідь динаміки чисельності і щільності тварин у різних країнах Європи присвячено низку публікацій (Barkauskas et al., 2020; Bieber & Ruf, 2005; Delehan & Delehan, 2014; Delehan et al., 2019; Dzedzic & Dzięciołowski, 2010; Khoietskyi & Pokhaliuk, 2014).

Проаналізувавши стан досліджень розглянутих питань слід зазначити, що у цьому відношенні найбільш вивченою є Львівщина. На Житомирщині, як і у багатьох

інших регіонах України, до цього часу подібних досліджень проводилося недостатньо.

Матеріали і методи досліджень. При проведенні досліджень використовували результати обліків мисливських тварин за роками (2010–2020 рр.) з урахуванням структури мисливських угідь Житомирської області, використовуючи при цьому дані статистичної звітності 2 тп (мисливство) «Ведення мисливського господарства» Житомирського обласного управління лісового та мисливського господарства (ЖОУЛМГ).

З метою виявлення основних тенденцій зміни чисельності тварин, залежно від структури мисливських угідь, площі мисливських угідь віднесли до трьох основних груп користувачів мисливських угідь:

- державні лісгосподарські підприємства, які перебувають у підпорядкуванні ЖОУЛМГ і характеризуються наявністю значної частки лісових типів мисливських угідь;
- Українське товариство мисливців і рибалок (УТМР), куди входять угіддя Житомирської обласної та семи районних організацій УТМР, з суттєвою перевагою польових типів мисливських угідь;
- приватні, громадські та інші організації.

До останніх ми віднесли всі мисливські господарства, які не увійшли до перших двох груп. Зокрема, сюди віднесли громадські організації, ТОВ, приватні підприємства, а також Житомирську гарнізонну організацію товариства мисливців і рибалок ЗСУ. Загалом до цієї групи віднесли території 74 користувачів мисливських угідь.

Впродовж одинадцяти останніх років площа мисливських угідь державних лісгосподарських підприємств зменшилася більше як на 243 тис. га (з 565200 до 321933 га), а приватних, громадських та інших організацій і УТМР зросла більше як на 217 та 38 тис. га відповідно. У зв'язку з цим, для встановлення достовірних закономірностей зміни чисельності тварин ми використовували їх щільність на 1000 га.

Структуру мисливських угідь встановлювали з розподілом на лісові, польові та водно-болотні як для Житомирщини загалом, так і для виділених нами трьох груп користувачів мисливських угідь.

Для проведення досліджень нами були обрані найбільш поширені та перспективні для мисливського господарства види ратичних мисливських тварин: олень благородний, козуля європейська і кабан дикий.

Результати. Чисельність усіх мисливських тварин суттєво залежить від структури мисливських угідь, як основного чинника, який визначає умови їх проживання. Як відомо, одні і ті ж угіддя характеризуються різними кормовими та захисними властивостями для того чи іншого виду мисливських тварин. Одні види надають перевагу лісовим угіддям, інші – польовим сільськогосподарським або переліскам чи чагарниковим заростям. Не винятком є й такі види ратичних тварин, як олень благородний, козуля європейська та кабан дикий.

Мисливські угіддя Житомирської області за своєю структурою характеризуються найбільшою часткою польових типів (луки та орні землі), яка складає близько 52% від усієї площі земель, наданих у користування мисливським господарствам (рис. 1, а), а їх площа становить близько 1107,9 тис. га (табл. 1).

Розподіл площі мисливських угідь Житомирщини за типами
(станом на 2020 рік)

| Користувачі мисливських угідь | Типи мисливських угідь | | | | | | Разом, га |
|---|------------------------|------|---------|------|---------------|-----|-----------|
| | лісові | | польові | | водно-болотні | | |
| | га | % | га | % | га | % | |
| Державні лісгосподарські підприємства | 302076 | 93,8 | 10315 | 3,2 | 9542 | 3,0 | 321933 |
| УТМР | 137531 | 12,7 | 877583 | 81,1 | 66785 | 6,2 | 1081899 |
| Приватні, громадські, та інші організації | 468735 | 64,6 | 219999 | 30,3 | 36476 | 5,0 | 725210 |
| Разом по області | 908342 | 42,7 | 1107897 | 52,0 | 112803 | 5,3 | 2129042 |

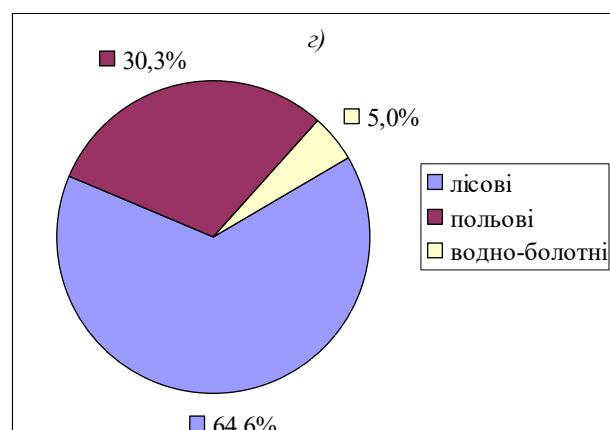
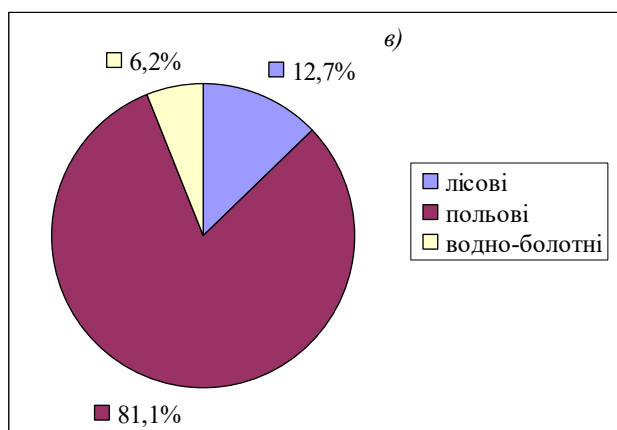
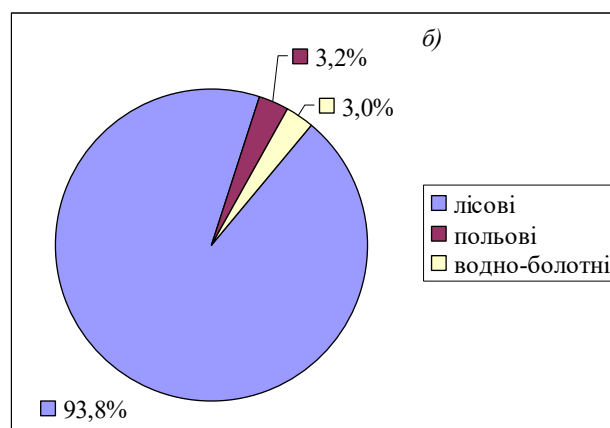
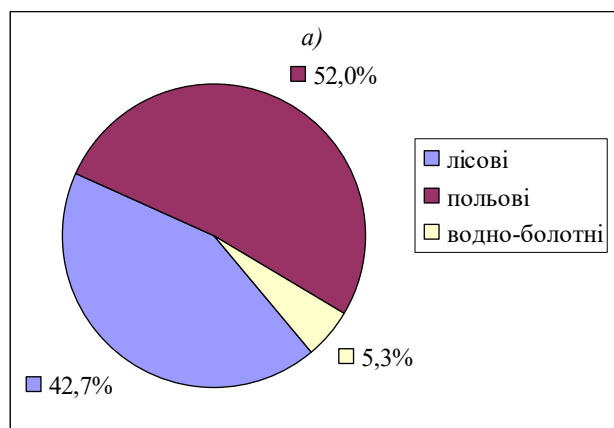


Рис. 1. Розподіл площі мисливських угідь Житомирщини за типами:
а) разом по області; б) державні лісгосподарські підприємства; в) УТМР;
г) приватні, громадські та інші організації.

Така ситуація пояснюється приналежністю південних районів Житомирщини до лісостепової зони, де площа лісів є значно нижчою, ніж на території Полісся. Дещо менша площа припадає на лісові типи угідь і становить більше 908 тис. га (42,7 %). Водно-болотні угіддя займають лише 5,3 % площі.

Проте, у розрізі виділених нами груп мисливських господарств спостерігається зовсім інша картина. Аналізуючи структуру мисливських угідь, які перебувають у користуванні державних лісгосподарських підприємств ЖОУЛМГ, слід відмітити, що переважаючими типами тут являються лісові угіддя, частка яких становить 93,8 % (рис. 1, б). Польові та водно-болотні угіддя

займають приблизно по 3,0 % території. Такий розподіл угідь є цілком зрозумілим, адже ці підприємства ведуть мисливське господарство на землях лісового фонду.

Для мисливських угідь УТМР, на відміну від попередньої групи користувачів, характерна найбільша частка польових угідь (більше 81,0 %) (рис. 1, в). Частка лісових та водно-болотних угідь становить 12,7 і 6,2% відповідно. Суттєва перевага польових угідь у даних мисливських господарствах пояснюється тим, що більшість земель, які перебувають у їх користуванні мають сільськогосподарське призначення. Лісові угіддя, площа яких становить 137,5 тис. га, наявні у цих господарствах завдяки частковому користуванню землями підприємств

ЖОУЛМГ та Житомирського обласного комунального агролісгосподарського підприємства «Житомироблагроліс» (ЖОКАП «Житомироблагроліс»).

Проміжне положення за структурою мисливських угідь займають господарства приватних, громадських та інших користувачів. У даних господарствах перебуває значна частка як лісових (64,6 %), так і польових (30,3 %) типів угідь (рис. 1, г). Зазначена особливість пояснюється тим, що у їх користуванні перебувають як сільськогосподарські, так і лісгосподарські угіддя підприємств ЖОУЛМГ та ЖОКАП «Житомироблагроліс». Частка вод-

но-болотних угідь також займає проміжне положення і становить 5,0 %. Розглянута структура угідь різних груп господарств, безумовно, буде позначатися на щільності мисливських тварин у них.

Наступним кроком нашої роботи є аналіз чисельності та щільності основних видів мисливських тварин Житомирської області. Аналізуючи дані по розглядуваному регіону, слід відмітити тенденцію зростання щільності оленя благородного (рис. 2). Так, його щільність у мисливських угіддях із 2010 р. по 2020 р. зросла із 0,48 до 0,72 голів (1000 га)⁻¹ (табл. 2). Щільність кабана дикого,

Таблиця 2

Динаміка чисельності та щільності основних видів мисливських тварин Житомирщини

| Рік | Площа мисливських угідь, га | Вид тварин | | | | | |
|------|-----------------------------|--------------------|--|--------------------|--|--------------------|--|
| | | Олень благородний | | Козуля європейська | | Кабан дикий | |
| | | чисельність, голів | щільність, голів (1000 га) ⁻¹ | чисельність, голів | щільність, голів (1000 га) ⁻¹ | чисельність, голів | щільність, голів (1000 га) ⁻¹ |
| 2010 | 2116700 | 1011 | 0,48 | 15886 | 7,51 | 7087 | 3,35 |
| 2011 | 2120010 | 962 | 0,45 | 15201 | 7,17 | 6963 | 3,28 |
| 2012 | 2145951 | 959 | 0,45 | 15661 | 7,30 | 7051 | 3,29 |
| 2013 | 2181833 | 965 | 0,44 | 16139 | 7,40 | 7408 | 3,40 |
| 2014 | 2184976 | 958 | 0,44 | 16345 | 7,48 | 7541 | 3,45 |
| 2015 | 2143675 | 1020 | 0,48 | 16468 | 7,68 | 7148 | 3,33 |
| 2016 | 2134379 | 1153 | 0,54 | 15719 | 7,36 | 3401 | 1,59 |
| 2017 | 2143696 | 1071 | 0,50 | 15735 | 7,34 | 3678 | 1,72 |
| 2018 | 2120008 | 1196 | 0,56 | 15892 | 7,50 | 3076 | 1,45 |
| 2019 | 2129158 | 1391 | 0,65 | 16976 | 7,97 | 3070 | 1,44 |
| 2020 | 2129042 | 1534 | 0,72 | 17055 | 8,01 | 2953 | 1,39 |

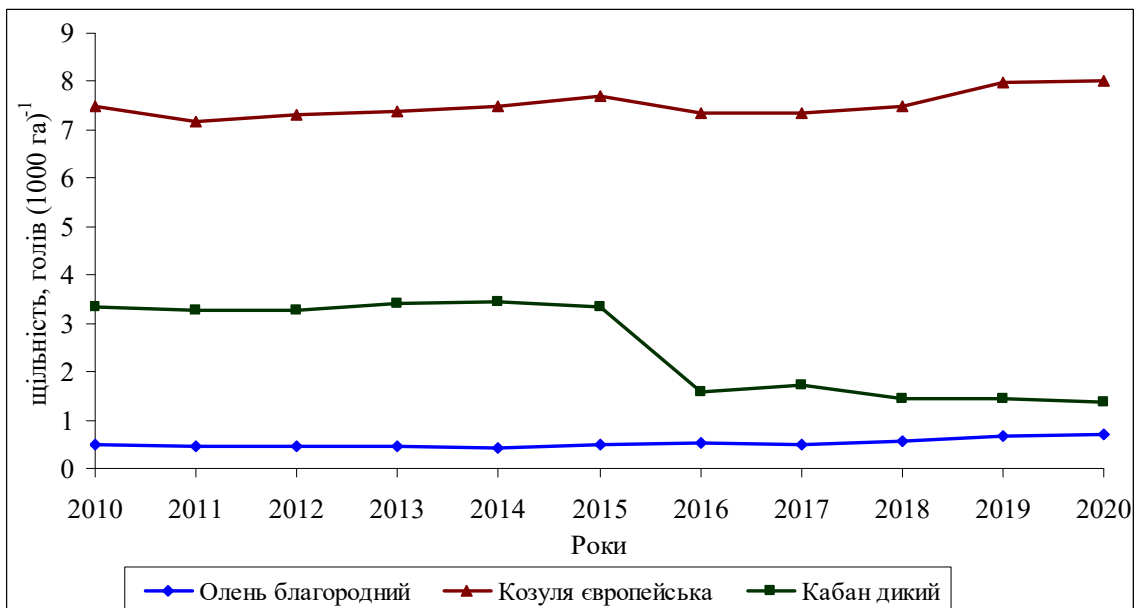


Рис. 2. Динаміка щільності основних видів мисливських тварин Житомирщини

навпаки, зменшилася із 3,35 до 1,39 голів (1000 га)-1. Особливо різке падіння було відмічено у 2016 році із 3,33 до 1,59 голів (1000 га)-1. Причиною такого зменшення чисельності тварин, ймовірно, стала африканська чума свиней (АЧС), яка була зафіксована на Житомирщині у 2015–2017 рр. (Muzyka & Honta, 2020; Zhytomyrshchyna, 2015). Стосовно щільності козулі європейської, слід зазначити, що її чисельність суттєво не змінилася і перебуває в межах 7,5–8,0 голів (1000 га)-1 впродовж аналізованого періоду.

У мисливських господарствах державних лісгосподарських підприємств Житомирської області чисельність всіх видів розглянутих тварин знизилася (рис. 3). Найбільш різке зниження чисельності було характерним для кабана дикого. Так, його щільність знизилася із 5,48 до 1,92 голів (1000 га)-1 (табл. 3). Найбільш помітне зниження спостерігалось у 2015–2016 рр. – із 4,95 до 2,61 (1000 га)¹ відповідно. Щільність козулі європейської впродовж аналізованого періоду знизилася із 14,91 до 11,62 голів (1000 га)-1. При цьому слід зазначити, що таке

Таблиця 3

Динаміка чисельності та щільності основних видів мисливських тварин в угіддях державних лісгосподарських підприємств Житомирщини

| Рік | Площа мисливських угідь, га | Вид тварин | | | | | |
|------|-----------------------------|--------------------|--|--------------------|--|--------------------|--|
| | | Олень благородний | | Козуля європейська | | Кабан дикий | |
| | | чисельність, голів | щільність, голів (1000 га) ⁻¹ | чисельність, голів | щільність, голів (1000 га) ⁻¹ | чисельність, голів | щільність, голів (1000 га) ⁻¹ |
| 2010 | 565200 | 447 | 0,79 | 8429 | 14,91 | 3097 | 5,48 |
| 2011 | 527419 | 193 | 0,37 | 7167 | 13,59 | 2644 | 5,01 |
| 2012 | 473569 | 204 | 0,43 | 6156 | 13,00 | 2145 | 4,53 |
| 2013 | 463260 | 206 | 0,44 | 6269 | 13,53 | 2257 | 4,87 |
| 2014 | 463287 | 204 | 0,44 | 6274 | 13,54 | 2211 | 4,77 |
| 2015 | 400286 | 163 | 0,41 | 5857 | 14,63 | 1983 | 4,95 |
| 2016 | 389492 | 168 | 0,43 | 4792 | 12,30 | 1016 | 2,61 |
| 2017 | 346335 | 131 | 0,38 | 3904 | 11,27 | 873 | 2,52 |
| 2018 | 338096 | 127 | 0,38 | 3731 | 11,04 | 767 | 2,27 |
| 2019 | 329308 | 126 | 0,38 | 3861 | 11,72 | 720 | 2,19 |
| 2020 | 321933 | 145 | 0,45 | 3741 | 11,62 | 619 | 1,92 |

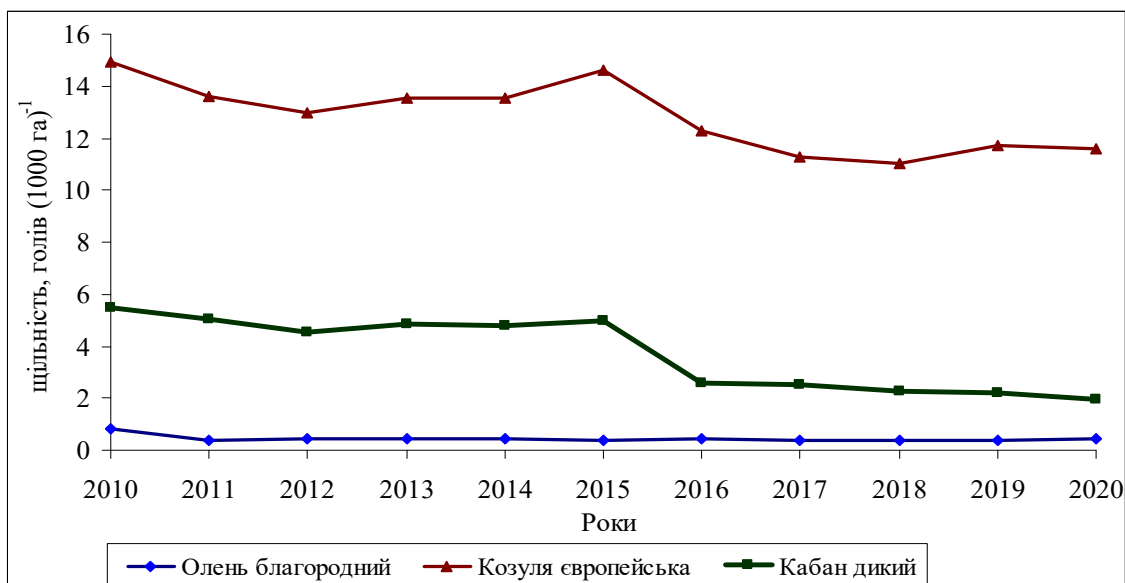


Рис. 3. Динаміка щільності основних видів мисливських тварин в угіддях державних лісгосподарських підприємств Житомирщини

зниження відбувалося хвилеподібно (рис. 3). Помітно знизилася у зазначеній групі господарств чисельність оленя благородного. Так, із 2010 по 2019 р. щільність цього виду знизилася майже вдвічі – із 0,79 до 0,38 голів (1000 га)⁻¹ відповідно. Найбільш різке зниження спостерігалось у 2011 році. В цьому році чисельність знизилася на 0,42 голів (1000 га)⁻¹. Лише у 2020 році щільність цього виду зросла до 0,45 голів (1000 га)⁻¹.

У мисливських угіддях УТМР кількість кабана дикого, як і у попередньому випадку, різко зменшилася у 2016 році (рис. 4).

Загалом із 2010 по 2020 рік щільність цього виду знизилася із 0,95 до 0,45 голів (1000 га)⁻¹ (табл. 4). Проте, в угіддях цієї групи мисливських господарств зросла чисельність козулі європейської. Так, впродовж розглядуваного періоду щільність цього виду зросла із 1,87 до 2,62 голів (1000 га)⁻¹. Стосовно оленя благородного слід відмітити наступне. Чисельність цих тварин є дуже низькою, а у певні роки даний вид не фіксувався взагалі. Очевидно, що у господарствах УТМР олень благородний зустрічається спорадично. Причиною цього, найімовірніше є те, що цей вид надає перевагу біотопам закритого типу (лісові угіддя).

Таблиця 4

Динаміка чисельності та щільності основних видів мисливських тварин в угіддях УТМР Житомирщини

| Рік | Площа мисливських угідь, га | Вид тварин | | | | | |
|------|-----------------------------|--------------------|--|--------------------|--|--------------------|--|
| | | Олень благородний | | Козуля європейська | | Кабан дикий | |
| | | чисельність, голів | щільність, голів (1000 га) ⁻¹ | чисельність, голів | щільність, голів (1000 га) ⁻¹ | чисельність, голів | щільність, голів (1000 га) ⁻¹ |
| 2010 | 1043700 | 26 | 0,02 | 1952 | 1,87 | 994 | 0,95 |
| 2011 | 1043830 | 26 | 0,02 | 1948 | 1,87 | 997 | 0,96 |
| 2012 | 1043831 | 23 | 0,02 | 2095 | 2,01 | 954 | 0,91 |
| 2013 | 1081417 | 11 | 0,01 | 2116 | 1,96 | 916 | 0,85 |
| 2014 | 1081417 | 2 | 0,00 | 2181 | 2,02 | 984 | 0,91 |
| 2015 | 1081899 | 0 | 0,00 | 2243 | 2,07 | 986 | 0,91 |
| 2016 | 1081899 | 16 | 0,01 | 2460 | 2,27 | 623 | 0,58 |
| 2017 | 1081899 | 0 | 0,00 | 2685 | 2,48 | 625 | 0,58 |
| 2018 | 1081899 | 0 | 0,00 | 2669 | 2,47 | 517 | 0,48 |
| 2019 | 1081899 | 0 | 0,00 | 2785 | 2,57 | 493 | 0,46 |
| 2020 | 1081899 | 32 | 0,03 | 2838 | 2,62 | 492 | 0,45 |

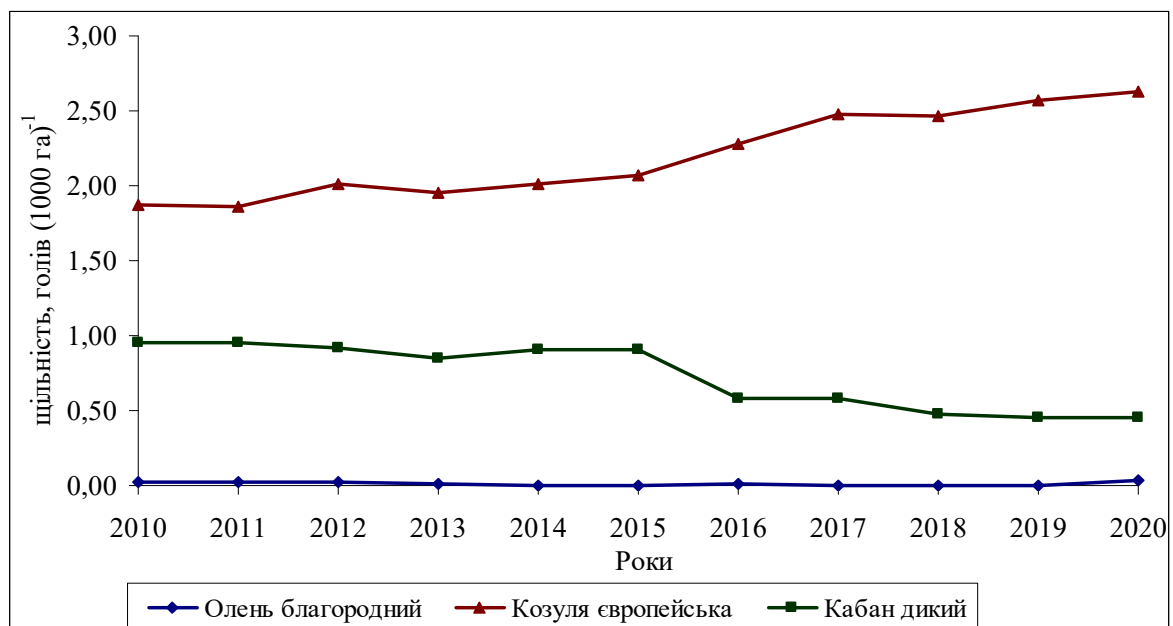


Рис. 4. Динаміка щільності основних видів мисливських тварин в угіддях УТМР Житомирщини

В угіддях приватних, громадських та мисливських господарств інших організацій щільність оленя благородного та козулі європейської із 2010 по 2020 рік зростає із 1,06 до 1,87 та з 10,84 до 14,45 голів (1000 га)⁻¹ відповідно. Щільність кабана дикого знизилася приблизно із 5,9 до 2,54 голів (1000 га)⁻¹. Найбільш суттєве зниження, як і в інших групах господарств, відбулося у 2015–2016 рр.

Обговорення. У розподілі мисливських угідь України за користувачами переважають площі закріплені за УТМР (62 %). Друге місце займають угіддя користувачів різних форм власності (приватні, громадські тощо) (28 %). На третьому місці знаходяться угіддя, які перебувають у підпорядкуванні Державного агентства лісових ресурсів України (10 %) (Muzyka & Honta, 2020). У Жито-

Таблиця 5

Динаміка чисельності та щільності основних видів мисливських тварин в угіддях мисливських господарств приватних, громадських та інших організацій Житомирщини

| Рік | Площа мисливських угідь, га | Вид тварин | | | | | |
|------|-----------------------------|--------------------|--|--------------------|--|--------------------|--|
| | | Олень благородний | | Козуля європейська | | Кабан дикий | |
| | | чисельність, голів | щільність, голів (1000 га) ⁻¹ | чисельність, голів | щільність, голів (1000 га) ⁻¹ | чисельність, голів | щільність, голів (1000 га) ⁻¹ |
| 2010 | 507800 | 538 | 1,06 | 5505 | 10,84 | 2996 | 5,90 |
| 2011 | 548761 | 743 | 1,35 | 6086 | 11,09 | 3322 | 6,05 |
| 2012 | 628551 | 732 | 1,16 | 7410 | 11,79 | 3952 | 6,29 |
| 2013 | 637156 | 748 | 1,17 | 7754 | 12,17 | 4235 | 6,65 |
| 2014 | 640272 | 752 | 1,17 | 7890 | 12,32 | 4346 | 6,79 |
| 2015 | 661490 | 857 | 1,30 | 8368 | 12,65 | 4179 | 6,32 |
| 2016 | 662988 | 969 | 1,46 | 8467 | 12,77 | 1762 | 2,66 |
| 2017 | 715462 | 940 | 1,31 | 9146 | 12,78 | 2180 | 3,05 |
| 2018 | 700013 | 1069 | 1,53 | 9492 | 13,56 | 1792 | 2,56 |
| 2019 | 717951 | 1265 | 1,76 | 10330 | 14,39 | 1857 | 2,59 |
| 2020 | 725210 | 1357 | 1,87 | 10476 | 14,45 | 1842 | 2,54 |

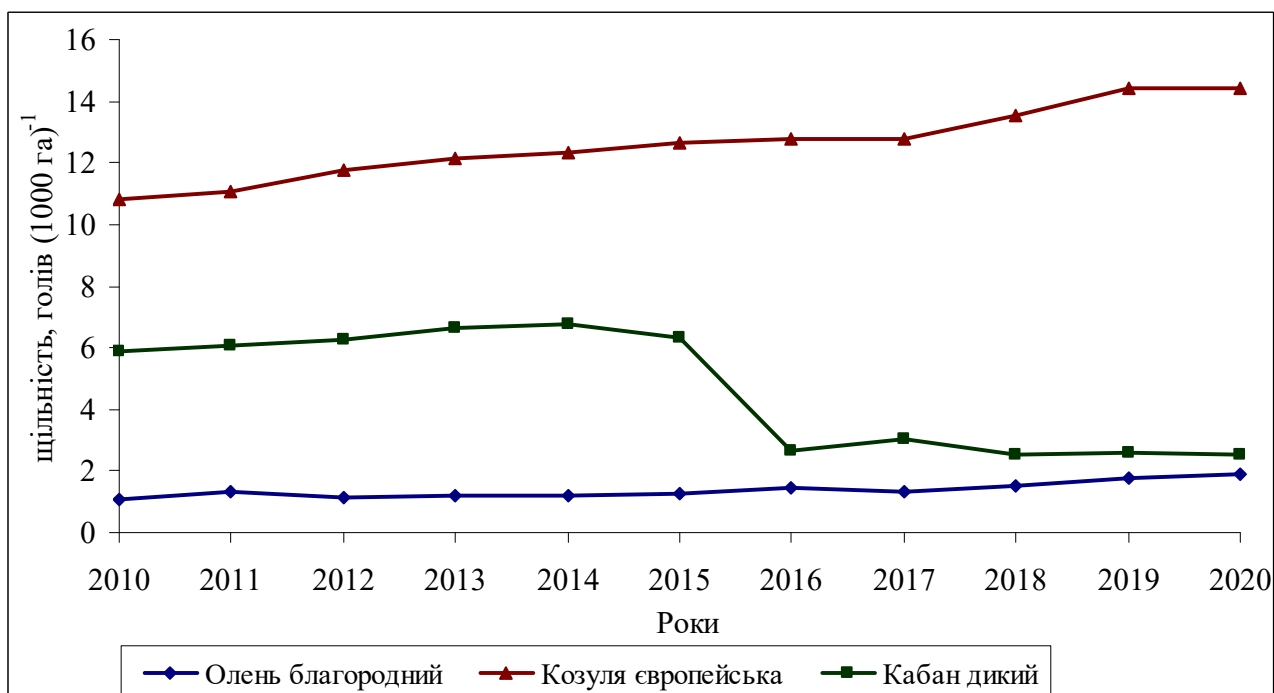


Рис. 5. Динаміка щільності основних видів мисливських тварин в угіддях мисливських господарств приватних, громадських та інших організацій Житомирщини

мирській області розподіл за місцями є аналогічним, проте у відсотковому відношенні є певні відмінності. Так, частка угідь, закріплених за УТМР становить 51 %, ЖОУЛМГ – 15 %, користувачами різних форм власності – 34 %. Більша частка угідь приватних користувачів Житомирщини, безумовно, сприятиме більш раціональному веденню мисливського господарства.

Щільність оленя благородного в угіддях Житомирщини становить 0,72 голів (1000 га)⁻¹, козулі європейської – 8,01 голів (1000 га)⁻¹, кабана дикого – 1,39. Згідно даних А. В. Івануси (Ivanusa & Kholyavka, 2011) щільність зазначених видів в угіддях Львівської області становила 2,7, голів (1000 га)⁻¹, 10,5, голів (1000 га)⁻¹, 3,0 голів (1000 га)⁻¹ відповідно. У Волинській області щільність козулі європейської становить 12,6 голів (1000 га)⁻¹, а кабана дикого – 2,2 голів (1000 га)⁻¹ (Pokhaliuk, 2017). Домніч В. І. (Domnich et al., 2010) наводить наступний розподіл щільності оленя благородного за лісомисливськими областями: Кримська – 2,48 голів (1000 га)⁻¹, Карпатська – 2,13 голів (1000 га)⁻¹, Лісостепова – 0,19 голів (1000 га)⁻¹, Поліська – 0,16 голів (1000 га)⁻¹, Степова – 0,12 голів (1000 га)⁻¹. Смірнова І. О. (Smirnova, et al. 2011) відмічає, що щільність дикого кабана у Харківській області становить 0,94 голів (1000 га)⁻¹. Як видно із досліджень щільності основних видів ратичних тварин за регіонами та лісомисливськими областями, Житомирщина не відзначається високою чисельністю розглянутих видів.

На Житомирщині найвища щільність основних видів мисливських тварин спостерігається у мисливських угіддях третьої групи, користувачами яких є, здебільшого, приватні мисливські господарства. Станом на 2020 рік чисельність оленя благородного у них становила 1,87 голів (1000 га)⁻¹, козулі європейської – 14,45 голів (1000 га)⁻¹ і кабана дикого – 2,54 голів (1000 га)⁻¹. Причиною найвищої чисельності тварин в угіддях користувачів цієї групи є два основні фактори. По-перше, структура мисливських угідь таких мисливських господарств є найбільш збалансованою, оскільки частка лісових угідь становить майже 65 %, а польових – близько 30 %. Дана обставина свідчить про високі як захисні властивості угідь, що забезпечують лісові території, так і кормові, яким значною мірою сприяють сільськогосподарські угіддя. По-друге, приватні користувачі угідь приділяють значно більше уваги покращенню умов проживання мисливських тварин, особливо ратичних, оскільки основна їх діяльність спрямована саме на ведення мисливського господарства. Слід відмітити, що площа території, на яких ведуть мисливське господарство користувачі цієї групи, зросла із 507,80 тис. га у 2010 році до 725,21 тис. га – у 2020. Збільшення площі даних господарств відбувалося, головним чином, за рахунок надання в оренду угідь, які раніше перебували у підпорядкуванні ЖОУЛМГ. Крім збільшення площі таких господарств, стабільно збільшувалася і щільність тварин у них. Так, впродовж розглядуваного періоду, щільність оленя благородного зросла із 1,06 до 1,87 голів (1000 га)⁻¹, а козулі європейської – із 10,84 до 14,45 голів (1000 га)⁻¹. Винятком була лише зміна чисельності кабана дикого, щіль-

ність якого у 2016 році знизилася у 2–3 рази відносно попередніх років. Проте, така тенденція стосується усіх виділених нами трьох груп мисливських господарств. Як уже зазначалося, причиною цього були спалахи АЧС у 2015–2017 рр., і, як наслідок, проведення депопуляції тварин на Житомирщині (Zhytomyrshchyna, 2015).

На другому місці за щільністю основних видів мисливських тварин знаходяться мисливські господарства державних лісогосподарських підприємств. Частка лісових угідь даної групи користувачів складає майже 94 %. Польові і водно-болотні угіддя займають лише по 3 % території. Очевидно, що такі території характеризуються високими захисними властивостями для тварин. Проте, у кормовому відношенні лісові угіддя є менш цінними, ніж польові. Саме зазначена обставина знижує якість угідь зазначеної групи загалом. Щільність оленя благородного у цих господарствах становить 0,45 голів (1000 га)⁻¹, що у чотири рази нижче за території користувачів попередньої групи. Щільність козулі європейської і кабана дикого є порівняно високою і становить 11,62 та 1,92 голів (1000 га)⁻¹. Зазначені показники є на 20 % та 25 % нижчими, аніж в угіддях приватних користувачів відповідно. Однією з причин нижчої чисельності тварин в угіддях лісогосподарських підприємств являється саме низька частка сільськогосподарських угідь. Також потрібно зазначити, що впродовж аналізованого періоду (2010–2020 рр.) спостерігається тенденція зменшення щільності тварин в даних угіддях. Це може бути наслідком того, що діяльність лісогосподарських підприємств спрямована, у першу чергу, на ведення лісового господарства. Саме тому, площа угідь цих господарств зменшилася із 565,20 до 321,93 тис. га, що є наслідком їх передачі у користування іншим господарствам, здебільшого приватним.

Найнижчим показником щільності характеризуються угіддя УТМР. Територія даних мисливських господарств характеризується великою часткою польових угідь, яка становить більше 81 %. Частка лісових і водно-болотних угідь тут становить 12,7 % та 6,2 % відповідно. Станом на 2020 рік щільність оленя благородного в угіддях УТМР становить лише 0,03 голів (1000 га)⁻¹. Проте зважаючи, що в окремі роки (2014–2015, 2017–2019 рр.) цих тварин в господарствах не фіксували взагалі, можна сказати, що вид зустрічається спорадично. Поясненням цього є те, що олень благородний являється лісовим видом. Щільність козулі європейської та кабана дикого також є досить низькою і становить 2,62 і 0,45 голів (1000 га)⁻¹ відповідно. Проте, в останні роки слід відзначити позитивну тенденцію зростання чисельності козулі європейської. Причиною низької чисельності тварин у господарствах цієї групи є досить низька частка лісових угідь, що погіршує захисні умови для тварин загалом. Окрім того, УТМР являється неприбутковою громадською організацією, її можливості щодо організації комплексу заходів з підвищення чисельності тварин є обмеженими.

Висновки. Враховуючи аналіз проведених досліджень потрібно відмітити наступне. Чисельність ратичних тварин (оленя благородного, козулі європейської та кабана дикого) суттєво залежить від структури угідь.

Згідно результатів досліджень, найбільш оптимальним співвідношенням типів угідь Житомирщини є наступна структура: 65 % – лісові угіддя; 30 % – польові; 5 % – водно-болотні. Висока частка (80–90 %) лісових чи польових угідь знижує їх якість загалом і не сприяє зростанню чисельності тварин. Чисельність мисливських тварин в угіддях суттєво залежить і від користувача мисливських угідь. Так, в умовах регіону досліджень найбільш ефективними у питанні підвищення чисельності розглянутих видів виявилися мисливські господарства приватних та громадських організацій (мисливські товариства, клуби тощо). Найнижча щільність козулі європейської

і кабана дикого спостерігалася у мисливських господарствах УТМР. Олень благородний лише в окремі роки зустрічався спорадично. У 2016 році чисельність кабана дикого різко скоротилася в 2–3 рази у господарствах усіх трьох груп. До такої ситуації на Житомирщині призвів спалах АЧС у 2015–2017 рр.

Отже, під час організації мисливських господарств, користувачі угідь повинні враховувати оптимальне співвідношення їх типологічної структури, санітарно-епідеміологічні чинники та матеріальні можливості проведення комплексу заходів (біотехнічних та охоронних) щодо підвищення чисельності мисливської фауни.

Бібліографічні посилання:

1. Barkauskas, T., Belova, O. & Gričiuvienė, L. (2020). Differences in ungulate population use in different hunting ground units in Lithuania. *Baltic Forestry*, 26 (2), 1–7. doi: 10.46490/BF514
2. Bieber, C. & Ruf, T. (2005). Population dynamics in wild boar *Sus scrofa*: Ecology, elasticity of growth rate and implications for the management of pulsed resource consumers. *Journal of Applied Ecology*, 42, 1203–1213. doi: 10.1111/j.1365-2664.2005.01094.x
3. Bondarenko, V.D. & Rizun, E.M. (2016). Aktualni pytannia stanu i vedennia myslyvskoho hospodarstva v Ukraini ta mozhlyvi napriamy yikh vyrishennia [Challenges of the hunting farms management in Ukraine and possible solutions]. *Naukovi pratsi Lisivnychoi akademii nauk Ukrainy*, 14, 180–184 (in Ukrainian).
4. Delean, I., Popovych, V., Trachuk, M., Shukel, I. & Dominik, A. Experience of organization of conservation, reproduction and use of game fauna resources in Serbia. *Geology and Mining Ecology Management, SGEM- 2019 : 19th International Multidisciplinary Scientific GeoConference. (707-714). 30 June–6 July, 2019.* doi: 10.5593/sgem2019/3.2/S14.091.
5. Delehan, I.I. & Delehan, I.V. (2014). Osoblyvosti orhanizatsii vedennia myslyvskoho hospodarstva u Slovachchyni [Some Peculiarities of Wildlife Management in Slovakia]. *Naukovyi visnyk NLTU Ukrainy*, 24 (8), 52–57 (in Ukrainian).
6. Deyneka, A.M. & Burmas, V.R. (2013). Stan i perspektyvy rozvytku myslyvskoho hospodarstva [State and perspective development of hunting]. *Naukovyi visnyk NLTU Ukrainy*, 23.13, 78–94 (in Ukrainian).
7. Domnich, V.I., Smirnova, I.A., Domnich, A.V., Shadura, A.N. & Delehan, I.V. (2010). Zmina chyselnosti ta antropohenne navantazhennia na oleniachykh i psovykh tvaryn v Ukraini [Change of number and anthropogenic loading on *Cervidae* and *Canidae* in Ukraine]. *Naukovyi visnyk NLTU Ukrainy*, 20.5, 8–19 (in Ukrainian).
8. Dziedzic, R. & Dzięciołowski, R. (2010). Status gatunków łownych w Polsce i krajach sąsiadujących [The status of game species in Poland and neighboring countries] Międzynarodowa konferencja. Zarządzanie populacjami zwierząt dzikożyjących na terenach pogranicza (2–3 września 2010, Chełm). *Chełm*, 7–23 (in Polish).
9. Huzii, A.I., Vlasiuk, V.P. & Tarasevych, O.V. (2014). Terytorialna dynamika ta struktura myslyvskykh uhid yak umov prozhyvannia myslyvskykh tvaryn Zhytomyrshchyny [The territory dynamics and hunting lands structure as habitat for game animals in the Zhytomyr region]. *Naukovyi visnyk NLTU Ukrainy*, 24 (1), 15–20 (in Ukrainian).
10. Ivanusa, A.V. & Kholiyavka, V.Z. (2011). Analiz vedennia myslyvskoho hospodarstva pidpriemstvamy Lvivskoi oblasti [Analysis of Hunting Management at the Enterprises of Lviv Region] *Naukovyi visnyk NLTU Ukrainy*, 21.18, 108–112 (in Ukrainian).
11. Kazymyr, M.M. & Khoietskyi, P.B. (2004). Poshyrennia kozuli yevropeiskoi (*Capreolus Capreolus L.*) v uhiddiakh Lvivskoi oblasti [Occupation of *Capreolus capreolus L.* in lands Lviv region]. *Naukovyi visnyk UkrDLTU*, 14.4, 46–49 (in Ukrainian).
12. Khoietskyi, P.B. & Pokhaliuk, O.M. (2014). Myslyvske hospodarstvo krain Yevropy [Hunting economy of European countries]. *Naukovyi visnyk NLTU Ukrainy*, 24 (8), 42–52 (in Ukrainian).
13. Melnyk, A.V., Tovstukha, O.V., Melnyk, T.I., Kremenetska, E.O. & Trotska, S.S. (2021). Dynamika kopytnykh tvaryn za suchasnoho antropohennoho navantazhennia v lisomyslyvskykh hospodarstvakh Sumskoi oblasti [Dynamics of ungulates in terms of modern anthropogenic load under the forestry facts Sumy region]. *Visnyk Sumskoho natsionalnoho ahrarnoho universytetu*, 4 (46), 42–48 (in Ukrainian). doi: 10.32845/agrobio.2021.4.6
14. Merenzak, S.R. & Delehan, I.I. (2016). Osoblyvosti vedennia myslyvskoho hospodarstva na derzhavnomu pidpriemstvi «Drohobyske lisove hospodarstvo» [The Peculiarities of Hunting Management at Drohobych Forest Sector State Enterprise]. *Naukovyi visnyk NLTU Ukrainy*, 26.8, 133–139 (in Ukrainian).
15. Muraviov, Yu.V. & Khoietskyi, P.B. (2011). Analiz vedennia myslyvskoho hospodarstva ta shliakhy pidvyshchennia yoho efektyvnosti [Analysis of running game management and the ways to improve its efficiency]. *Naukovyi visnyk NLTU Ukrainy*, 21 (1), 23–29 (in Ukrainian).
16. Muraviov, Yu.V. (2019). Game animals resources as a prerequisite for the establishment of ecological and economic development of hunting economy. *Scientific Bulletin of UNFU*, 29 (4), 86–88. doi: 10.15421/40290418
17. Muraviov, Yu.V. (2019). Research of distribution of hunting grounds of the Lviv region. *Scientific Bulletin of UNFU*, 29 (4), 72–74. doi: /10.15421/40290415
18. Muzyka, V. & Honta, O. (2020). Otsiniuvannia suchasnoho stanu rozvytku myslyvskoho hospodarstva Ukrainy [Assessment of the current state of the hunting economy development in Ukraine]. *Galician economic journal*, 6 (67), 18–32 (in Ukrainian). doi: 10.33108/galicianvisnyk_tntu2020.06.018
19. Pokhaliuk, O.M. (2017). Analysis of the Number of Ungulates in the Hunting Grounds of the Volyn Region. *Scientific Bulletin of UNFU*, 27 (6), 47–50. doi: 10.15421/40270609

20. Potish, L.A. & Potish, A.L. (2017). Quantity Dynamics and Population Status of Ungulates Artiodactyla in Trascapathian Region. *Scientific Bulletin of UNFU*, 27 (10), 37–41. doi: 10.15421/40271005
21. Rizun, E. (2019). Yakisna otsinka umov isnuvannia dlia sarny yevropeiskoi (*Capreolus Capreolus L.*) u Lisostepovii (pravoberezhnii) lisomyslyvskii zoni Ukrainy [Qualitative assessment of habitats of the European roe deer (*Capreolus capreolus L.*) in the Forest-steppe (right-bank) forest-hunting zone of Ukraine]. *Theriologia Ukrainica*, 18, 74–79 (in Ukrainian). doi: 10.15407/pts2019.18.074
22. Smagol, V.M. & Yarysh, V.L. (2017). Population Dynamics of the Roe Deer, *Capreolus capreolus*, and the Red Deer, *Cervus elaphus* (*Artiodactyla, Cervidae*), in the Mountain Crimea. *Vestnik Zoologii*, 51 (4), 355–358. doi: 10.1515/vzoo-2017-0042
23. Smagol, V.M., Babich, O.G., Kaminetskyi, V.K., Yarysh, V.L. & Smagol, V.O. (2019). Formation of Inter-Species Links in Ungulates in the Azov-Sivash National Nature Park. *Vestnik Zoologii*, 53 (3), 255–262. doi: 10.2478/vzoo-2019-0025.
24. Smagol, V.N., Yarysh, V.L., Ivanov, S.P. & Maltsev, V.I. (2017). Long-term population dynamics of the Red deer and European roe deer at the protected and not-protected areas in Mountain Crimea. *Ukrainian Journal of Ecology*, 7 (4), 65–72. doi: 10.15421/2017_88
25. Smirnova, I.O., Buhlo, D.O., Domnich, A.V. & Petrychenko, V.V. (2011). Dynamika populatsii i analiz chynnykiv, shcho vplyvaiut na chyselnist khyzhykh i kopytnykh na Skhodi Ukrainy [Population dynamics and analysis of factors influencing the number of predators and ungulates in Eastern Ukraine]. *Visnyk Zaporizkoho natsionalnoho universytetu. Biologichni nauky*, 1, 62–69 (in Ukrainian).
26. Sobol, O.M. (2021). Dynamika vydivoho skladu ta vykorystannia myslyvskoi kopytnoi fauny Khersonskoi oblasti [Dynamics of species composition of hunting fauna of Kherson region]. *Tavriyskyi naukovi visnyk*, 118, 368–376 (in Ukrainian). doi: 10.32851/2226-0099.2021.118.47
27. Sobol, O.M. (2021). Vydivoi sklad myslyvskoi kopytnoi fauny Khersonskoi oblasti [Species composition of game ungulates of the Kherson region]. *Tavriyskyi naukovi visnyk*, 117, 308–317 (in Ukrainian). doi: 10.32851/2226-0099.2021.117.41
28. Sobolevska, O.O. (2021). Income formation of hunting farms of Zaporizhia region. *Scientific Messenger of Lviv National University of Veterinary Medicine and Biotechnologies. Series: Economical Sciences*, 23 (97), 41–47. doi: 10.32718/nvivet-e9708
29. Vlasiuk, V.P. (2015). Prohnozuvannia chyselnosti kozuli yevropeiskoi (*Capreolus Capreolus L.*) dlia ryznykh pryrodno-klimatychnykh raioniv Zhytomyrshchyny [Forecasting the Number of European Deer (*Capreolus Capreolus L.*) for Different Climatic Zones of Zhytomyr Region]. *Naukovi visnyk NLTU Ukrainy*, 25 (1), 49–55 (in Ukrainian).
30. Volokh, A.M. (2015). Mammals Hunted in Steppe Ukraine. Part 2. *Gryn D.C., Kherson*, 1–401 [In Russian].
31. Zhelizko, M.I., Paraniak, R.P. & Kalyn, B.M. (2016). Dynamika vydivoho riznomanittia myslyvskykh tvaryn [Dynamics of species diversity of hunting animals]. *Naukovi visnyk LNUVMBT imeni S.Z. Gzhytskoho*, T. 18, № 4 (72), 10–13 (in Ukrainian).
32. Zhytomyrshchyna: afrykanska chuma svynei zmushuie vzhlyvaty radykalnykh zakhodiv. URL: https://zt-lis.gov.ua/no_cache/pres-sluzhba/novina/article/zhytomirshchina-afrikanska-chuma-svinei-zmushuje-vzhivati-radikalnikh-zakhodiv.html

Vlasiuk V.P., PhD (Agricultural Sciences), Assistant Professor, Polissia National University, Zhytomyr, Ukraine

Kratiuk O.L., Doctor (Biological Sciences), Professor, Polissia National University, Zhytomyr, Ukraine

Klymchuk O.O., PhD (Agricultural Sciences), Assistant Professor, Polissia National University, Zhytomyr, Ukraine

Main Tendencies in Spatial and Temporal Dynamics of Main Species of Hunting Animals in Zhytomyr Region

The number of hunting animals mainly depends on the structure of hunting grounds and forms of property of hunting farm. To establish the typological structure all hunting grounds in Zhytomyr region were divided into three types: forest, field and wetland. As the subject of the study the most common and promising hunting species in the region were chosen: Red Deer, European Roe Deer and Wild Boar. To establish main tendencies in spatial changes of animal number and density all hunting grounds in Zhytomyr region were divided into three groups: hunting grounds of state forestries, USFH hunting grounds and hunting grounds of private, public or other organizations (hunting societies, clubs, etc.) To establish temporal regularity in animal number changes the period from 2010 to 2020 was taken.

It is established, that the highest animal density is registered in hunting grounds of private users. In these grounds the density of Red Deer is 1.87 heads per 1000 ha, European Roe Deer – 14.45 heads per 1000 ha, Wild Boar – 2.54 heads per 1000 ha. The tendency to constant increase of Red Deer, European Roe Deer density is established in this type of hunting grounds during the analyzed period.

In hunting grounds of state forestries the density indices of these animals are lower. On the territory of these hunting grounds the Red Deer density is 0.45 heads per 1000 ha, the European Roe Deer – 11.62 heads per 1000 ha, Wild Boar – 1.92 heads per 1000 ha. Also, in these hunting grounds the negative tendency in number of all animal species is registered.

In USFH hunting grounds the animals density is at a very low level. In hunting grounds of this group the density of European Roe Deer is 2.62 and Wild Boar is 0.45 heads per 1000 ha. The Red Deer was registered in USFH hunting grounds only in some years, thus testifying to its sporadic occurrence. The positive fact in this group of hunting grounds is the slow but stable increase in European Roe Deer density during the last 11 years.

As the result of conducted research, it is established that the highest number of main species of hoof animals is registered in hunting farms with the following hunting grounds structure: 65% – forest; 30% – field; 5% – wetland. The high part of forest or field lands (80-90%) reduces their quality in general and does not promote the increase in animal number. Also, the most effective in forest hunting fauna reproduction are private hunting farms.

Key words: hunting grounds, number of hunting animals, hunting animals density, Red Deer, European Roe Deer, Wild Boar.

ВПЛИВ РІЗНИХ ВИДІВ І ДОЗ ДОБРИВ НА ПРОДУКТИВНІСТЬ ЗЕРНОВОЇ СІВОЗМІНИ

Господаренко Григорій Миколайович

доктор сільськогосподарських наук, професор
Уманський національний університет садівництва,
м. Умань, Україна
ORCID: 0000-0002-6495-2647
hospodarenko@gmail.com

Любич Віталій Володимирович

доктор сільськогосподарських наук, професор
Уманський національний університет садівництва,
м. Умань, Україна
ORCID: 0000-0003-4100-9063
LyubichV@gmail.com

Стоцький Вадим Вікторович

аспірант
Уманський національний університет садівництва,
м. Умань, Україна
ORCID: 0000-0001-6939-4958
LyubichV@gmail.com

Висвітлено результати досліджень впливу тривалого (11 років) застосування фосфорних добрив у поєднанні з різними дозами азотних і калійних добрив в умовах Правобережного Лісостепу України на продуктивність культур польової сівозміни. Дослідження проводили у стаціонарному польовому досліді (№ 87 реєстрації НААН України), що територіально розміщувався у Правобережному Лісостепу (м. Умань Черкаської обл.). Продуктивність польової сівозміни обчислювали як суму добуток показників урожайності зерна й насіння на вихід кормопроцентних одиниць (кпо) з 1 т відповідної продукції. Вважали, що 1 т продукції містить, т кпо: соя – 2,14, пшениця озима – 1,15, кукурудза – 1,06, ячмінь ярий – 1,01. Як показали проведенні дослідження, врожайність ячменю ярого змінювалась від 3,64 до 5,70 т/га залежно від доз і поєднань добрив у польовій сівозміні. Систематичне застосування повного мінерального добрива в сівозміні сприяло підвищенню врожайності зерна на 1,95–2,06 т/га залежно від дози. При цьому слід зазначити, що в середньому за роки проведення досліджень у варіанті досліді Фон + P₆₀ відмічено лише незначне (0,11 т/га) підвищення врожайності порівняно з варіантом Фон + P₃₀. Тобто ячмінь ярий може ефективно використовувати післядію добрив, внесених під попередник і не потребує високих доз фосфорних добрив.

Фосфорні добрива на азотно-калійному тлі в дозі 30 кг/га д. р. сприяли підвищенню врожайності пшениці озимої, кукурудзи, ячменю ярого та сої відповідно на 9, 14, 9 і 7 %, а продуктивності сівозміни у цілому – на 10 %. Подальше підвищення дози фосфорних добрив до P₆₀ підвищувало їх урожайність лише на 2–7 %, а продуктивність сівозміни лише на 6 %. Фосфорні добрива на азотно-калійному тлі (N₁₁₀K₈₀) у дозі 30 кг/га д. р. сприяють підвищенню врожайності пшениці озимої, кукурудзи, ячменю ярого та сої відповідно на 9; 14; 9 і 7 %, а подальше підвищення їх дози до 60 кг/га д. р. підвищувало їх урожайність лише на 2–7 %. Приріст продуктивності культур від фосфорних добрив, що вносяться в сівозміні в дозі 30 кг/га д. р., на азотно-калійному тлі (N₁₁₀K₈₀) становив 0,76 т кпо/га, або 10 %, тоді як від наступної дози (P₃₀) – 0,47 т кпо/га, або 6 %. Культури мають різний вплив на формування продуктивності сівозміни у цілому – від 17,5 % до 38,3 % залежно від удобрення. Застосування фосфорних добрив на азотно-калійному тлі збільшує частку участі кукурудзи і зменшує відповідно ячменю ярого і сої. Для забезпечення продуктивності польової сівозміни на рівні 8,1–8,5 т кпо/га, необхідно щорічно вносити під сільськогосподарські культури фосфорні добрива в дозі 30–60 кг/га д. р. на тлі N₁₁₀K₈₀ і заробляння у ґрунт нетоварної частини їх урожаю.

Ключові слова: система удобрення, фосфор, ґрунт, урожайність культур, продуктивність сівозміни.

DOI <https://doi.org/10.32845/agrobio.2022.2.7>

Вступ. Проблема родючості ґрунтів в Україні залишається актуальною у зв'язку зі значною розораністю земель, недотриманням рекомендованих сівозмін і ґрунтоохоронних заходів (Balík et al., 2020). Крім того економічна криза обумовила значне зниження рівня застосування мінеральних добрив, особливо фосфорних, що поглиблює проблему відновлення родючості ґрунту (Vu et al., 2010).

Ефективність застосування мінеральних добрив залежить від доз їх внесення. Оптимальна доза добрив повинна враховувати біологічні особливості культур і запланований рівень урожайності, погодні умови і родючість ґрунту, рівень агротехнології, розміщення культур у сівозміні та насичення її добривами, форми добрив, строки і способи їх внесення та інші чинники. Встанов-

лення оптимальних доз добрив є одним із важливих питань агрохімічної науки і практики (Daly et al., 2015). За систематичного застосування добрив у сівозміні формування високої продуктивності сільськогосподарських культур можливе за внесення менших доз, що пояснюється накопиченою післядією добрив, внесених у попередні роки (Nunes et al., 2020).

У Правобережному Лісостепу в польовій сівозміні на чорноземі опідзоленому встановлено, що за внесенням P_{30} і P_{60} на тлі $N_{110}K_{80}$ та залишення нетоварної частини урожаю культур на полі на добриво баланс фосфору в ґрунті формується з інтенсивністю відповідно 67 і 117 % (Hospodarenko et al., 2022).

Особливість взаємодії між рослиною, добривом, ґрунтом і погодою зумовлює складність встановлення потреби культур у фосфорі і є вузьким місцем у системі застосування фосфорних добрив (O'Sullivan et al., 2022; Schneider et al., 2019). Нині запропоновано низку методів розрахунку доз добрив, проте вони не забезпечують належну продуктивність культур сівозміни, оскільки були розроблені для окремих пріоритетних культур, а не для всієї сівозміни (Menezes-Blackburn et al., 2018).

У тривалому досліді на чорноземі опідзоленому встановлено, що поліпшення фосфатного стану ґрунту не пропорційне дозам фосфорних добрив. Подібно цій закономірності формується і продуктивність сівозміни (Sheil et al., 2016). Тому розрахунки показують, що класичні системи удобрення є витратними щодо досягнення найвищої окупності фосфорних добрив (Soltangheisi et al., 2020).

Для оптимізації мінерального живлення у польових сівозмінах і підвищення родючості сірого лісового ґрунту Правобережного Лісостепу з середніми агрохімічними показниками у господарствах рослинницького напрямку рекомендується максимально залучати нетоварну частину врожаю та вносити невисокі дози фосфорних добрив (Chen et al., 2021; Dai et al., 2013).

На чорноземі типовому Лівобережному Лісостепу в польових сівозмінах на 10–15 років можуть застосовуватися системи удобрення, які не покривають винесення фосфору (Vitousek et al., 2009). Можливість подальшого застосування таких систем удобрення необхідно визначити контролем основних агрохімічних властивостей ґрунту (Bi et al., 2009). Одним з перспективних напрямків є застосування помірних доз фосфорних добрив з додатковим залученням нетоварної продукції культур сівозміни (Gong et al., 2009; Jiang et al., 2006). Оптимальна доза фосфорних добрив залежить перш за все від ґрунту,

менш – від вирощуваної культури, і не залежить від погодних умов року (Wang et al., 2010; Zhang et al., 2009).

Отже, раціональне використання фосфорних добрив у зв'язку з обмеженістю їх застосування перетворилось у найважливішу проблему землеробства, тому уточнення можливості зниження їх доз є нині актуальним. З огляду наукових джерел, рекомендовані в довідковій літературі дози фосфорних добрив зазвичай не враховують залишкового вмісту в ґрунті рухомих фосфатів. Вони були розраховані за умов видалення нетоварної частини урожаю з поля, яка використовувалася в тваринництві. Тому в умовах енергетичної кризи важливо встановити мінімально оптимальну дозу фосфорних добрив, за якої не знижувалася б продуктивність культур сівозміни.

Мета досліджень – встановити формування продуктивності короткоротаційної польової сівозміни за різних доз фосфорних добрив на тлі заробляння у ґрунт нетоварної частини урожаю.

Матеріали і методи дослідження. Дослідження проводили у стаціонарному польовому досліді (№ 87 реєстрації НААН України), що територіально розміщувався у Правобережному Лісостепу (м. Умань Черкаської обл.) з географічними координатами 48°46' пн. ш. і 30°14' сх. д. і висотою над рівнем моря 245 м (Stationary, 2014). За даним метеостанції Умань, розміщеної за 2 км від стаціонарного досліді, клімат регіону помірно-континентальний із нестійким зволоженням, холодними умовами взимку і жаркими, а часто і сухим влітку. Середня багаторічна температура повітря становить 8,8 °С, сума опадів – 586 мм. За теплий період (квітня–жовтень) середня температура повітря складає 15,4 °С, а сума опадів – 395 мм. ґрунт класифікується як чорнозем опідзолений важкосуглинковий на лесі (за класифікацією FAO/WRB 2014 – Luvic Chernozems).

Дослід одночасно закладено на чотирьох полях з послідовним розміщенням варіантів і триразовим повторенням (табл. 1). Загальна площа дослідної ділянки 110 м², облікова – 72 м².

Відповідно до схеми досліді застосовували такі види мінеральних добрив: аміачна селітра, суперфосфат гранульований і калій хлористий. Фосфорні та калійні добрива вносили під зяблевий обробіток ґрунту, азотні – під передпосівну культивування та в підживлення пшениці озимої.

Збирання та облік урожаю гороху, пшениці озимої і сої проводили прямим комбайнуванням, кукурудзи – вручну після звільнення качанів від обгорток. Нетоварну частину врожаю (солому, стебеління) залишали на полі на добриво.

Таблиця 1

Схема досліді

| Варіант досліді (насиченість добривами 1 га площі сівозміни) | Сівозміна | | | |
|--|-----------------------|------------------------|----------------------|----------------------|
| | Пшениця озима | Кукурудза | Ячмінь ярий | Соя |
| Без добрив (контроль) | – | – | – | – |
| $N_{110}K_{80}$ – фон | $N_{150}P_{60}$ | $N_{160}P_{60}$ | $N_{70}P_{60}$ | $N_{60}P_{60}$ |
| Фон + P_{30} | $N_{150}P_{30}K_{80}$ | $N_{160}P_{30}K_{110}$ | $N_{70}P_{30}K_{70}$ | $N_{60}P_{30}K_{60}$ |
| Фон + P_{60} | $N_{150}P_{60}K_{80}$ | $N_{160}P_{60}K_{110}$ | $N_{70}P_{60}K_{70}$ | $N_{60}P_{60}K_{60}$ |

Продуктивність польової сівозміни обчислювали як суму добуток показників урожайності зерна й насіння на вихід кормопротеїнових одиниць (кпо) з 1 т відповідної продукції. Вважали, що 1 т продукції містить, т кпо: соя – 2,14, пшениця озима – 1,15, кукурудза – 1,06, ячмінь ярий – 1,01 (Volkohon et al., 2019).

Результати досліджень. Продуктивність сільськогосподарських культур є найбільш мінливим й інтегральним показником їх життєдіяльності в якому акумулюється генетичний потенціал рослин, родючість ґрунту, погодні умови та складові технології вирощування. Дослідження показали, що за внесення в польовій сівозміні повного мінерального добрива урожайність пшениці озимої у середньому за три роки становила 7,31–7,78 т/га, що на 2,91–3,38 т/га більше, порівняно з ділянками без добрив (табл. 2).

Фосфорні добрива в дозі 30 кг/га д. р. на азотно-калійному фоні сприяли підвищенню урожайності пшениці озимої, кукурудзи, ячменю ярого та сої відповідно на 9; 14; 9 і 7 %.

Відомо, що кукурудза, навіть за вирощування на чорноземних ґрунтах, має підвищенні вимоги до умов мінерального живлення та удобрення. Як показали проведенні дослідження, з культур сівозміни вона найбільше реагує на внесення фосфорних добрив. Навіть за внесення їх у дозі 30 кг/га д. р. на тлі ($N_{110}P_{30}K_{80}$) урожайність зерна збільшувалась у середньому за роки проведення досліджень на 0,84 т/га або 7 %.

Як показали проведенні дослідження, урожайність ячменю ярого змінювалась від 3,64 до 5,70 т/га залежно від доз і поєднань добрив у польовій сівозміні. Систематичне застосування повного мінерального добрива в сівозміні

сприяло підвищенню врожайності зерна на 1,95–2,06 т/га залежно від дози. При цьому слід зазначити, що в середньому за роки проведення досліджень у варіанті досліді Фон + P_{60} відмічено лише незначне (0,11 т/га) підвищення врожайності порівняно з варіантом Фон + P_{30} .

Застосування фосфорних добрив у сівозміні підвищувало урожайність сої на 0,18–0,34 т/га або на 7–13 % залежно від їх дози. Приріст продуктивності культур від фосфорних добрив, що вносяться в сівозміні в дозі 30 кг/га д. р., на азотно-калійному тлі становив 0,76 т кпо/га, або 10 %, тоді як від наступної дози (P_{30}) – 0,47 т кпо/га, або 6 %.

Як видно з табл. 3, культури мають різний вплив на формування продуктивності сівозміни у цілому – від 17,5 % до 38,3 % залежно від удобрення. Найбільше впливає на продуктивність сівозміни вирощування кукурудзи, найменше – ячменю ярого. Особливості удобрення в сівозміні змінює частку впливу окремих культур. Так, за внесення мінеральних добрив частка участі пшениці озимої підвищувалася на 2,1–2,4 % (за показника на контролі 24,0 %). При цьому частка кукурудзи зростає на 3,3–4,7 %, у тому числі завдяки внесенню фосфорних добрив на 1,1–1,5 %. За внесення фосфорних добрив у дозі 60 кг/га д. р. на азотно-калійному тлі частка ячменю ярого у формуванні продуктивності сівозміни знижувалася на 0,8 %, а порівняно з контролем – на 3,2 %. За внесення фосфорних добрив на азотно-калійному тлі частка сої у формуванні продуктивності сівозміни знижувалася на 0,6 %, а порівняно з контролем – на 3,6 %.

Обговорення. Застосування фосфорних добрив сприяло зростанню продуктивності польової сівозміни.

Таблиця 2

Вплив тривалого застосування фосфорних добрив на урожайність культур і продуктивність польової сівозміни, 2011–2021 рр.

| Варіант досліді | Урожайність, т/га | | | | Продуктивність сівозміни, т кпо/га | Приріст від кожної наступної дози фосфорних добрив | |
|-----------------------|-------------------|-----------|-------------|------|------------------------------------|--|----|
| | Пшениця озима | Кукурудза | Ячмінь ярий | Соя | | т кпо/га | % |
| Без добрив (контроль) | 3,83 | 5,80 | 3,64 | 1,90 | 4,58 | – | – |
| $N_{110}K_{80}$ – фон | 6,71 | 10,12 | 5,12 | 2,63 | 7,31 | – | – |
| Фон + P_{30} | 7,31 | 11,52 | 5,59 | 2,81 | 8,07 | 0,76 | 10 |
| Фон + P_{60} | 7,78 | 12,36 | 5,70 | 2,97 | 8,54 | 0,47 | 6 |

Таблиця 3

Частка участі культур за різного удобрення у формуванні продуктивності сівозміни, %

| Варіант досліді | Пшениця озима | Кукурудза | Ячмінь ярий | Соя |
|-----------------------|---------------|-----------|-------------|------|
| Без добрив (контроль) | 31,2 | 30,4 | 18,3 | 20,1 |
| $N_{110}K_{80}$ – фон | 26,4 | 36,7 | 17,7 | 19,2 |
| Фон + P_{30} | 26,1 | 37,8 | 17,5 | 18,6 |
| Фон + P_{60} | 26,2 | 38,3 | 16,9 | 18,6 |

Про позитивний вплив фосфорних добрив свідчать результати досліджень інших вчених (Mueller et al., 2012; Tang et al., 2008). Слід відзначити, що величина продуктивності в наших дослідженнях значно змінювалась залежно від культури. Вчені (Shen et al., 2004; Manna et al., 2005) відзначають зміну ефективності застосування добрив залежно від культури. Така ефективність зумовлена різною реакцією на удобрення (Weng et al., 2018). Так, ячмінь ярий найінтенсивніше засвоює поживні речовини упродовж короткого проміжку часу, тому добре реагує на добрива і їх післядію (Šimanský & Jonczak, 2019). Проте є дані (Novak et al., 2019), що ячмінь слабо реагує на високі дози мінеральних добрив. Урожайність інтенсивно зростає до рівня $N_{60}P_{90}K_{60}$, а потім знижується в інтервалі від $N_{100}P_{150}K_{100}$ до $N_{160}P_{240}K_{160}$. Тому оптимальна доза знаходиться в межах $N_{20-60}P_{30-90}K_{20-60}$. У Східному Лісостепу

на чорноземі типовому за дози $N_{40}P_{40}K_{40}$ азотні добрива обумовили 53 % приросту врожаю від сумарної дії NPK, фосфорні – 35, а калійні – 12 % (Hospodarenko et al., 2019). Дози добрив для кукурудзи значно більші, оскільки вона має вищу реакцію на їх внесення (Li et al., 2019; Dai et al., 2013).

Висновки. Фосфорні добрива на азотно-калійному тлі ($N_{110}K_{80}$) у дозі 30 кг/га д. р. сприяють підвищенню врожайності на 7–14 % залежно від культури польової сівозміни. Збільшення дози фосфорних добрив до 60 кг/га д. р. підвищує їх урожайність лише на 2–7 %. Продуктивність сівозміни за внесення 30 кг/га д. р. фосфорних добрив зростає до 8,07 т кпо/га, а за внесення подвійної дози – до 8,54 т кпо/га порівняно з 4,58 т кпо/га на ділянках без добрив. Частка впливу культур сівозміни у формуванні її продуктивності змінюється від 17,5 до 38,3 %. Частка кукурудзи при цьому є найвищою.

Бібліографічні посилання:

1. Balík, J., Kulhánek, M., Cern, J., Sedlář, O., & Suran, P. (2020). Potassium fractions in soil and simple K balance in long-term fertilising experiments. *Soil Water Res*, 15, 211–219.
2. Bi, L.D., Zhang, B., Liu, G.R., Li, Z.Z., & Liu, Y.R. (2009). Long-term effects of organic amendments on the rice yields for double rice cropping systems in subtropical China. *Agr Ecosyst Environ*, 129, 534–541.
3. Chen, X., Zhang, W., Wang, X., Liu, Y., Yu, B., Chen, X., & Zou, C. (2021). Life cycle assessment of a long-term multifunctional winter wheat-summer maize rotation system on the North China Plain under sustainable P management. *Sci Total Environ*, 783, 147039. doi: 10.1016/j.scitotenv.2021.147039
4. Dai, X., Ouyang, Z., Li, Y., & Wang, H. (2013). Variation in yield gap induced by nitrogen, phosphorus and potassium fertilizer in North China Plain. *PLoS One*, 8(12), e82147.
5. Dai, X., Ouyang, Z., Li, Y., & Wang, H. (2013). Variation in yield gap induced by nitrogen, phosphorus and potassium fertilizer in North China Plain. *PLoS One*, 8(12), e82147. doi: 10.1371/journal.pone.0082147
6. Daly, K., Styles, D., Lalor, S., & Wall, D. P. (2015). Phosphorus sorption, supply potential and availability in soils with contrasting parent material and soil chemical properties. *European Journal of Soil Science*, 66(4), 792–801.
7. Gong, W., Yan, X.Y., Wang, J.Y., Hu, T.X., Gong, Y.B. (2009). Long-term manuring and fertilization effects on soil organic carbon pools under a wheat-maize cropping system in North China Plain. *Plant Soil*, 314, 67–76.
8. Hospodarenko, H., Liubych, V., Oliinyk, O., Polianetska, I., Silifonov, T. (2022). Influence of fertilization on the crop rotation productivity and the balance of essential nutrients in the soil. *Rev. Fac. Nac. Agron. Medellín*, 75(2), 9919–9928. doi: 10.15446/rfnam.v75n2.98290
9. Hospodarenko, H., Prokopchuk, I., Nikitina, O. & Liubych, V. (2019). Assessment of the contamination level of a podzolized chernozem with nuclides in a long-term land use. *Agriculture (Poľnohospodárstvo)*, 65(3), 128–135. doi: 10.2478/agri-2019-0013
10. Jiang, D., Hengsdijk, H., Dai, T., de Boer, W., & Jing, Q. (2006). Long-term effects of manure and inorganic fertilizers on yield and soil fertility for a winter wheat-maize system in Jiangsu, China. *Pedosphere*, 16, 25–32.
11. Li, S., Lei, Y., Zhang, Y., Liu, J., Shi, X., Jia, H., Wang, C., Chen, F., & Chu, Q. (2019). Rational trade-offs between yield increase and fertilizer inputs are essential for sustainable intensification: A case study in wheat-maize cropping systems in China. *Sci Total Environ*, 679, 328–336. doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.05.085
12. Manna, M.C., Swarup, A., Wanjari, R.H., Ravankar, H.N., & Mishra, B. (2005). Long-term effect of fertilizer and manure application on soil organic carbon storage, soil quality and yield sustainability under sub-humid and semi-arid tropical India. *Field Crop Res*, 93, 264–280.
13. Menezes-Blackburn, D., Giles, C., & Darch, T. (2018). Opportunities for mobilizing recalcitrant phosphorus from agricultural soils: a review. *Plant Soil*, 427, 5–16.
14. Mueller, N.D., Gerber, J.S., Johnston, M., Ray, D.K., & Ramankutty, N. (2012). Closing yield gaps through nutrient and water management. *Nature*, 490, 254–257.
15. Novak, L., Liubych, V., Poltoretskyi, S. & Andrushchenko, M. (2019). Technological indices of spring wheat grain depending on the nitrogen supply. *Modern Development Paths of Agricultural Production: Trends and Innovations*, 753–761. doi: 10.31388/2220-8674-2019-1-55
16. Nunes, R. S., de Sousa, D. M. G., Goedert, W. J., de Oliveira, L. E. Z., Pavinato, P. S., & Pinheiro, T. D. (2020). Distribution of Soil Phosphorus Fractions as a Function of Long-Term Soil Tillage and Phosphate Fertilization Management. *Frontier Earth Science*, 8, 350. doi: 10.3389/feart.2020.00350
17. O'Sullivan, J. B., Vongsouthi, K., Jin, J., & Tang, C. (2022). Soil phosphorus sorption capacity dictates the effect of elevated CO₂ on soil and plant critical phosphorus levels for wheat growth. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 1–10. doi: 10.1002/jpln.202100401
18. Schneider, K. D., Thiessen Martens, J. R., & Zvomuya F. (2019). Options for improved phosphorus cycling and use in agriculture at the field and regional scales. *J. Environ. Qual.*, 48, 1247–1264.

19. Sheil, T., Wall, D., Culleton, N., Murphy, J., Grant, J., & Lalor, S. (2016). Long-term effects of phosphorus fertilizer on soil test phosphorus, phosphorus uptake and yield of perennial ryegrass. *The Journal of Agricultural Science*, 154(6), 1068–1081. doi: 10.1017/S0021859615001100
20. Shen, J., Li, R., Zhang, F., Fan, J., & Tang, C. (2004). Crop yields, soil fertility and phosphorus fractions in response to long-term fertilization under the rice monoculture system on a calcareous soil. *Field Crop Res.* 86, 225–238.
21. Šimanský, V. & Jonczak, J. (2019). Sorption capacity of sandy soil under long-term fertilisation. *Agriculture (Poľnohospodárstvo)*, 65(4), 164–171. doi: 10.2478/agri-2019-0017
22. Soltangheisi, A., Teles, A. P. B., Sartor, L. R., & Pavinato, P. S. (2020). Cover Cropping May Alter Legacy Phosphorus Dynamics Under Long-Term Fertilizer Addition. *Frontiers in environmental science*, 8, 13. doi: 10.3389/fenvs.2020.00013
23. Stationary field experiments of Ukraine. (2014). *Agrarian Science*, Kyiv. 146
24. Tang, X., Li, J., Ma, Y., Hao, X., & Li, X. (2008). Phosphorus efficiency in long-term (15-years) wheat-maize cropping systems with various soil and climate conditions. *Field Crop Res*, 108, 231–237.
25. Vitousek, P.M., Naylor, R., Crews, T., David, M.B., Drinkwater, L.E. (2009). Nutrient imbalances in agricultural development. *Science*, 324, 1519–1520.
26. Volkohon, V.V., Berdnikov, O.M. & Lopushniak, V.I. (2019). Ecological aspects of fertilization system of agricultural crops. *Agrarian science*, Kyiv. 263.
27. Vu, D. T., Armstrong, R. D., Sale, P. W. G., & Tang, C. (2010). Phosphorus availability for three crop species as a function of soil type and fertilizer history. *Plant and Soil*, 337(1–2), 497–510.
28. Wang, Y.C., Wang, E., Wang, D.L., Huang, S.M., & Ma, Y.B. (2010) Crop productivity and nutrient use efficiency as affected by long-term fertilization in North China Plain. *Nutr Cycl Agroecosys*, 86, 105–119.
29. Weng, L.Y., Yang, X.Q., Lyu, M.J., Xin, S.Y., Chen, S., Ma, W.Q., & Wei, J. (2018). Characteristics of soil nitrate accumulation and leaching under different long-term nitrogen application rates in winter wheat and summer maize rotation system. *Ying Yong Sheng Tai Xue Bao*, 29(8), 2551–2558. doi: 10.13287/j.1001-9332.201808.026
30. Zhang, H., Xu, M., & Zhang, F. (2009). Long-term effects of manure application on grain yield under different cropping systems and ecological conditions in China. *J Agr Sci*, 147, 31–42.

Hospodarenko H.M., Doctor (Agricultural Sciences), Professor, Uman National University of Horticulture, Uman, Ukraine

Liubych V.V., Doctor (Agricultural Sciences), Professor, Uman National University of Horticulture, Uman, Ukraine

Stotskyi V.V., PhD student, Uman National University of Horticulture, Uman, Ukraine

Influence of different types and doses of fertilizers on grain rotation productivity

Research results of influence of long-term (11 years) application of phosphorus fertilizers in combination with various doses of nitrogen and potassium fertilizers in the conditions of the Right-Bank Forest-steppe of Ukraine on crop productivity of field crop rotation are covered. The research was conducted in a stationary field experiment (No 87 registered by NAAS of Ukraine), which was located in the Right-Bank Forest-Steppe (Uman, Cherkasy region). Field crop rotation productivity was calculated as the sum of grain products and seed yields per yield of feed protein units (fp) from 1 ton of relevant products. It was believed that 1 ton of products contains, t fp: soybeans – 2.14, winter wheat – 1.15, maize – 1.06, spring barley – 1.01. According to the research, spring barley yield varied from 3.64 to 5.70 t/ha depending on the doses and combinations of fertilizers in the field crop rotation. Systematic application of complete mineral fertilizer in crop rotation increased grain yield by 1.95–2.06 t/ha depending on the dose. It should be noted that on average over the research years in $F_{on} + P_{60}$ experiment option there was only a slight (0.11 t/ha) increase in yield compared to $F_{on} + P_{30}$ option. That is, spring barley can effectively use the aftereffects of fertilizers applied under the precursor and does not require high doses of phosphorus fertilizers. Phosphorus fertilizers on a nitrogen-potassium background at a dose of 30 kg/ha of active ingredient increased the yield of winter wheat, maize, spring barley and soybeans by 9, 14, 9 and 7%, respectively, and crop rotation productivity in general – by 10%. A further increase in the dose of phosphorus fertilizers to P_{60} increased their yield by only 2–7%, and crop rotation productivity by only 6%. Phosphorus fertilizers on a nitrogen-potassium background ($N_{110}K_{80}$) at a dose of 30 kg/ha of active ingredient increase the yield of winter wheat, maize, spring barley and soybeans by 9, 14, 9 and 7%. And a further increase in their dose to 60 kg/ha of active ingredient, increased their yield by only 2–7%. The increase in crop productivity from phosphorus fertilizers applied in crop rotation at a dose of 30 kg/ha of active ingredient, against nitrogen-potassium background ($N_{110}K_{80}$) was 0.76 t fp/ha, or 10%, while from the next dose (P_{30}) – 0.47 t fp/ha, or 6%. Crops have different effects on the formation of crop rotation productivity in general – from 17.5% to 38.3% depending on the fertilizer. The use of phosphorus fertilizers on the nitrogen-potassium background increases the share of maize and reduces, respectively, spring barley and soybeans. To ensure the productivity of field crop rotation at the level of 8.1–8.5 tons of fp/ha, it is necessary to annually apply phosphorus fertilizers to crops at a dose of 30–60 kg/ha of active ingredient against the background of $N_{110}K_{80}$.

Key words: fertilizer system, phosphorus, soil, crop yield, crop rotation productivity.

ЗАБУР'ЯНЕНІСТЬ ПОСІВІВ ПШЕНИЦІ ОЗИМОЇ ЗАЛЕЖНО ВІД УМОВ ВИРОЩУВАННЯ В ПАРО-ЗЕРНО-ПРОСАПНІЙ СІВОЗМІНІ

Гутянський Роман Анатолійович

кандидат сільськогосподарських наук, старший науковий співробітник
Інститут рослинництва імені В.Я. Юр'єва Національної академії аграрних наук України,
м. Харків, Україна
ORCID: 0000-0002-5953-9428
rammale@ukr.net

Попов Сергій Іванович

доктор сільськогосподарських наук, професор
Інститут рослинництва імені В.Я. Юр'єва Національної академії аграрних наук України,
м. Харків, Україна
ORCID: 0000-0002-1101-4454
sergivpopov@gmail.com

Авраменко Сергій Володимирович

доктор сільськогосподарських наук, старший науковий співробітник
Інститут рослинництва імені В.Я. Юр'єва Національної академії аграрних наук України,
м. Харків, Україна
ORCID: 0000-0003-4737-8441
avsergiy1@gmail.com

Кузьменко Наталя Вікторівна

кандидат біологічних наук, старший науковий співробітник
Інститут рослинництва імені В.Я. Юр'єва Національної академії аграрних наук України,
м. Харків, Україна
ORCID: 0000-0002-4373-0666
kuz.n.v.1964@gmail.com

Бур'яни негативно впливають на рівень урожайності зерна пшениці озимої. Результативність обмеження росту і розвитку бур'янів у посівах можна досягти шляхом підбору сівозміни, попередника, способів основного обробітку ґрунту, системи удобрення та захисту від бур'янів. Метою статті було встановити вплив цих складових технологій вирощування пшениці озимої на забур'яненість її посівів. Забур'яненість посівів культури визначали шляхом проведення моніторингу розповсюдження бур'янів. За даними досліджень 2016–2018 рр. в агрофітоценозах пшениці озимої після чорного пару в умовах східної частини Лісостепу України виявлено 47 видів бур'янів і засмічувачів (ярих ранніх і пізніх – 47%, зимуючих, озимих і дворічних – 36%, багаторічних – 17%), а після гороху на зерно – 42 види (ярих ранніх і пізніх – 45%, зимуючих, озимих і дворічних – 38%, багаторічних – 17%). До категорії дуже широко поширених бур'янів у посівах культури після чорного пару увійшло 5 видів (*Setaria glauca*, *Echinochloa crus-galli*, *Chenopodium album*, *Solanum nigrum*, *Delphinium consolida*), а після гороху на зерно – 14 видів (*S. glauca*, *E. crus-galli*, *C. album*, *S. nigrum*, *Amaranthus retroflexus*, *Ambrosia artemisiifolia*, *Fallopia convolvulus*, *Polygonum aviculare*, *Capsella bursa-pastoris*, *D. consolida*, *Galium aparine*, *Viola arvensis*, *Cirsium arvense*, *Convolvulus arvensis*). Найбільшу кількість видів виявлено після чорного пару в контролі (оранка, без добрив) та після гороху на зерно за чизелювання (післядія 30 т/га гною + $N_{60}P_{60}K_{60}$). Гербіциди суттєво впливали на домінуючу роль окремих видів бур'янів. У посівах переважав дводольномалорічно-злаковооднорічно-коренепаростковий тип забур'яненості. При цьому на всіх досліджуваних варіантах рівень забур'яненості культури щорічно був вищий після гороху на зерно, ніж після чорного пару. Отримані дані дозволяють більш успішно контролювати бур'яни в посівах пшениці озимої.

Ключові слова: пшениця озима, бур'яни, сівозміна, обробіток ґрунту, добрива, гербіциди.

DOI <https://doi.org/10.32845/agrobio.2022.2.8>

Вступ. Пшениця озима (*Triticum aestivum* L.) – основна продовольча культура планети Земля. В Україні її вирощують для власних потреб і на експорт (Rozhkov & Ohurtsov, 2017). Бур'яни – один із факторів, який негативно впливає на вирощування цієї культури. Так, присутність *Convolvulus arvensis* L. впродовж вегетації пшениці озимої здатне зменшити її суху біомасу на 50%, а врожайність зерна – 54% (Cortés-Jiménez et al., 2021).

Забур'яненість посівів сільськогосподарських культур, у тому числі й пшениці озимої, залежить від багатьох факторів, серед яких система землеробства, структура сівозміни, спосіб обробітку ґрунту, попередник, система удобрення, біологічні властивості культури та особливості погодних умов протягом вегетаційного періоду. Крім того, суттєвий вплив на поширення бур'янів має поєднання цих чинників (Tsvey et al., 2018).

Кількісно-видовий склад бур'янів у посівах пшениці озимої суттєво залежить від географічного місця розташування поля. В умовах Західної Австралії встановлено вісім видів зимуючих і ярих бур'янів у посівах культури. Основні з них *Bromus diandrus* Roth, *Lolium rigidum* Gaud., *Hordeum leporinum* L., *Rumex hypogaeus* T.M.Schust. & Reveal, *Sonchus oleraceus* L. та *Polygonum aviculare* L. (Borger et al., 2020). У дослідженнях проведених у Республіці Македонія популяція бур'янів у посівах культури складалася переважно з однорічних озимих і ярих та деяких багаторічних бур'янів. Виділено такі види, як *Lolium perenne* L., *Avena ludoviciana* Dur., *Bifora radians* Bied. та *Polygonum convolvulus* L. (Pacanowski & Mehmeti, 2018). В умовах Причорномор'я України в посівах культури зареєстровано 40 видів бур'янів. Багаторічні коренепаросткові бур'яни були представлені п'ятьма видами: *Cirsium arvense* (L.) Scop., *C. arvensis*, *Lactuca tatarica* (L.) C.A. Mey, *Euphorbia virgata* Waldst. et Kit., *Sonchus arvensis* L. Невелику кількість становили ярі ранні бур'яни, із них дуже поширені – *P. aviculare*, *Fumaria officinalis* L., *Sinapis arvensis* L. Серед ярих пізніх видів найбільшу шкоду посівам завдавали *Chenopodium album* L., *Setaria* P.Beauv., *Amaranthus* L. (Krivenko et al., 2019).

Чималий вплив на забур'яненість посівів пшениці озимої має структура сівозміни. З'ясовано, що найкращий фітосанітарний стан посівів був за вирощування культури у зерно-паровій сівозміні з полем пару чорного та у сидеральних сівозмінах, які включали вирощування вики озимої або гороху й гречки білої з їх науково обґрунтованим насиченням, розміщенням і співвідношенням (Kovalenko & Al-Dzhanabi, 2016).

На забур'яненість посівів пшениці озимої суттєвий вплив має спосіб основного обробітку ґрунту. Виявлено, що частка зимуючих видів є більшою за оранки (51% від усього бур'янового ценозу), тоді як за безполицевого обробітку ґрунту домінують ярі (53%). При цьому частка багаторічних видів бур'янів за обох способів основного обробітку була однаковою (3%) (Maliienko & Zaiats, 2018).

Дослідження показують, що використання оранки сприяє появі меншої кількості бур'янів у посівах пшениці озимої, ніж застосування комбінованого обробітку ґрунту. Також використання оранки істотно знижує рясність *C. album*, *Galeopsis tetrahit* L., але посилювало ріст *Thlaspi arvense* L. та *C. arvensis*. Вирощування культури на неудобреному фоні посилює рясність *Stellaria media* (L.) Vill. та *P. aviculare* за комбінованого обробітку ґрунту (Tsvei et al., 2018).

Чисельне розпушування ґрунту в зрошуваних умовах Півдня України призводить до збільшення чисельності бур'янів у посівах пшениці озимої в 2,1 рази, а найбільшу їх кількість отримано за нульового обробітку. Відповідно до рівня забур'яненості формувалась і продуктивність рослин (Vozhegova et al., 2020). Водночас, у напівпосушливих богарних умовах Йорданії нульовий обробітку ґрунту є кращим для боротьби з бур'янами та підвищення врожайності зерна пшениці (Khalaf et al., 2021).

Забур'яненість пшениці озимої тісно пов'язана з культурою, яку вирощували в цьому полі в попередньому

році. Видова діагностика фітоценозу бур'янів у посівах культури після соняшнику показала домінування в агрофітоценозі амброзії полинолистої та падалиці соняшнику (Tkalic & Shevchenko, 2020). У посівах пшениці озимої після чистого пару найчисленнішими серед бур'янів були *Delphinium consolida* L., *F. Officinalis* та злакові просоподібні види, представлені *Echinochloa crus-galli* (L.) Roem. et Schult. та *Setaria glauca* (L.) Beauv. (Masliov et al., 2019).

Встановлено, що застосування оптимального попередника під пшеницю озиму дозволяє скоротити чисельність бур'янів щонайменше на 13–18,7% (Zabarna, 2018), а за іншими даними – на 41% (Krivenko et al., 2019).

За даними ДУ Інститут зернових культур НААН у посівах пшениці озимої по стерньовому та соняшниковому пару перед збиранням урожаю домінували злакові однорічні види, які краще проростали на ділянках без внесення азоту. Підживлення аміачною селітрою стимулювало проростання *C. album*. У кінці вегетації на природному фоні (післяжнивні рештки) рівень забур'янення посівів перевищував показники удобрених варіантів (післяжнивні рештки + туки) по кількості на 30–46%, по масі – на 22–24% (Sudak et al., 2018).

У зоні недостатнього зволоження Лівобережного Лісостепу України використання мінеральних добрив на фоні післядії органічної системи удобрення (гною та післяжнивних решток під пшеницю озиму) істотно знижувало забур'яненість посівів. Застосування оранки у сівозміні під посів культури збільшувало видовий склад бур'янів (Levchenko, 2019). Інші автори також відмічають, що внесення мінеральних добрив істотно зменшувало чисельність бур'янів у посівах пшениці озимої на початок відновлення вегетації та їх масу на момент збирання врожаю (Tsvei et al., 2020).

Розглядаючи біологічні властивості сільськогосподарських культур слід зауважити, що у посівах озимих зернових частота появи зимуючих бур'янів становить 93% (Kurdiukova & Tyshchuk, 2018). В агроценозі пшениці озимої зимуючі види становлять 50–74% (Shpyrka et al., 2018).

Великий вплив на формування видового складу бур'янів у посівах пшениці озимої мають гідротермічні умови. Так, більша кількість видів у посівах відмічається в роки із оптимальним вологозабезпеченням на початку вегетації рослин (Zabarna, 2019). Проте у Північному Степу України у посушливі роки, особливо після непарових попередників, забур'яненість посівів культури також підвищується (Matiukha, 2021). Водночас, культура в умовах нестійкого зволоження здатна формувати більш щільний та потужний стеблостій, який ефективно гальмує розвиток бур'янів (Chuhrii, 2020).

Отже, як показують дослідження, для успішного контролювання бур'янів у посівах пшениці озимої потрібно мати достатню інформацію щодо їх складу. Доцільність та необхідність збору такої інформації є актуальною для будь-якого регіону України. З огляду на це, метою наших досліджень було встановити вплив попередників, способів основного обробітку ґрунту, системи удобрення та захисту на забур'яненість посівів пшениці озимої в умовах східної частини Лісостепу України.

Матеріали і методи досліджень. Дослідження проводили в стаціонарній паро-зерно-просапній сівозміні відділу рослинництва та сортовивчення Інституту рослинництва ім. В. Я. Юр'єва НААН протягом 2016–2018 рр. Схема чергування культур сівозміни: чорний пар – пшениця озима – буряки цукрові – ярі зернові колосові – горох на зерно – пшениця озима – кукурудза на зерно $\frac{1}{2}$ + соя $\frac{1}{2}$ – ярі зернові колосові – соняшник. У сівозміні ділянки першого порядку включали внесення органічних і мінеральних добрив; ділянки другого порядку – способи основного обробітку ґрунту в сівозміні.

Схема досліду включала варіанти: 1 – без добрив (контроль) – агрофон, що утворився за рахунок чергування культур сівозміни; 2 – органічний фон (внесення гною 30 т/га під кукурудзу та в полі чорного пару, що склало 6,6 т гною на 1 га сівозмінної площі); 3 – органічно-мінеральний фон (післядія гною + $N_{30}P_{30}K_{30}$); 4, 5 – органічно-мінеральний інтенсивний фон (післядія гною + $N_{60}P_{60}K_{60}$). На варіантах 1–4 добрива вносили під оранку, а на варіанті 5 – під безпліцевий обробіток ґрунту (чизелювання).

Система захисту посівів пшениці озимої від бур'янів на основі гербіцидів в роки досліджень була наступною: 2016 р. – Калібр 75 (трибенурон-метил, 250 г/кг + тифенсульфурон-метил, 500 г/кг), 60 г/га + поверхнево-активна речовина (надалі – ПАР) Тренд 90 (етоксилат ізодецилового спирту, 900 г/л), 0,2 л/га (у фазу трубкування); 2017 р. – Гранстар Голд 75 (трибенурон-метил, 562,5 г/кг + тифенсульфурон-метил, 187,5 г/кг), 35 г/га + ПАР Тренд 90, 0,2 л/га (перед появою прапорцевого листка); 2018 р. – Голд Стар Екстра (компонент А – гербіцид Голд Стар (трибенурон-метил, 750 г/кг) + компонент Б – гербіцид Формула (тифенсульфурон-метил, 750 г/кг), 35 г/га + ПАР Тандем (суміш поверхнево-активних речовин), 0,3 л/га (у фазу трубкування).

Метеорологічні умови протягом весняно-літнього періоду за роками були неоднорідними. Загальна сума опадів за квітень–липень в 2016, 2017 і 2018 рр. становила відповідно 306, 127 і 101 мм (середній багаторічний показник – 215 мм), а середньодобова температура повітря за цей період – 18,7; 16,8 і 19,3 °С (середній багаторічний показник – 16,2 °С).

Обстеження посівів пшениці озимої на забур'яненість проводили одночасно на всіх варіантах (у другій половині вегетації культури) за раніше розробленою методикою (Zuza & Hutianskyi, 2012). Зокрема, для кожного варіанту було виділено окремий бланк, в який після обстеження заносили виявлені види бур'янів і засмічувачів (включаючи падалицю з насіння польових культур). При цьому бур'янові рослини розділяли на три групи: перша – ярі ранні та пізні; друга – зимуючі, озимі та дворічні; третя – багаторічні. Також, відмічали домінуючі та субдомінуючі види. Домінантна роль кожного виду оцінювалась окомірно, виходячи з його частки у формуванні загальної маси сегетального угруповання на варіанті. Домінуючими вважались ті види, маса яких перевищувала 10 % загальної маси усіх бур'янових рослин, а субдомінуючими – відповідно 3–10 %.

При визначенні типу забур'яненості в його назві на перше місце ставили ту групу, яка була найбільше пред-

ставлена в загальній масі бур'янових рослин, а на друге чи третє – групи у відповідності з їх участю в сегетальному угрупованні. Рівень забур'яненості на кожному варіанті визначали за питомою часткою бур'янових рослин у загальній масі агрофітоценозу: до 1 % – дуже слабкий; 1–5 % – слабкий; 6–15 % – середній; 16–45 % – сильний; більше 45 % – дуже сильний.

Результати. У посівах пшениці озимої після чорного пару виявлено 47 видів бур'янів і засмічувачів, а після гороху на зерно – 42 види. При цьому видовий склад бур'янів після обох попередників включав: *S. glauca*, *Setaria viridis* (L.) Beauv., *E. crus-galli*, *C. album*, *Amaranthus retroflexus* L., *Solanum nigrum* L., *Portulaca oleracea* L., *G. tetrahit*, *F. officinalis*, *Ambrosia artemisiifolia* L., *Polygonum lapathifolium* L., *Stachys annua* L., *Fallopia convolvulus* (L.) A. Love, *Xanthium strumarium* L., *Cyclachaena xanthifolia* (Nutt.) Fresen., *Malva neglecta* Wallr., *P. aviculare*, *Avena fatua* L., *Lactuca serriola* L., *Capsella bursa-pastoris* (L.) Medik., *D. consolida*, *Galium aparine* L., *Matricaria inodora* L., *Sisymbrium Loeselii* L., *T. arvense*, *Viola arvensis* Murr., *Erigeron canadensis* L., *Crepis tectorum* L., *Melandrium album* (Mill.) Garcke, *Medicago lupulina* L., *Descurainia Sophia* (L.) Webb ex Prantl., *C. arvense*, *C. arvensis*, *Chamaenerion angustifolium* (L.) Scop., *Ajuga genevensis* L. Крім того, в посівах пшениці озимої після чорного пару були виявлені *S. arvensis*, *Galinsoga parviflora* Cav., *Cannabis ruderalis* Janisch., *Helianthus annua* L., *Carduus acanthoides* (L.) Pall., *Onopordum acanthium* L., *Gypsophyla muralis* L., *Buglossoides arvensis* (L.) I.M. Johnst., *Artemisia absinthium* L., *Taraxacum officinale* Web. et Wigg., *E. virgata*, *Rumex crispus* L., а після гороху на зерно – *Chenopodium hybridum* L., *Senecio vernalis* Waldst. et Kit., *Vicia villosa* Roth., *Triticosecale* (Winter) Witt., *S. arvensis*, *Plantago major* L., *Artemisia vulgaris* L.

Розподіл сегетальної рослинності за трьома групами показав, що в посівах пшениці озимої після чорного пару до першої групи увійшло 22 види або 47% від загальної кількості видів: *S. glauca*, *S. viridis*, *E. crus-galli*, *S. arvensis*, *C. album*, *A. retroflexus*, *S. nigrum*, *P. oleracea*, *G. tetrahit*, *F. officinalis*, *A. artemisiifolia*, *P. lapathifolium*, *S. annua*, *F. convolvulus*, *X. strumarium*, *C. xanthifolia*, *M. neglecta*, *P. aviculare*, *A. fatua*, *G. parviflora*, *C. ruderalis*, *H. annua*. До другої та третьої групи бур'янових рослин було віднесено відповідно: 17 видів або 36% (*L. serriola*, *C. bursa-pastoris*, *D. consolida*, *G. aparine*, *M. inodora*, *S. Loeselii*, *T. arvense*, *V. arvensis*, *E. canadensis*, *C. tectorum*, *M. album*, *C. acanthoides*, *M. lupulina*, *O. acanthium*, *G. muralis*, *B. arvensis*, *D. Sophia*) та 8 видів або 17% (*C. arvense*, *C. arvensis*, *A. absinthium*, *C. angustifolium*, *A. genevensis*, *T. officinale*, *E. virgata*, *R. crispus*).

Першу групу бур'янових рослин у посівах пшениці озимої після гороху на зерно представляли 19 видів або 45%: *S. glauca*, *S. viridis*, *E. crus-galli*, *C. album*, *C. hybridum*, *A. retroflexus*, *S. nigrum*, *P. oleracea*, *G. tetrahit*, *F. officinalis*, *A. artemisiifolia*, *P. lapathifolium*, *S. annua*, *F. convolvulus*, *X. strumarium*, *C. xanthifolia*, *M. neglecta*, *P. aviculare*, *A. fatua*. Другу та третю групи бур'янових рослин представляли відповідно: 16 видів або 38% (*L. serriola*, *C. bursa-pastoris*, *D. consolida*, *G. aparine*,

M. inodora, S. vernalis, S. Loeselii, T. arvense, V. arvensis, E. canadensis, C. tectorum, M. album, C. acanthoides, M. lupulina, D. Sophia, V. villosa, Triticosecale) та 7 видів або 17% (*C. arvense, S. arvensis, C. arvensis, P. major, A. vulgaris, C. angustifolium, A. genevensis*).

Виявлено, що найбільша кількість видів бур'янових рослин у посівах пшениці озимої після чорного пару була в контролі (варіант 1), а після гороху на зерно – за безполицевого способу основного обробітку ґрунту (варіант 5). Так, у варіантах 1, 2, 3, 4 і 5 після чорного пару виявлено відповідно 35, 28, 31, 26 і 28 видів бур'янів, а після гороху на зерно – 31, 30, 31, 32 і 37 видів.

У табл. 1 узагальнено результати трирічних досліджень, де показано основні видів бур'янів, які за часткою трапляння віднесені до дуже широко поширених видів (76–100% трапляння виду) у посівах пшениці озимої. Зокрема до даної категорії бур'янів у посівах культури після чорного пару увійшло 5 видів (*S. glauca, E. crus-galli, C. album, S. nigrum, D. consolida*), а після гороху на зерно – 14 видів (*S. glauca, E. crus-galli, C. album, S. nigrum, A. retroflexus, A. artemisiifolia, F. convolvulus, P. aviculare, C. bursa-pastoris, D. consolida, G. aparine, V. arvensis, C. arvense, C. arvensis*). Серед основних видів бур'янів на всіх попередниках і варіантах щорічно були присутні *E. crus-galli* та *S. nigrum*.

Домінування та субдомінування окремих видів бур'янових рослин у посівах пшениці озимої, головним чином,

залежало від системи захисту від бур'янів. Так, післясходові гербіциди Калібр 75, Гранстар Голд 75 і Голд Стар Екстра, які застосовували в посівах культури в різні роки досліджень, призначені для контролювання дводольних бур'янів. Тому до цих гербіцидів виявили стійкість всі злакові бур'яни (*S. glauca, S. viridis, E. crus-galli, A. fatua*), які були присутні у посівах пшениці озимої. Крім того, стійка до них *F. officinalis*. Також, середньочутливими бур'янами до цих гербіцидів є *A. artemisiifolia, S. nigrum, V. arvensis, G. aparine*. Недостатня ефективність зазначених препаратів на *C. album, D. consolida, F. convolvulus* та *C. arvense* вірогідно пов'язана з пізнім їх внесенням (перед появою прапорцевого листка).

Якщо розглядати домінуючу роль окремих видів бур'янових рослин за варіантами, то за цим показником у контролях без добрив було більше *S. glauca, D. consolida* та *C. arvense*, ніж на інших удобрених варіантах.

Встановлено, що в посівах пшениці озимої впродовж 2016–2018 рр. досліджень формувалось 5 типів забур'яненості, з яких переважав – дводольномалорічно-злаковооднорічно-коренепаростковий тип:

- 1) дводольномалорічно-злаковооднорічно-коренепаростковий (виявлено на 59% варіантів);
- 2) злаковооднорічно-дводольномалорічно-коренепаростковий (на 7%);
- 3) дводольномалорічно-коренепаростково-злаковооднорічний (на 17%);

Таблиця 1

Видовий склад, домінуюча роль та частка трапляння основних бур'янів у посівах пшениці озимої залежно від попередника, основного обробітку ґрунту та добрив (зведені дані за 2016–2018 рр.)

| Види бур'янів | Варіант | | | | | | | | | | | | | | | Частка трапляння, % |
|--------------------------------|---------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---------------------|
| | 1 | | | 2 | | | 3 | | | 4 | | | 5 | | | |
| | д | с | п | д | с | п | д | с | п | д | с | п | д | с | п | |
| Попередник – чорний пар | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Setaria glauca</i> | 2 | 1 | 3 | – | 2 | 3 | – | 1 | 3 | – | 1 | 2 | – | 2 | 3 | 93 |
| <i>Echinochloa crus-galli</i> | – | 1 | 3 | – | 1 | 3 | – | 1 | 3 | 1 | – | 3 | 1 | 1 | 3 | 100 |
| <i>Chenopodium album</i> | – | 2 | 3 | – | 1 | 3 | 1 | – | 2 | 1 | – | 3 | 1 | – | 3 | 93 |
| <i>Solanum nigrum</i> | – | 2 | 3 | 1 | 1 | 3 | 1 | 1 | 3 | 1 | 1 | 3 | 1 | – | 3 | 100 |
| <i>Delphinium consolida</i> | 1 | 1 | 3 | – | – | 3 | – | – | 3 | – | – | 1 | – | – | 2 | 80 |
| Попередник – горох на зерно | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Setaria glauca</i> | 2 | 1 | 3 | – | 3 | 3 | 1 | 1 | 2 | – | 2 | 2 | 1 | 2 | 3 | 93 |
| <i>Echinochloa crus-galli</i> | – | – | 3 | – | – | 3 | – | – | 2 | – | – | 3 | – | – | 3 | 100 |
| <i>Chenopodium album</i> | – | 1 | 3 | – | – | 2 | – | 1 | 1 | – | 2 | 3 | 1 | 1 | 3 | 86 |
| <i>Amaranthus retroflexus</i> | – | 1 | 2 | – | 1 | 3 | – | – | 2 | – | 1 | 3 | – | – | 3 | 93 |
| <i>Solanum nigrum</i> | – | 1 | 3 | – | – | 3 | – | 1 | 2 | 1 | – | 3 | 1 | – | 3 | 100 |
| <i>Ambrosia artemisiifolia</i> | 1 | – | 3 | – | – | 3 | – | – | 2 | – | – | 3 | – | 2 | 3 | 100 |
| <i>Fallopia convolvulus</i> | – | 1 | 3 | 1 | – | 3 | 1 | – | 2 | 1 | 1 | 3 | 1 | 1 | 3 | 100 |
| <i>Polygonum aviculare</i> | – | – | 3 | – | – | 2 | – | – | 1 | – | – | 2 | – | – | 3 | 79 |
| <i>Capsella bursa-pastoris</i> | – | – | 3 | – | 1 | 3 | – | – | 2 | – | – | 3 | – | – | 3 | 100 |
| <i>Delphinium consolida</i> | – | – | 3 | – | – | 3 | – | – | 2 | – | – | 3 | – | – | 3 | 100 |
| <i>Galium aparine</i> | – | 1 | 2 | – | 2 | 2 | – | 1 | 2 | 1 | 1 | 3 | 1 | – | 2 | 79 |
| <i>Viola arvensis</i> | 1 | – | 3 | 1 | – | 3 | 1 | – | 1 | 1 | – | 3 | 1 | – | 3 | 93 |
| <i>Cirsium arvense</i> | 1 | 2 | 3 | 1 | – | 3 | – | 1 | 2 | – | 2 | 2 | – | 1 | 3 | 93 |
| <i>Convolvulus arvensis</i> | – | – | 2 | – | – | 2 | – | – | 1 | – | – | 3 | – | – | 3 | 79 |

Примітка. Домінування (д), субдомінування (с) та присутність (п) бур'янових рослин у посівах пшениці озимої впродовж: 1 – одного року; 2 – двох років; 3 – трьох років досліджень. «–» – вид не мав домінуючого або субдомінуючого впливу.

4) злаковооднорічно-коренепаростково-дводольно-малорічний (на 3%);

5) дводольномалорічно-злаковооднорічний (на 14%).

Тип і рівень забур'яненості посівів пшениці озимої залежав від попередника, досліджуваного варіанту та метеорологічних умов року. Так, у добре забезпеченому вологою 2016 р. на всіх варіантах досліді після чорного пару сформувався дводольномалорічно-злаковооднорічно-коренепаростковий тип забур'яненості, а після гороху на зерно – дводольномалорічно-коренепаростково-злаковооднорічний. Рівень забур'яненості культури в зазначений рік після чорного пару був сильний (варіанти 1–3) і дуже сильний (варіанти 4–5), а після гороху на зерно – дуже сильний. У посушливому 2017 р. після чорного пару (варіанти 1–2, 5) і на всіх варіантах гороху на зерно утворився дводольномалорічно-злаковооднорічно-коренепаростковий тип забур'яненості, а на інших – злаковооднорічно-дводольномалорічно-коренепаростковий. В цей рік рівень забур'яненості після чорного пару та гороху на зерно на варіанті 1 був відповідно середній і сильний, у варіантах 2–4 – дуже слабкий і середній, у варіанті 5 – слабкий і сильний. У найменш забезпеченому вологою 2018 р. після чорного пару на контрольному варіанті сформувався дводольномалорічно-злаковооднорічно-коренепаростковий тип забур'яненості, в інших варіантах – дводольномалорічно-злаковооднорічний, тоді як після гороху на зерно відповідно злаковооднорічно-коренепаростково-дводольномалорічний та дводольномалорічно-злаковооднорічно-коренепаростковий типи забур'яненості. Рівень забур'яненості культури після чорного пару на варіантах 1–4 і 5 був відповідно слабкий і сильний, а після гороху на зерно – середній і сильний. У цілому, рівень забур'яненості пшениці озимої після гороху на зерно щорічно був вищий на всіх варіантах, ніж після чорного пару.

Обговорення. Для кожного регіону України характерний свій видовий склад бур'янів у посівах пшениці озимої. У Лісостепу в агрофітоценозі культури переважають такі види, як *C. bursa-pastoris*, *G. aparine*, *Veronica hederifolia* L., *Apera spica-venti* L., *Elytrigia repens* (L.) Nevski. (Tanchuk & Shpyrka, 2012). На полях СТОВ «Поділля» Вінницької області найбільш поширеними бур'янами в посівах культури були *T. arvense*, *Matricaria perforata* Merat, *Centaurea cyanus* L., *Papaver rhoeas* L., *G. aparine*, *S. media*, *Raphanus raphanistrum* L., *S. arvensis*, *C. arvensis*, *S. arvensis*, *C. arvense*, *E. repens* (Mandryk, 2013). В умовах Західного Лісостепу найчастіше у посівах культури зустрічаються *A. spica-venti*, *M. inodora*, *P. rhoeas*, *Myosotis arvensis* (L.) Hill, *C. arvense* (Ivaniuk, 2017). У північно-західній частині Правобережного Лісостепу посіви культури характеризуються наявністю *G. aparine*, *T. arvense*, *V. arvensis*, *E. repens*, *S. glauca* (Leshyn, 2012). В умовах Дніпропетровської області культуру засмічують переважно *D. Sophia*, *T. arvense*, *C. bursa-pastoris*, *A. artemisiifolia*, *C. album*, *F. convolvulus*, *S. glauca*, *S. viridis*, *C. arvensis*, *L. tatarica*, *C. arvense* (Matiukha, 2012). Отже, видовий склад основних бур'янів у посівах пшениці озимої в нашій зоні дещо відрізняється від інших регіонів України, але є спільні види – *S. glauca*, *C. album*, *C. bursa-pastoris*, *G. aparine*, *C. arvense*, *C. arvensis*.

Згідно аналізу даних вітчизняних досліджень щодо розміщення пшениці озимої після попередників чорний пар і горох на зерно, виявлено певну різницю між ними за показниками забур'яненості. Так, в умовах Степу України в посівах культури по чистому пару домінували однорічні злакові та *A. artemisiifolia* (Tsyliuryk, 2009). А за використання раннього пару під культуру в Степу підвищувалась забур'яненість посівів багаторічними бур'янами та тією ж *A. artemisiifolia* (Tsyliuryk, 2010). При цьому забур'яненість посівів пшениці озимої після гороху включає *F. officinalis*, *D. Sophia*, *T. arvense*, *G. tetrahit*, *P. laphthifolium*, *C. album*, *F. convolvulus*, *M. neglecta*, *G. aparine*. За іншими даними останній вид у посівах культури після гороху найбільш поширений (30%) (Moldovan, 2013).

Дослідження проведені в Київській області свідчать, що в посівах пшениці озимої після всіх попередників, у тому числі й після гороху, найпоширенішими були зимуючі бур'яни (69,0–81,1%). Частка ярих видів становила 14,0–24,5%, а багаторічних 2,2–3,6% (Tanchuk et al., 2015). Порівнюючи наведені дані з результатами власних досліджень слід відмітити, що частка трапляння *A. artemisiifolia* в наших посівах культури після гороху на зерно була вищою, ніж після чорного пару. Видовий склад бур'янів у посівах культури після гороху на зерно в наших дослідженнях був близьким до вище наведеного. У наших дослідженнях частка ярих видів переважала частку зимуючих видів.

Способи обробітку ґрунту, як показують дослідження, впливають на забур'яненість посівів пшениці озимої. В умовах зони достатнього зволоження Північного Лісостепу України застосування мілкого дискового, чизельного та плоскорізного обробітку ґрунту призводить до інтенсивного забур'янення посівів порівняно з оранкою (Sham et al., 2011). В Інституті біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН також спостерігали більшу забур'яненість озимини після плоскорізного та мілкого обробітку ґрунту, ніж після оранки (Tsvei & Voichuk, 2012). Наші дослідження щодо забур'яненості посівів пшениці озимої також засвідчують перевагу оранки над чизелюванням.

Систематичне застосування в посівах пшениці озимої гербіцидів для знищення дводольних бур'янів створює кращі умови для розвитку і розмноження злакових (одnodольних) їх видів (Vykhovanets, 2013; Kkalich et al., 2014; Hutianskyi, 2019). Унаслідок цього, як показують наші теперішні дослідження, посіви культури масово забур'янюються злаковими бур'янами.

Висновки. У посівах пшениці озимої після чорного пару формувалася ширший видовий склад бур'янових рослин (47 видів), ніж після гороху на зерно (42 види). Проте, до основних бур'янів у посівах культури після чорного пару увійшло лише 5 видів, а після гороху на зерно – 14 видів. Найбільше видів виявлено після чорного пару в контролі (оранка, без добрив) та після гороху на зерно за чизелювання (післядія 30 т/га гною + $N_{60}P_{60}K_{60}$). Рівень забур'яненості пшениці озимої після гороху на зерно щорічно був вищий, ніж після чорного пару, що слід враховувати за розробки систем захисту культури від бур'янів. У подальшому необхідно більш ретельно вивчити вплив різних доз добрив на забур'яненість посівів культури за вирощування в паро-зерно-просапній сівозміні.

Бібліографічні посилання:

1. Borger, Catherine P. D.; Hashem, Abul & Gill, Gurjeet S. (2020). Comparison of growth, survivorship, seed production and shedding of eight weed species in a wheat crop in Western Australia. *Weed Research*, 60, 6, 415–424. doi: 10.1111/wre.12444
2. Chuhrii, H. A. (2020). Otsinka efektyvnosti vyroshchuvannya pshenytsi ozymoi za troma tekhnolohiiamy: intensyvnoiu, orhano-adaptyvnoiu ta orhanichnoiu [Evaluation of the effectiveness of growing winter wheat by three technologies: intensive, organo-adaptive and organic]. *Tavriiskyi naukovyi visnyk*, 112, 166–173 doi: 10.32851/2226-0099.2020.112.24 (in Ukrainian).
3. Cortés-Jiménez, Juan Manuel; Ortiz-Avalos, Alma Angélica; Fuentes-Dávila, Guillermo; Rosas-Jáuregui, Ivón Alejandra & Félix-Fuentes, José Luis (2021). Effect of *Convolvulus arvensis* on yield components of durum wheat in an organic production system in the Yaqui Valley, Sonora, Mexico. *Annual Wheat Newsletter*, 67, 47–51.
4. Hutianskyi, R. A. (2019). Zaburianenist ta vrozhaunist ekstremalno piznykh posiviv pshenytsi ozymoi zalezho vid zernobobovoho poperednyka, herbicydu ta rehuliatora rostu roslyn [Weediness and yield of extremely late winter wheat crops depending on grain leguminous forecrop, herbicide and plant growth regulator]. *Zbirnyk naukovykh prats Natsionalnoho naukovooho tsentru «Instytut zemlerobstva NAAN»*, 3–4, 26–39 (in Ukrainian).
5. Ivaniuk, V. (2017). Osoblyvosti zaburianennia pshenytsi ozymoi za vyroshchuvannya yii bezzminno ta v sivozmini [Peculiarities of weeding of winter wheat by growing its in monocrop and in crop rotation]. *Visnyk Lvivskoho natsionalnoho ahrarnoho universytetu. Ahronomiia*, 21, 43–48 (in Ukrainian).
6. Khalaf, Y. Bani, Aldahadha, A., Samarah, N., Migdadi, O. & Musallam, I. (2021). Effect of zero tillage and different weeding methods on grain yield of durum wheat in semi-arid regions. *Agronomy Research*, 19(1), 13–27, doi: 10.15159/AR.20.236
7. Kovalenko, N. P. & Al-Dzhanabi, K. T. B. (2016). Vplyv system osnovnoho obrobitku gruntu na zaburianenist posiviv pshenytsi ozymoi v korotkorotatsiinykh sivozminakh Pivdennoho Stepu Ukrainy [Influence of basic tillage systems on weediness of winter wheat crops in short crop rotations of the Southern Steppe of Ukraine]. *Biuletyn Instytutu silskoho hospodarstva stepovoi zony NAAN Ukrainy*, 10, 53–57 (in Ukrainian).
8. Krivenko, A. I., Pochkolina, S. V. & Bezedi, N. G. (2019). Vydovyi sklad burianiv ta zaburianenist posiviv pshenytsi ozymoi zalezho vid poperednykiv ta riznykh system osnovnoho obrobitku gruntu v umovakh Prychornomia [Weeds species and weediness in winter wheat crops depending on predecessors and different systems of basic soil tillage in the Black Sea Steppe Region]. *Tavriiskyi naukovyi visnyk*, 108, 53–62 doi: 10.32851/2226-0099.2019.108.8 (in Ukrainian).
9. Kurdiukova, O. M. & Tyshchuk, O. P. (2018). Zymuiuchi buriany ta osoblyvosti udoskonalennia systemy yikh kontroliu v posivakh [Wintering weeds and features of improving the system of their control in crops]. *Karantyn i zakhyst roslyn*, 4–5, 5–7 (in Ukrainian).
10. Lenshyn, O. H. (2012). Zaburianenist pshenytsi ozymoi v korotkorotatsiinii sivozmini [Contamination of winter wheat in short crop rotation]. *Karantyn i zakhyst roslyn*, 2, 17–19 (in Ukrainian).
11. Levchenko, L. M. (2019). Zalezho zaburianenosti pshenytsi ozymoi vid systemy obrobitku gruntu v korotkorotatsiinii sivozmini [Dependence of winter wheat weeding on soil tillage in short crop rotation]. *Naukovi pratsi Instytutu bioenerhetychnykh kultur i tsukrovykh buriakiv*, 27, 18–24 doi: 10.47414/np.27.2019.211078 (in Ukrainian).
12. Maliienko, A. M. & Zaiats, P. S. (2018). Produktyvnist pshenytsi ozymoi pry optymizatsii strokiv ta doz zastosuvannya herbicydu za riznykh sposobiv osnovnoho obrobitku gruntu v Lisostepu [Productivity of winter wheat during the optimization of terms and doses of herbicide application under different methods of main soil tillage in the forest-steppe.]. *Zbirnyk naukovykh prats NNTs «Instytut zemlerobstva NAAN»*, 1, 33–43 (in Ukrainian).
13. Mandryk, I. A. (2013). Rozrobka zakhodiv po rehulivanniu chyselnosti burianiv u posivakh ozymoi pshenytsi [Development of measures to control the number of weeds in winter wheat crops]. *Kormy i kormovyrobnytstvo*, 75, 144–149 (in Ukrainian).
14. Masliiov, S. V., Yarchuk, I. I., Beseda, O. O. & Khvorostian, O. V. (2019). Vyznachennia ahrofitosenozu burianiv u suchasnykh tekhnolohiakh vyroshchuvannya pshenytsi ozymoi [Determination of agrophytocenosis of weeds in modern technologies of winter wheat cultivation]. *Karantyn i zakhyst roslyn*, 11–12 (258), 1–4 doi: 10.36495/2312-0614.2019.11-12.1-4 (in Ukrainian).
15. Matiukha, V. L. (2012). Ekonomichniy porih shkodochynnosti burianiv [Economic threshold of harmfulness of weeds]. *Karantyn i zakhyst roslyn*, 1, 1–3 (in Ukrainian).
16. Matiukha, V. L. (2021). Tekhnichna efektyvnist bakovykh sumishei herbicydiv u posivakh pshenytsi ozymoi pislia neparovykh poperednykiv v umovakh Pivnichnoho Stepu Ukrainy [Technical efficiency of tank mixtures of herbicides in crops of winter wheat after non-fallow predecessors in the conditions of the Northern Steppe of Ukraine]. *Karantyn i zakhyst roslyn*, 1 (264), 19–24 doi: 10.36495/2312-0614.2021.1.19-24 (in Ukrainian).
17. Moldovan, V. H. (2013). Fitosanitarnyi stan posiviv pshenytsi ozymoi zalezho vid sivozminnoho chynnyka ta system udobrennia [Phyosanitary state of winter wheat crops depending on the crop rotation factor and fertilization systems]. *Karantyn i zakhyst roslyn*, 2, 4–6 (in Ukrainian).
18. Pacanoski, Z. & Mehmeti, A. (2018). POST herbicide programme for effective weed control in winter wheat (*Triticum aestivum* L.). *Agronomy Research*, 16(4), 1796–1808. doi: 10.15159/AR.18.177
19. Rozhkov, A.O. & Ohurtsov, Ye.M. (2017). Roslynnytstvo [Plant production]. Kharkiv: Team Publish Group, 363 [in Ukrainian].
20. Sham, I. V. (2011). Formuvannya zaburianenosti posiviv pshenytsi ozymoi zernoprosapnoi sivozminy [Formation of weediness of winter wheat crops of grain-row crop rotation]. *Karantyn i zakhyst roslyn*, 10, 3–4 (in Ukrainian).
21. Sham, I. V., Remeniuk, Yu. O. & Makukh, Ya. P. (2011). Vplyv system obrobitku gruntu v sivozmini na zaburianenist i produktyvnist posiviv ozymoi pshenytsi [The influence of tillage systems in crop rotation on weediness and productivity of winter wheat crops]. *Karantyn i zakhyst roslyn*, 3, 7–9 (in Ukrainian).
22. Shpyrka, N. F., Tanchyk S. P. & Pavlov O. S. (2018). Zaburianenist posiviv pshenytsi ozymoi za riznykh system zemlerobstva v Pravoberezhnomu Lisostepu Ukrainy [Weediness of winter wheat crops under different farming systems in

the Right Bank Forest Steppe of Ukraine]. Zbirnyk naukovykh prats «Naukovyi visnyk NUBiP Ukrainy. Seriya: Ahronomiia», 286, 120–128 (in Ukrainian).

23. Sudak, V. M., Horbatenko, A. I. & Matiukha, V. L. (2018). Intehrovanyi kontrol burianiv pry vyroshchuvanni pshe-nytsi ozymoi po chystomu paru [Integrated control of weeds during the cultivation of winter wheat on fallow. Cereal crops.]. Zernovi kultury, 1, 2, 123–131 doi: 10.31867/2523-4544/0017 (in Ukrainian).

24. Tanchyk, S. P. & Shpyrka, O. M. (2012). Herbitsydy u posivakh pshe-nytsi ozymoi [Herbicides in winter wheat crops]. Karantyn i zakhyst roslyn, 12, 17–18 (in Ukrainian).

25. Tanchyk, S. P., Pavlov, O. S. & Palamarchuk, O. M. (2015). Vplyv poperednykiv ta norm vysivu nasinnia na aktualnu zaburianenist i vrozhainist pshe-nytsi ozymoi v Pravoberezhnomu Lisostepu Ukrainy [The influence of predecessors and seed sowing rates on actual weediness and yield of winter wheat in the Right Bank Forest Steppe of Ukraine]. Naukovi pratsi Instytutu bioenerhetychnykh kultur i tsukrovykh buriakiv, 23, 133–138 (in Ukrainian).

26. Tkalych, Yu. I. & Shevchenko, S. M. (2020). Osoblyvosti zakhystu posiviv pshe-nytsi ozymoi vid burianiv u sivozmini pislia soniashnyku [Features of protection of winter wheat crops from weeds in crop rotation after sunflower]. Karantyn i zakhyst roslyn, (2-3), 45–49 doi: 10.36495/2312-0614.2020.2-3.45-49 (in Ukrainian).

27. Tkalych, Yu. I., Matiukha, V. L. & Bokun, O. I. (2014). Zakhyst posiviv ozymoi pshe-nytsi vid burianiv na chornozemakh zvychaynykh Pivnichnoho Stepu Ukrainy [Protection of winter wheat crops against weeds on ordinary chernozems of the northern steppe of Ukraine]. Naukovi pratsi Instytutu bioenerhetychnykh kultur i tsukrovykh buriakiv, 20, 116–120 (in Ukrainian).

28. Tsvei, Ya. P., Ivanina, R. V. & Dubovyi, Yu. P. (2020). Ekolohichne kontroliuvannya chyselnosti burianiv u posivakh pshe-nytsi ozymoi [Ecological control of the number of weeds in winter wheat crops]. Karantyn i zakhyst roslyn, 1, 16–19. doi: 10.36495/2312-0614.2020.01.16-19 (in Ukrainian).

29. Tsvei, Ya. P. & Boichuk, O. V. (2012). Obrobitor gruntu i zaburianenist posiviv pshe-nytsi ozymoi [Tillage and weediness of winter wheat crops. Quarantine and plant protection]. Karantyn i zakhyst roslyn, 8, 4–6 (in Ukrainian).

30. Tsvei, Ya. P., Myroshnychenko, M. S. & Levchenko, L. M. (2018). Zaburianenist pshe-nytsi ozymoi zalezho vid obrobittu gruntu i systemy udobrennia [Contamination of winter wheat depending on tillage and fertilization system]. Naukovi pratsi Instytutu bioenerhetychnykh kultur i tsukrovykh buriakiv, 26, 21–27 (in Ukrainian).

31. Tsvey, Ya. P., Tyshchenko, M. V. & Filonenko, S. V. (2018). Monitorynh zaburianenosti posiviv silskohospodarskykh kul-tur u lantsi zernoburiakovoivo sivozminy u vyrobnychykh umovakh [Monitoring of weediness of agricultural crops in the line of grain-beet rotation in production conditions]. Visnyk Poltavskoi derzhavnoi ahrarnoi akademii, 1, 23–30 doi: 10.31210/visnyk2018.01.03 (in Ukrainian).

32. Tsyliuryk, O. I. (2009). Zaburianenist chystoho paru za riznykh sposobiv yoho obrobittu v Stepu Ukrainy [Weediness of fallow due to different methods of its processing in the Steppe of Ukraine]. Visnyk Poltavskoi derzhavnoi ahrarnoi akademii, 1, 28–33 (in Ukrainian).

33. Tsyliuryk, O. I. (2010). Vplyv sposobiv osnovnoho obrobittu gruntu na zaburianenist chystykh pariv v Stepu Ukrainy [The influence of methods of main tillage on the weediness of fallows in the Steppe of Ukraine]. Biuletyn Instytutu zernovoho hospodarstva NAAN Ukrainy, 39, 131–137 (in Ukrainian).

34. Vozhegova, R. A., Malyarchuk, A. S., Kotelnikov, D. I. & Reznichenko, N. D. (2020). Zaburianenist pshe-nytsi ozymoi za minimizovanoi ta nulovoivo system osnovnoho obrobittu gruntu, udobrennia ta syderatsii [Weediness of winter wheat with minimized and zero systems of basic tillage, fertilizer and greening]. Ahrarni innovatsii, 4, 5–9 doi: 10.32848/ahran.innov.2020.4.1 (in Ukrainian).

35. Vykho- vanets, V. (2013). Vplyv zaburianenosti na produktyvnist pshe-nytsi ozymoi v umovakh Prykarpattia [The influence of weediness on the productivity of winter wheat in the conditions of Prykarpattia]. Visnyk Lvivskoho natsionalnoho ahrarnoho universytetu. Ahronomiia, 17(2), 45–49 (in Ukrainian).

36. Zabarna, T. A. (2018). Vplyv poperednykiv na zaburianenist ozymoi pshe-nytsi [Influence of predecessors on weediness of winter wheat]. Silske hospodarstvo ta lisivnytstvo, 11, 52–60 (in Ukrainian).

37. Zabarna, T. A. (2019). Botanichni sklad posiviv ozymoi pshe-nytsi zalezho vid dii poperednyka [Botanical composition of winter wheat crops depending on the action of the predecessor]. Kormy i kormovyrobnytstvo, 88, 71–78 (in Ukrainian).

38. Zuza V.S., & Hutianskyi R.A. (2012). Herbolohichni monitorynh poliv silskohospodarskykh pidpriemstv [Herbological monitoring of fields of agricultural enterprises]. Kharkiv: Mahda LTD, 22 (in Ukrainian).

Hutianskyi R.A., PhD (Agricultural Sciences), Senior Researcher, Institute of plant breeding named after V.Ya. Yuryev of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine, Kharkiv, Ukraine

Popov S.I., Doctor (Agricultural Sciences), Professor, Institute of plant breeding named after V.Ya. Yuryev of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine, Kharkiv, Ukraine

Avramenko S.V., Doctor (Agricultural Sciences), Senior Researcher, Institute of plant breeding named after V.Ya. Yuryev of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine, Kharkiv, Ukraine

Kuzmenko N.V., PhD (Agricultural Sciences), Senior Researcher, Institute of plant breeding named after V.Ya. Yuryev of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine, Kharkiv, Ukraine

Weediness of winter wheat crops depending on growing conditions in the fallow-grain-row crop rotation

Weeds negatively effect on the yield level of winter wheat grain. The effectiveness of limiting growth and development of weeds in crops can be achieved by selecting a crop rotation, a forecrop, methods of the main tillage, a system of fertilization and protection against weeds. The purpose of the article was to establish the influence of these components of the winter wheat cultivation technology on the weediness of its crops. The contamination of crops was determined by monitoring the spread of weeds. According to the research data of 2016–18, 47 types of weeds and contaminants were found in the agrophytocenoses of winter wheat after black fallow as a forecrop in the conditions of the eastern part of the Forest Steppe

of Ukraine (early and late spring – 47%, wintering, winter and biennial – 36%, perennial – 17 %), and after peas for grain as a forecrop – 42 species (early and late spring – 45%, wintering, winter and biennial – 38%, perennial – 17%). 5 species were included in the category of very widespread weeds in crops after black fallow (*Setaria glauca*, *Echinochloa crus-galli*, *Chenopodium album*, *Solanum nigrum*, *Delphinium consolida*), and after peas for grain – 14 species (*S. glauca*, *E. crus-galli*, *C. album*, *S. nigrum*, *Amaranthus retroflexus*, *Ambrosia artemisiifolia*, *Fallopia convolvulus*, *Polygonum aviculare*, *Capsella bursa-pastoris*, *D. consolida*, *Galium aparine*, *Viola arvensis*, *Cirsium arvense*, *Convolvulus arvensis*). The largest number of species was found after black fallow in the control (plowing, without fertilizers) and after peas for grain by chiseling (manure after effect 30 t/ha + $N_{60}P_{60}K_{60}$). Herbicides significantly influenced on the dominant role of certain weed species. In crops, the dicotyledonous-cereal-annual-root-sprouting type of weeding prevailed. At the same time, in all studied options, the level of weediness of the crop was annually higher after peas for grain than after black fallow. The obtained data allow more successful control of weeds in winter wheat crops.

Key words: winter wheat, weeds, crop rotation, tillage, fertilizers, herbicides.

ПОКРАЩЕННЯ СТРУКТУРНО-АГРЕГАТНОГО СТАНУ ҐРУНТУ ЗА МІКОРИЗАЦІЇ КОРЕНЕВОЇ СИСТЕМИ РОСЛИН СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР МІКОРИЗОУТВОРЮВАЛЬНИМИ ГРИБАМИ

Димитров Сергій Георгійович

кандидат сільськогосподарських наук, докторант
Національний університет біоресурсів і природокористування,
м. Київ, Україна
ORCID: 0000-0002-0377-9596
sdimitrov@ukr.net

Саблук Василь Трохимович

доктор сільськогосподарських наук, професор
Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків,
м. Київ, Україна
ORCID: 0000-0002-6124-4346
sablukvasil@gmail.com

*Встановлено вплив мікоризації кореневої системи рослин сільськогосподарських культур мікоризоутворювальними грибами на структурно-агрегатний стан ґрунту. Польові, лабораторні та статистичні методи досліджень. Встановлено, що мікоризація кореневої системи рослин сільськогосподарських культур мікоризоутворювальними грибами позитивно впливає на структурно-агрегатний стан ґрунту. За використання біопрепаратів з цими мікроорганізмами частка грудочок ґрунту розміром 0,25–10,0 мм була більшою ніж у контролі. Зокрема, у посівах пшениці озимої у варіантах з препаратом Мікофренд (гриб *Trichoderma harzianum* Rifai) різниця у показниках досліджуваного параметру становила +5,5–+15,4 %, а з препаратом Міковітал (гриб *Tuber melanosporum* Vittad.) +6,1–+16,3 %. У посівах кукурудзи ці показники становили 4,4–8,2 %. Особливо помітним є покращення структурно-агрегатного стану ґрунту цих культур у перші 2 місяці їх росту і розвитку порівняно з більш пізніми строками вегетації рослин. Так, якщо у посівах пшениці м'якої озимої у цей період збільшення проти контролю частки грудочок розміром 0,25–10,0 мм становило 8,0–16,3 %, а у посівах кукурудзи 7,2–8,2 %, то на 90–120 день росту та розвитку рослин ці показники дорівнювали відповідно 5,5–10,2 % і 6,7–7,9 %. Покращення структурно-агрегатного стану ґрунту за мікоризації кореневої системи рослин мікоризоутворювальними грибами відбувається під впливом утворення міцельної сітки та клейкого компонента глікопротеїну гломатину, які сприяють формуванню з пилуватої його частини грудочок оптимальних розмірів, що в свою чергу позитивно позначається на його шпаруватості і повітропроникливості. Мікоризоутворювальні гриби *Trichoderma harzianum* Rifai і *Tuber melanosporum* Vittad. позитивно впливають на структурно-агрегатний стан ґрунту завдяки утворенню міцельної сітки та клейкого компонента глікопротеїну гломатину, які формують з пилуватої його частини грудочок оптимальних розмірів, що сприяє покращенню його шпаруватості і повітропроникності.*

Ключові слова: ґрунт, структурно-агрегатний стан, мікоризація, коренева система, клейкий компонент, шпаруватість, повітропроникність.

DOI <https://doi.org/10.32845/agrobio.2022.2.9>

Вступ. Структура ґрунту є визначальною у формуванні повітряного, водного, поживного та інших його режимів, і як результат отримання високих і сталих урожаїв сільськогосподарських культур (Medvediev, 2018; Sugawara, 2021; Píkovska, 2013; Havryshko, 2019; Tsiuk, 2018).

Початок фундаментальних досліджень з вивчення структурно-агрегатного стану ґрунту було покладено в кінці XIX ст. німецьким агрофізиком Е. Вольні (1846–1901 рр.), який розглядав будову ґрунту, як співвідношення в ньому агрегатів різної величини (Medvediev, 2018).

В. Р. Вільямс наочно показав, що основні елементи родючості – вода й поживні речовини – досягають найбільш повного прояву лише в ґрунті, який має міцну структуру. На його думку всі агрономічні заходи дають найбільший ефект на структурному ґрунті (Sinanaj, 2020; Field, 2021).

Здатність структурних ґрунтів якомога довше зберігати після механічного обробітку будову сприяє зменшенню витрат енергії та підвищує стійкість до водної й вітрової

ерозії. За сучасними поглядами, найціннішою в агрономічному відношенні є не лише грудкувато-зерниста його макроструктура – наявність грудочок розміром від 0,25 до 10,0 мм, а й мікроструктура – дрібніших частинок розміром менше 0,25 мм. У той же час, кращим розміром грудочок ґрунту вважається 0,25–3,0 мм для чорноземних і каштанових та 0,5–5,0 мм – для дерново-підзолистих суглинкових ґрунтів. Водночас відмічається, що у районах достатнього зволоження структурні частинки ґрунту в межах оптимальних розмірів повинні бути крупнішими, ніж у посушливих (Di Salvo, 2020; Field, 2018; Yaroshchuk, 2020; Mello, 2018).

Структура ґрунту є важливою його ознакою та властивістю, яка впливає на родючість і продуктивність сільськогосподарських культур. Численними дослідженнями (Yurkevych, 2020; Koshila Ravi, 2019; Tanchuk, 2015) було доведено ефективність впливу структури ґрунту на його родючість. З літературних джерел відомо, що найбільше

агрономічне значення має грудочкувата й зерниста макро-структура з розміром часток від 1,0 до 5,0 мм. Однак у перезволожених ґрунтах цей показник наближається до 10,0 мм, а для ґрунтів посушливих районів – до 2 мм (Thirkell, 2021).

Агрономічне значення структури ґрунту полягає в тому, що вона справляє позитивний вплив на його фізичні властивості, водний, повітряний, тепловий, окисно-відновлювальний, мікробіологічний і поживний режими, а також фізико-механічні властивості й протиерозійну стійкість.

В умовах інтенсивних систем землеробства, де суттєво підвищується вплив дії антропогенного фактора, головна задача обробітку ґрунту – створення оптимальних умов для росту й розвитку сільськогосподарських культур, а також поліпшення його родючості і попередження фізичної деградації. Особливого значення цей факт набуває для чорноземних ґрунтів середнього й важкого гранулометричного складу. Загальновідомо, що під час обробітку разом із подрібненням ґрунту на окремі агрегати відбувається й інтенсивне їх руйнування (Yasolob, 2018; Kosolar, 2011; Medvedev, 2004).

Таким чином структура ґрунту формує функції регулятора ґрунтових чинників життя рослин (у першу чергу фізичних) у конкретних ґрунтово-кліматичних умовах, а також функції, які підвищують чутливість рослин на застосування агроеліоративних заходів (Howard, 2022; Li, 2018).

Мета досліджень – встановити вплив мікоризації кореневої системи рослин сільськогосподарських культур мікоризоутворювальними грибами на структурно-агрегатний стан ґрунту.

Матеріали і методи досліджень. Дослідження проводили в умовах Веселоподільської дослідно-селекційної станції (ВПДСС) Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН України, яка знаходиться

на Лівобережній частині Лісостепу України. Ґрунтовий покрив відзначається строкатістю – переважають чорноземи солонцюваті та слабосолонцюваті.

Для дослідів використовували гриби везикулярно-арбускулярної мікоризації *Tuber melanosporum* Vittad. (препарат Міковітал) та *Trichoderma harzianum* Rifai (препарат Мікофренд) шляхом передпосівного оброблення насіння сільськогосподарських культур.

Досліди проводили у 4-х кратній повторності, площа дослідних ділянок 25 м². У відповідності з програмою дослідження визначали частку грудочок ґрунту розміром 0,25–10,0 мм у певний період вегетації рослин. З цією метою відбирали ґрунт з розрахунку по 100 г з кожної повторності на глибині до 30 см, з якого формували середній зразок і просівали його через сита розміром комірок 0,25 мм (нижнє сито) і 10,0 мм (верхнє сито) і за різницею у частині грудочок розміром 0,25–10,0 мм до загальної його маси, визначали частки потрібної нам фракції.

Результати. Як видно з даних таблиць 1 і 2 мікоризація кореневої системи рослин пшениці озимої і кукурудзи звичайної грибами *Trichoderma harzianum* Rifai і *Tuber melanosporum* Vittad. сприяє покращенню структурно-агрегатного стану ґрунту у посівах цих культур.

Так, у варіантах з мікоризоутворювальними грибами (препарати Мікофренд і Міковітал) частка грудочок ґрунту розміром 0,25–10,0 мм у посівах пшениці озимої була на 5,5–15,4 %, а у посівах кукурудзи на 4,4–8,2 % більшою ніж у контролі. Щодо впливу на цей процес конкретного виду гриба, то нами не відмічена різниця у показниках покращення структурно-агрегатного стану ґрунту за їх використання. Зокрема, якщо у варіантах з грибом *Trichoderma harzianum* Rifai кількість грудочок розміром 0,25–10,0 мм у всі строки вегетації рослин пшениці м'якої озимої становила 5,5–15,4 %, а у посі-

Таблиця 1

Структурно-агрегатний стан ґрунту залежно від мікоризації кореневої системи рослин пшениці м'якої озимої, ВПДСС, 2017–2020 рр.

| Термін вегетації, днів | Частка грудочок ґрунту розміром 0,25-10,0 мм у загальній його масі, % | | | | | | |
|------------------------|---|-----------|-----------------|---------|-----------|-----------------|---------|
| | контроль, % | мікофренд | | | міковітал | | |
| | | % | + - до контролю | P-level | % | + - до контролю | P-level |
| 30 | 53,9 | 61,9 | 8,0 | 0,009 | 62,4 | 8,5 | 0,009 |
| 60 | 52,1 | 67,5 | 15,4 | 0,007 | 68,4 | 16,3 | 0,010 |
| 90 | 55,2 | 65,4 | 10,2 | 0,007 | 61,3 | 6,1 | 0,010 |
| 120 | 53,2 | 58,7 | 5,5 | 0,010 | 59,8 | 6,6 | 0,010 |

Таблиця 2

Структурно-агрегатний стан ґрунту залежно від мікоризації кореневої системи рослин кукурудзи звичайної, ВПДСС, 2017–2020 рр.

| Термін вегетації, днів | Частка грудочок ґрунту розміром 0,25–10,0 мм у загальній його масі, % | | | | | | |
|------------------------|---|-----------|-----------------|---------|-----------|-----------------|---------|
| | контроль, % | мікофренд | | | міковітал | | |
| | | % | + - до контролю | P-level | % | + - до контролю | P-level |
| 30 | 47,8 | 55,6 | 7,8 | 0,009 | 56,0 | 8,2 | 0,009 |
| 60 | 52,6 | 59,8 | 7,2 | 0,009 | 60,6 | 8,0 | 0,009 |
| 90 | 53,8 | 60,4 | 6,7 | 0,010 | 61,0 | 7,3 | 0,010 |
| 120 | 51,9 | 59,8 | 7,9 | 0,009 | 56,3 | 4,4 | 0,020 |

вах кукурудзи 6,7–7,9 %, то у варіантах з грибом *Tuber melanosporum* Vittad. ці показники дорівнювали відповідно 6,6–16,3 % і 4,4–8,2 %, що в межах похибки досліду, про що свідчить дані статистичної обробки результатів досліджень (P -level 0,007–0,02).

Крім того, нами також не відмічена різницю у цих показниках у різні терміни вегетації рослин за виключенням посівів кукурудзи через 60 днів від початку її вегетації. У цей період у посівах культури покращення структурно-агрегатного стану ґрунту було найбільшим порівняно з іншими термінами росту та розвитку рослин (15,4 і 16,3 % проти 5,5–10,2 % і 6,1–8,5 %), що свідчить про особливості впливу на цей процес мікроміцетів. У вказаний термін вегетації рослин, на нашу думку, в цей період росту та розвитку рослин кукурудзи відбувається виділення в ґрунт найбільшої кількості клеючого компонента, а також утворення більш потужної, ніж в інші періоди органогенезу міцеліальної сітки.

Обговорення. Покращення структурно-агрегатного складу ґрунту за мікоризації кореневої системи рослин сільськогосподарських культур мікоризоутворювальними грибами відбувається за рахунок клеючого ком-

поненту глікопротеїну гломатину у варіантах з використанням мікоризоутворювальних грибів і азотфіксуючих бактерій (Тсарко, 2021; Field, 2020; Kehri, 2018).

Зокрема, у наших дослідах у варіантах з мікоризоутворювальними грибами (препарати Мікофренд і Міковітал) частка грудочок ґрунту розміром 0,25–10,0 мм у посівах пшениці озимої була на 5,5–15,4 %, а у посівах кукурудзи на 4,4–8,2 % більшою, ніж у контролі (Medvedev, 2019; Guo, 2019; Zakharchenko, 2018; Bakonyi, 2018).

Покращення структурно-агрегатного стану ґрунту у посівах кукурудзи через 60 днів від початку її вегетації було найбільшим порівняно з іншими термінами росту та розвитку рослин (15,4 і 16,3 % проти 5,5–10,2 % і 6,1–8,5 %), що свідчить про особливості впливу на цей процес мікроміцетів (Oehl, 2019; Dalal, 2021; Demydenko, 2021).

Висновки. Мікоризоутворювальні гриби *Trichoderma harzianum* Rifai і *Tuber melanosporum* Vittad. позитивно впливають на покращення структурно-агрегатного стану ґрунту за рахунок утворення міцеліальної сітки і клеючого компонента глікопротеїну гломатину, які формують з пилюватою його частини грудочки оптимальних розмірів.

Бібліографічні посилання:

1. Bakonyi, I., & Csitári, G. (2018). Response of winter wheat to arbuscular mycorrhizal fungal inoculation under farm conditions. *Columella – Journal of Agricultural and Environmental Sciences*, 5(1), 51–58. doi: 10.18380/SZIE.COLUM.2018.5.1.51
2. Dalal, D. J., & Solanki, H. (2021). Arbuscular mycorrhizal fungi: diversity and its impact with abiotic factors in Phoenix dactylifera L. of Kachchh Region, Gujarat, India. *International Journal of Scientific Research in Science and Technology*, 8(2), 125–135. doi: 10.32628/IJSRST218222
3. Demydenko, O. (2021). Shchilnist budovy chornozemu opidzolenoho za riznykh system udobrennia i obrobitku [The density of the podzolized chernozem structure under different fertilization and tillage systems]. *Visnyk ahrarynoi nauky*, 99(6), 5–15 doi: 10.31073/agrovisnyk202106-01 (in Ukrainian).
4. Di Salvo, L. P., Groppa, M. D., & García de Salamone, I. E. (2020). Natural Arbuscular Mycorrhizal Colonization of Wheat and Maize Crops Under Different Agricultural Practices. In *Agriculturally Important Fungi for Sustainable Agriculture* (pp. 89–108). Springer, Cham.
5. Field, K. J., & Pressel, S. (2018). Unity in diversity: structural and functional insights into the ancient partnerships between plants and fungi. *New Phytologist*, 220(4), 996–1011. doi: 10.1111/nph.15158
6. Field, K. J., Daniell, T., Johnson, D., & Helgason, T. (2020). Mycorrhizas for a changing world: Sustainability, conservation, and society. *Plants, People, Planet*, 2(2), 98–103. doi: 10.1002/ppp3.10092
7. Field, K. J., Daniell, T., Johnson, D., & Helgason, T. (2021). Mycorrhizal mediation of sustainable development goals. *Plants, People, Planet*, 3(5), 430–432. doi: 10.1002/ppp3.10223
8. Guo, Y., Ghirardo, A., Weber, B., Schnitzler, J. P., Benz, J. P., & Rosenkranz, M. (2019). *Trichoderma* species differ in their volatile profiles and in antagonism toward ectomycorrhiza *Laccaria bicolor*. *Frontiers in microbiology*, 10, 891. doi: 10.3389/fmicb.2019.00891
9. Havryshko, O. S., Olifir, Yu. M., & Partyka, T. V. (2019). Strukturno-ahrehatnyi stan yasno-siroho lisovoho poverkhnevo ohleienoho gruntu za tryvaloho ahrohennoho vplyvu v Zakhidnomu Lisostepu [Soil structure and aggregate state of light-gray forest surface gleyed soil under the prolonged agrogenic effects in the Western Forest-Steppe]. *Peredhirne ta hirske zemlerobstvo i tvarnyntstvo*, 65, 36–46 doi: 10.32636/01308521.2019-(65)-4 (in Ukrainian).
10. Howard, N., Pressel, S., Kaye, R. S., Daniell, T. J., & Field, K. J. (2022). The potential role of Mucoromycotina ‘fine root endophytes’ in plant nitrogen nutrition. *Physiologia Plantarum*, 174(3), e13715. doi: 10.1111/ppl.13715
11. Kehri, H. K., Akhtar, O., Zoomi, I., & Pandey, D. (2018). Arbuscular mycorrhizal fungi: taxonomy and its systematics. *International Journal of Life Sciences Research*, 6(4), 58–71.
12. Koshila Ravi, R., Anusuya, S., Balachandar, M., Yuvarani, S., Nagaraj, K., & Muthukumar, T. (2019). Influence of Xenobiotics on the Mycorrhizosphere. In *Mycorrhizosphere and Pedogenesis* (pp. 111–137). Springer, Singapore.
13. Kosolap, M. P., & Krotinov, O. P. (2011). Systema zemlerobstva No-till [No-till farming system]. *Lohos*, Kyiv, 352 (in Ukrainian).
14. Li, Q., Yan, L., Ye, L., Zhou, J., Zhang, B., Peng, W., & Li, X. (2018). Chinese black truffle (*Tuber indicum*) alters the ectomycorrhizosphere and endoectomycosphere microbiome and metabolic profiles of the host tree *Quercus aliena*. *Frontiers in microbiology*, 9, 2202.
15. Medvedev, V. V. (2004). Minimalizatsiia obrobitku gruntiv Ukrainy [Minimization of soil cultivation in Ukraine]. National Scientific Center “Institute for Soil Science and Agrochemistry Research named after O. N. Sokolovsky”, Kharkiv, 47 (in Ukrainian).

16. Medvediev, E. B. (2019). Strukturno-ahrehatnyi sklad gruntu zalezno vid sposobu obrobitku v umovakh pivnichnoho Stepu Ukrainy [Structural and aggregate composition of soil depending on the tilling method in conditions of the northern Steppe of Ukraine]. *Zernovi kultury*, 3(1), 102–109 doi: 10.31867/2523-4544/0066 (in Ukrainian).
17. Medvediev, V. V., Bulyhin, S. Yu., & Vitvitskiy, S. V. (2018). *Fizyka gruntu* [Soil physics]. National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, 289 (in Ukrainian).
18. Mello, A., & Balestrini, R. (2018). Recent insights on biological and ecological aspects of ectomycorrhizal fungi and their interactions. *Frontiers in Microbiology*, 9, 216. doi: 10.3389/fmicb.2018.00216
19. Oehl, F., Sánchez-Castro, I., Santos, V. M., Silva, G. A. D., & Palenzuela Jiménez, E. J. (2019). *Archaeospora europaea*, a new arbuscular mycorrhizal fungus from France, Germany, Italy and Switzerland, with a key to the *Archaeosporaceae* species. *Sydowia*, 71, 129–137. doi: 10.12905/0380.sydowia71-2019-0129
20. Pikovska, O. V. (2013). Vplyv minimizatsii obrobitku gruntu na strukturnyi stan chornozemu zvychainoho [The effect of minimization of tillage on the structural condition of ordinary chernozem]. *Naukovi visnyk Natsionalnoho universytetu bioresursiv i pryrodokorystuvannia Ukrainy. Seriya: Ahronomiia*, 183(2), 193–197 (in Ukrainian).
21. Sinanaj, B., Bidartondo, M. I., Pressel, S., & Field, K. J. (2020). Molecular evidence of *Mucoromycotina* “fine root endophyte” fungi in agricultural crops. *Biology and Life Sciences Forum*, 4(1), 88. doi: 10.3390/IECPS2020-08728
22. Sugawara, R., Sotome, K., Maekawa, N., Nakagiri, A., & Endo, N. (2021). Mycorrhizal synthesis, morpho-anatomical characterization of mycorrhizae, and evaluation of mycorrhiza-forming ability of *Hydnum albidum*-like species using monokaryotic and dikaryotic cultures. *Mycorrhiza*, 31(3), 349–359. doi: 10.1007/s00572-021-01024-7
23. Tanchyk, S. P., Tsiuk, O. A., & Tsentylo, L. V. (2015). *Naukovi osnovy system zemlerobstva* [Scientific foundations of farming systems]. Nilan-LTD, Vinnytsia, 314 (in Ukrainian).
24. Thirkell, T., Hoysted, G., Elliott, A., Field, K., & Daniell, T. (2021). The use of arbuscular mycorrhizal fungi to improve root function and nutrient-use efficiency. In *Understanding and improving crop root function* (pp. 493-530). Burleigh Dodds Science Publishing.
25. Tsapko, Yu., Vodiak, Ya., Zubkovska, V., & Kholodna, A. (2021). Perspektyvy vyroshchuvannia miskantusu hihantskoho dlia pokrashchennia ekosystemnykh posluh chornozemu opidzolenoho vazhkosuhlynkovoho [Prospects for growing giant *Miscanthus* to improve ecosystem services of degraded heavy loam chernozem]. *Visnyk ahraryi nauky*, 99(9), 48–54 doi: 10.31073/agrovisnyk202109-07 (in Ukrainian).
26. Tsiuk, O. A., Tsentylo, L. V., & Melnyk, V. I. (2018). Strukturno-ahrehatnyi sklad gruntu zalezno vid osnovnoho obrobitku ta udobrennia [Structural and unit composition of soil depending on basic treatment and fertilizer]. *Bioresursy i pryrodokorystuvannia*, 10(5–6), 139–145 doi: 10.31548/bio2018.05.017 (in Ukrainian).
27. Yaroshchuk, R. A., Zakharchenko, E. A., Kovalenko, I. M., Yaroshchuk, S. V., & Klymenko, H. O. (2020). Strukturno-ahrehatnyi sklad gruntu pid riznymi syderatamy u mizhriadiakh *Ginkgo biloba* L. [Soil aggregation with various cover crops in *Ginkgo biloba* L.]. *Visnyk Sumskoho natsionalnoho ahraryi universytetu. Seriya: Ahronomiia i biolohiia*, 4, 23–32. doi: 10.32845/agrobio.2020.4.1 (in Ukrainian).
28. Yasnolob, I., Chayka, T., Aranchiy, V., Gorb, O., & Dugar, T. (2018). Mycorrhiza as a biotic factor, influencing the ecosystem stability. *Ukrainian Journal of Ecology*, 8(1), 363-370.
29. Yurkevych, Ye. O., Valentiuk, N. O., & Albul, S. I. (2020). Osoblyvosti formuvannia strukturno-ahrehatnoho skladu gruntu pid chas vyroshchuvannia kukurudzy za systemy orhanichnoho zemlerobstva v Prydunaiskomu Stepu Ukrainy [Peculiarities of formation of structural-aggregate composition of soil in cultivation of maize by systems of organic agriculture in the Danube Steppe of Ukraine]. *Ahraryi innovatsii*, 4, 79–86 doi: 10.32848/ahraryi.innov.2020.4.12 (in Ukrainian).
30. Zakharchenko, E. A., & Datsko, O. M. (2018). Vmist lehkohidrolizovanoho azotu ta strukturnist gruntu za riznykh sposobiv osnovnoho obrobitku gruntu [Content of hydrolyzed nitrogen and soil structure under different methods of tillage]. *Visnyk Sumskoho natsionalnoho ahraryi universytetu. Seriya: Ahronomiia i biolohiia*, 9, 119–124 (in Ukrainian).

Dymytriv S.H., PhD (Agricultural Sciences), Doctoral student, National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

Sabluk V.T., Doctor (Agricultural Sciences), Professor, Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beets, Kyiv, Ukraine

Improving of soil structural and aggregate state through mycorrhization of the crop root system by mycorrhiza-forming fungi

The purpose of the study was to investigate the effect of mycorrhization of the crop root system by mycorrhizal fungi on the structural and aggregate state of the soil. In the experiment, field, laboratory and statistical methods were applied. It was found that the mycorrhization of the crop root system by mycorrhizal fungi positively affects the structural and aggregate state of the soil. With the use of biological preparations containing these microorganisms, the proportion of soil particles with a size of 0.25–10.0 mm was greater than in the control. In particular, in winter wheat, in the variant with *Mycofriend* (*Trichoderma harzianum* Rifai.) treatment, the difference between the experimental and control indicators was +5.5–+15.4%, and with *Mycovital* (*Tuber melanosporum* Vittad.) +6.1–+16.3%. In corn, these indicators were 4.4–8.2%. Improvement of the structural and aggregate state of the soil under these crops is particularly noticeable in the first 2 months of vegetation compared to the later periods of plant vegetation. Thus, during this period, the increase in the proportion of soil particles with a size of 0.25–10.0 mm was 8.0–16.3% under winter wheat and 7.2–8.2% under corn. Then, on the 90–120-th day of plant growth and development, these indicators were 5.5–10.2% and 6.7–7.9%, respectively. The improvement of the soil structural and aggregate state due to the mycorrhization of the plant root system by mycorrhizal fungi of *Trichoderma harzianum* Rifai. and *Tuber melanosporum* Vittad. results from the formation of a mycelial network and the adhesive component of the glycoprotein glomalin. This protein contributes to the formation of optimal-sized soil particles from dusty soil component, which, in turn, positively influence the soil porosity and air permeability.

Key words: soil, structural and aggregate state, mycorrhization, root system, adhesive component, porosity, air permeability.

ПОБІЧНА ПРОДУКЦІЯ ЯК ЕЛЕМЕНТ БІОЛОГІЗАЦІЇ ЗЕМЛЕРОБСТВА ҐРУНТІВ КИЇВСЬКОЇ ОБЛАСТІ

Зайцев Юрій Олександровичдоктор економічних наук, професор
Державна установа «Інститут охорони ґрунтів України», м. Київ, Україна
ORCID: 0000-0001-8368-8127
info@iogu.gov.ua**Кирильчук Анжела Миколаївна**кандидат сільськогосподарських наук
Державна установа «Інститут охорони ґрунтів України», м. Київ, Україна
ORCID: 0000-0003-3948-5810
angela.kyrylchuk@gmail.com**Ослопова Марина Валеріївна**кандидат економічних наук
Державна установа «Інститут охорони ґрунтів України», м. Київ, Україна
ORCID: 0000-0002-6544-1902
marisenich@ukr.net

Висвітлено результати досліджень у лабораторії охорони та підвищення родючості ґрунтів і проектною документації у 2016–2020 рр. ДУ «Держґрунтоохорона». За даними статистичної звітності (форма 9–с та 29–сг) 2016–2020 років, враховуючи коефіцієнт гуміфікації, розраховувались надходження побічної продукції та поживно-кореневих решток, які залишаються на полях Київської області після вирощування сільськогосподарських культур. Упродовж 2016–2020 років у Київській області внесено 102302,9 тис. тонн побічної продукції на площі 4545,7 тис. га, в тому числі в 2020 році 17357,6 тис. тонн на площі 919,1 тис. га, що порівняно з 2016 роком менше майже на 10% (1979,2 тис. т). Солома вносилась в кількості 6806,35 тис. тонн на площі 4428,5 тис. га в тому числі в 2020 році 135,36 тис. т на площі 1601,9 тис. га, що порівняно з 2016 роком більше на 75% (1204,84 тис. га) проте кількість внесеної соломи зменшилась у 15 разів (1962,6 тис. т). До порівняння, в 2016 році на одному гектарі вносилось майже 4,4 тис. т соломи, а в 2020 – 0,08 тис. т. Сидератів заорано на площі 280,2 тис. га в кількості 661,2 тис. т, у тому числі впродовж 2020 року – 94,4 тис. т на площі 115,6 тис. га, на один га вносилось 0,8 тис. т сидеральних добрив. До порівняння, в 2016 році заорано 159,61 тис. т сидератів на площі 17,77 тис. га, на одному гектарі вносилось майже 9,0 тис. т зеленого добрива. Динаміка внесення біологічної сировини у господарствах за останні п'ять років свідчить про незначне зниження біологізації ґрунтів Київської області ($R^2=0,02$). Встановлена тенденція до збільшення обсягів внесення біологічної сировини в ґрунт Київської області таких культур як трави сіяні, кукурудза на зерно, зернові колосові, зернобобові, буряки цукрові та соняшник ($R^2=0,67$). Для досягнення бездефіцитного балансу органічної речовини і біогенних елементів потрібно введення в сівозміни багаторічних трав, зернових і зернобобових культур з оптимальним чергування культур. У ґрунтах Київської області, тенденція до збільшення обсягів внесення біологічної сировини в ґрунт досягнута лише за рахунок побічної продукції кукурудзи, соняшнику та незначної кількості буряків цукрових. Донесення реальної інформації про стан родючості ґрунтів до свідомості кожного відповідального працівника агропромислового комплексу, через «Картограми якісної оцінки ґрунтів» змінить відношення суспільства до землі та її невід'ємної складової частки – ґрунту.

Ключові слова: побічна продукція, поживно-кореневі решки, коефіцієнт гуміфікації, баланс, гумус, органічна речовина, добрива.

DOI <https://doi.org/10.32845/agrobio.2022.2.10>

Вступ. Раціональне та ефективне використання земельних ресурсів є однією з визначальних умов стабільного розвитку агропромислового комплексу.

Землеробство – це основна галузь сільськогосподарського виробництва, головним завданням якого є зростання продуктивності на основі розширеного відтворення родючості ґрунтів та раціонального їх використання. З кожним роком з використанням орних земель погіршуються якісні та кількісні показники ґрунту, знижується його родючість, оскільки не дотримується основний закон землеробства – винесення поживних речовин повинно компенсуватися шляхом їх повернення в ґрунт.

Як наслідок, маємо від'ємний баланс гумусу та поживних речовин у ґрунті.

Одним із найефективніших ресурсних заходів підтримання родючості ґрунтів на оптимальному рівні є застосування мінеральних та органічних добрив, проведення хімічної меліорації ґрунтів і біологізації землеробства.

Наразі, в сучасному землеробстві України зростання цін на енергоносії та паливно-мастильні матеріали, а також виснаження родючого шару ґрунту, ставлять виробників сільськогосподарської продукції перед необхідністю шукати нові шляхи зниження витрат на виробництво продукції та удосконаленням

механізмів господарювання. Тому перехід агропромислового комплексу Київської області на біологічні принципи землеробства наразі є актуальним. Важливим є пошук і впровадження у виробництво нових видів добрив, які підвищують урожайність сільськогосподарських культур та сприяють відтворенню родючості ґрунтів за значного скорочення енергетичних витрат.

Серед наукової спільноти та споживачів сільськогосподарської продукції, негативні наслідки інтенсивної хімізації землеробства зумовили занепокоєння та тривогу (Hrabak, 2011; Skrynyuk, 2014). В ґрунтах відбувається накопичення залишкової кількості пестицидів, важких металів, недотримуються сівозміни, погіршуються біологічні властивості ґрунтів, посилюються ерозійні процеси. Перед внесенням органічних добрив (гній, компости, мул) потрібно проводити аналіз якісних показників, оскільки надмірно підвищені дози можуть спричинити вилягання посівів, накопиченню нітратів, важких металів і інших токсичних речовин у сільськогосподарській продукції (Chaney et al., 2001). Внаслідок порушення законів природи через втручання людини посилюються умови екологічної кризи.

В аграрному секторі все частіше спостерігається відмова виробників застосовувати засоби хімізації та перехід на так зване біологічне землеробство. Проте вимушений, стихійний перехід на біологічне землеробство здійснюється з недотриманням основних його принципів: досягнення бездефіцитного балансу органічної речовини і біогенних елементів, дотримання науково-обґрунтованих сівозмін, ґрунтозахисних технологій обробітку ґрунту, інтенсифікації використання біологічного азоту, ефективного контролю рівня забур'яненості, ступеня ураження хворобами та шкідниками. За таких умов виснажуються ґрунти і погіршуються їхні фізико-хімічні властивості, зменшується продуктивність агроєкосистем і погіршується якість продукції (IAS UAAS, 2005; 2011).

Первинна мета програми біологізації – створити таке ґрунтове середовище, яке б самовідновлювалося та самозбагачувалося за рахунок біологічних, природних чинників. Завдання при цьому – підвищити віддачу від ґрунту, як мінімум у півтора рази. Більш віддалена мета – вийти на виробництво не просто сільськогосподарської продукції, а виробляти безпечні в екологічному сенсі сировину та продукти харчування.

Аграрними науковими установами України встановлено, що біологічне землеробство забезпечує задовільну продуктивність агрофітоценозу та економічну ефективність тільки за оптимальних параметрів родючості ґрунту, в тому числі агрофізичних, фізико-хімічних і агрохімічних показників. Біологізація землеробства має здійснюватись тільки за бездефіцитного, а краще позитивного балансу органічної речовини та біогенних елементів, що можливо досягти лише за застосування оптимальних доз органічних і мінеральних добрив та хімічних меліорантів (Bomba, 2004).

У біологічному землеробстві, як і за традиційного, основна частина належить сівозінам, які науково обґрунтовано насичені культурами проміжного вирощування (бобові, сумішки зі злаковими травами), раціональному

використанню побічної продукції, поживно-коренових решток, гною, компостів, зелених добрив (Shuvar et al., 2016; Bomba, 2004; Kisel, 2000). Проте подекуди внесення тільки органіки не дає бажаних результатів, оскільки одні добрива володіють специфічною дією (солома пшениці озимої), інші за своєю ефективністю – універсальні (гній підстилковий). Так як у соломи відносно високе відношення вуглецю до азоту, тому мікроорганізми розкладаючи рослинні рештки використовують азот з ґрунту, перетворюючи таке добриво в недоступні для рослин форми до того часу, поки співвідношення вуглецю до азоту не зменшиться. Науково доведено, що за традиційної системи удобрення, для розкладу 1 т соломи додатково потрібно внести в ґрунт 8-10 кг/га діючої речовини мінерального азоту, за органічною – сечовину або розведений водою пташиний послід (Bomba, 2004).

Процес біологізації землеробства пов'язаний із впровадженням науково-обґрунтованої структури посівних площ і сівозмін, застосуванням усіх ресурсів органічних добрив – гній, нетоварна частка врожаю (солома зернових і зернобобових, подрібнені стебла соняшнику, кукурудзи, сорго, гичка тощо), а також післяживні посіви сидератів, оптимального співвідношення вуглецю до азоту в системах удобрення для запобігання непродуктивним втратам органічної речовини та зменшенню емісії CO₂ у повітрі.

Без дотримання цих умов, як правило, за короткий період часу створюється різко від'ємний баланс гумусу, фосфору та калію з наступним стрімким зменшенням родючості ґрунту та, як наслідок, урожаю майже всіх культур.

Система удобрення в сівозіні тісно пов'язана з урожайністю сільськогосподарських культур та інтенсивністю накопичення післяживно-коренових решток. Оптимальне чергування культур у сівозінах і підвищення врожайності сільськогосподарських культур на фоні внесення мінеральних та органічних добрив, сприяють більш інтенсивному накопиченню у ґрунті післяживно-коренових решток, які повертають значну частину раніше відчужених елементів живлення. За суттєвого скорочення обсягів використання органічних добрив в Україні за останні десятиліття, можлива часткова компенсація втрат поживних речовин за рахунок залишеної на полі нетоварної частини врожаю (побічної продукції).

Після вирощування польові культури залишають у ґрунті кореневі рештки які за цінністю поділяють на групи (Nosenko, 2011; Tsyliuryk, 2018):

- багаторічні трави (буркун, люцерна, конюшина, еспарцет), залишають у ґрунті понад 4 т/га негуміфікованих залишків;
- кукурудза на зерно, залишає після збирання 3–4 т/га решток;
- зернові колосові культури і соняшник, залишають 2–3 т/га органічної маси;
- горох на зерно і цукрові буряки, залишають близько 2 т/га коренових залишків.

Застосування соломи та інших рослинних решток, за відсутності гною, є одним із шляхів поповнення органічної речовини ґрунту, адже з рослинними рештками в ґрунт повертається певна кількість поживних речовин у більш легкодоступній формі. Для зменшення втрат азоту

з ґрунту, під час гуміфікації соломи, потрібно одночасно вносити азотні мінеральні добрива (Lykhochvog, 2008).

Зелені добрива позитивно впливають на агрохімічні, агрофізичні та біологічні властивості ґрунту, а також на його родючість. У результаті спостерігається збільшення врожайності та поліпшення якості продукції (Shuvar et al., 2016; Dovban, 1990).

Ефективний розвиток землеробства з використанням елементів біологізації технологічних процесів вирощування сільськогосподарських культур (особливо застосування сидератів у поєднанні з деструкцією соломи і післязливних решток) дозволить ефективніше управляти продукційними процесами та стабільно отримувати максимальну продуктивність (Shuvar et al., 2016; Viller, Kh., Lernoud & Kilkher Ed., 2013; Kisel, 2000).

Матеріали і методи досліджень. Дослідження здійснювали в ДУ «Держґрунтоохорона» впродовж 2016–2020 років у межах виконання проектно-технологічних та науково-дослідних робіт (Державний реєстраційний номер 0116U000338). За даними статистичної звітності (форма 9–сг та 29–сг) 2016–2020 років, враховуючи коефіцієнт гуміфікації, розраховувались надходження побічної продукції та поживно-кореневих решток, які залишаються на полях Київської області після вирощування сільськогосподарських культур (Vykorystannya dobrov i pestytsydiv pid urozhay sil'skohospodars'kykh kul'tur 2020 roku u Kyivskiy oblasti; 2019; 2018; 2017; 2016; Ploshchi, valovi zbory ta urozhaynist' sil'skohospodars'kykh kul'tur, plodiv, yahid ta vynohradu u hospodarstvakh Kyivskoyi oblasti u 2020 rotsi; 2019; 2018; 2017; 2016). Обліки проводили згідно Методичних вказівок з охорони ґрунтів (Вомба, М. Я., 2004).

Результати. Заданими Головного управління статистики упродовж 2016–2020 років досліджень у Київській

області на площі 4545,7 тис.га внесено 102302,9 тис. тонн побічної продукції. У 2020 році на площі 919,1 тис.га внесено 17357,6 тис. тонн побічної продукції, що порівняно з 2016 роком менше майже на 10% (1979,2 тис. тонн) (рис. 1).

У якості побічної продукції солома вносились на площі 4428,5 тис.га в кількості 6806,35 тис. тонн, в тому числі в 2020 році 135,36 тис. тонн на площі 1601,9 тис.га. Порівняно з 2016 роком кількість площ збільшилась на 75% (1204,84 тис. га) проте кількість внесеної соломи зменшилась у 15 разів (1962,6 тис. тонн), так у 2016 році на один гектар вносили майже 4,4 тис. тонн соломи, а в 2020 році цей показники знизився до 0,08 тис. тонн. Крім того, не дотримувались технології сумісного застосування соломи і азотних добрив.

Зменшення заорювання соломи для удобрення ґрунтів може бути наслідком таких актуальних питань для України як енергонезалежність і будівництво; де впроваджуються альтернативні перспективні заходи з виготовлення біопалива та пелет з біомаси соломи, а також будівництво енергозберігаючих будівель з солом'яних тюків і внутрішнього оздоблення з пресованої соломи. Не варто забувати й про таке безгосподарське загрозове явище, як спалювання сухої природної рослинності, стерні, соломи та післязбиральних залишків, що призводить до цілої низки небезпек; від безпосередньої загрози людському здоров'ю до порушення законодавства і знищення диких рослин та тварин. Проте, для утримання балансу поживних речовин, хоча б на нульовому рівні, обов'язкове виконання закону повернення речовин у ґрунт, який є аграрною варіацією закону збереження матерії. Тому ми обов'язково повинні повернути в ґрунт таку ж кількість поживних речовин, яку забрали.

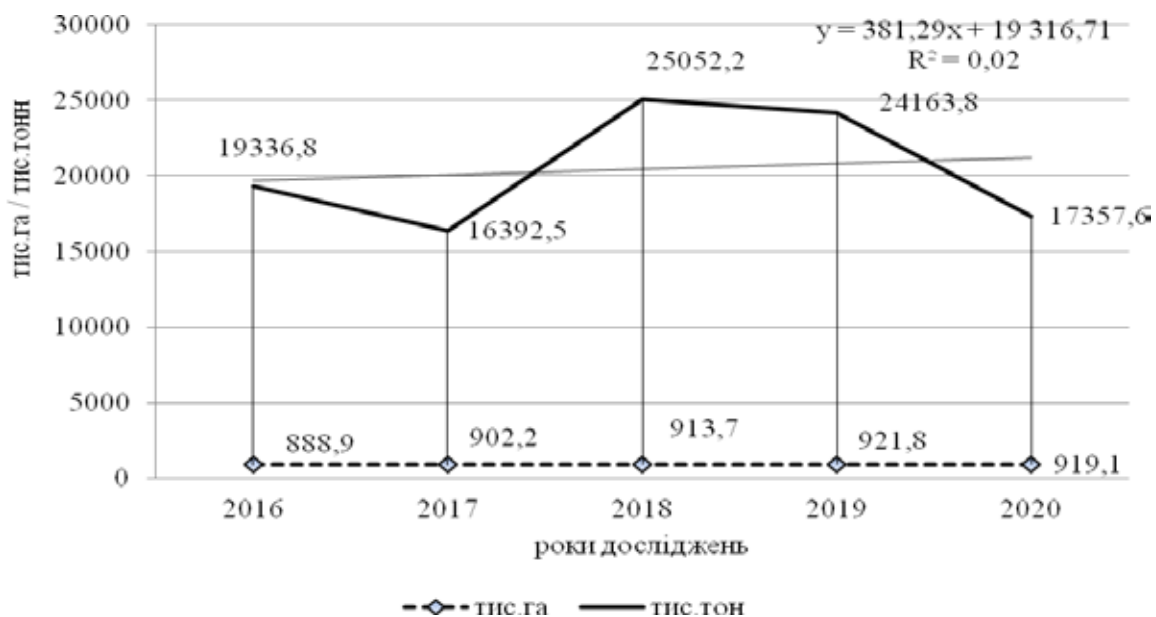


Рис. 1. Внесення побічної продукції в господарствах Київської області за 2016–2020 роки досліджень

Внесення зелених добрив є одним із ефективних і доступних способів підвищення родючості ґрунтів, насамперед бідних дерново-підзолистих легкого гранулометричного складу. Завдяки проведенню сидерації підвищується зв'язність ґрунту, в результаті чого поліпшується його водний режим, підсилюється життєдіяльність ґрунтових мікроорганізмів, зменшується забур'яненість полів. Ці екологічно чисті добрива застосовують, у першу чергу, на віддалених полях, а також у господарствах, де низький вихід органічних добрив.

Упродовж 2016–2020 років сидератів заорано на площі 280,2 тис. га в кількості 661,2 тис. тонн. У тому числі впродовж 2020 року було заорано 94,4 тис. тонн сидератів на площі 115,6 тис. га, таким чином на один гектар вносилося 0,8 тис. тонн сидеральних добрив. До порівняння, в 2016 році заорано 159,61 тис. тонн сидератів на площі 17,77 тис. га, на одному гектарі вносилося майже 9,0 тис. тонн зеленого добрива.

Площа сівби сидеральних добрив у Київській області збільшилась у 6,5 разів, а кількість сидератів зменшилась у 1,7 рази, що пов'язано, насамперед, з високими економічними затратами під час вирощування сидеральних культур. Динаміка внесення біологічної сировини у господарствах за останні п'ять років свідчить про незначне зниження біологізації ґрунтів Київської області ($R^2=0,02$).

Обговорення. Значною мірою запаси органічних речовин у ґрунті залежать від виду вирощуваних культур. Введення в сівозміни багаторічних трав забезпечує найбільше надходження біологічної маси та створює кращі умови для її гуміфікації. Натомість, насичення

сівозмін просапними культурами призводить до напруженого режиму органічних речовин ґрунту.

У 2020 році посівна площа трав становила 16,74 тис.га в тому числі багаторічних 9,6 тис.га, що на 57,9% менше порівняно з 2016 роком, коли посівна площа під травами становила 28,91 тис. га в тому числі багаторічних 17,27 тис.га. Величина достовірності апроксимації динаміки біологізації за рахунок трав свідчить про значне зниження посівних площ у Київській області ($R^2=0,99$) (рис. 2).

Порівняно з 2016 роком посівні площі під кукурудзою в 2020 році збільшились на 64,2% (129,89 тис. га), та в абсолютному визначенні становили 362,62 тис. га. Величина достовірності апроксимації динаміки біологізації за рахунок кукурудзи на зерно свідчить про стрімке значне збільшення посівних площ у Київській області ($R^2=0,96$).

Площі під зерновими колосовими (пшениця, жито, ячмінь озимі) знизилась порівняно з 2016 роком на 9,5% (16,87 тис. га) та в абсолютному визначенні становили 161,46 тис. га. Достовірність апроксимації характеризує дуже високе зниження з постійною швидкістю ($R^2=0,91$). За статистичними даними виявлене також значне зменшення посівних площ під зернобобовими культурами (горох та соя). Так у 2016 році зернобобові вирощувались на площі 162,4 тис. га, що порівняно з 2020 роком вище на 44,4% (72,03 тис. га) ($R^2=0,92$).

Під такими культурами як буряки цукрові та соняшник, порівняно з 2016 роком площі зросли відповідно на 3,3% (0,65 тис. га) та 10,8% (19,73 тис.га), про що свідчить слабке збільшення величини достовірності апроксимації ($R^2=0,01$ та $R^2=0,14$ відповідно).

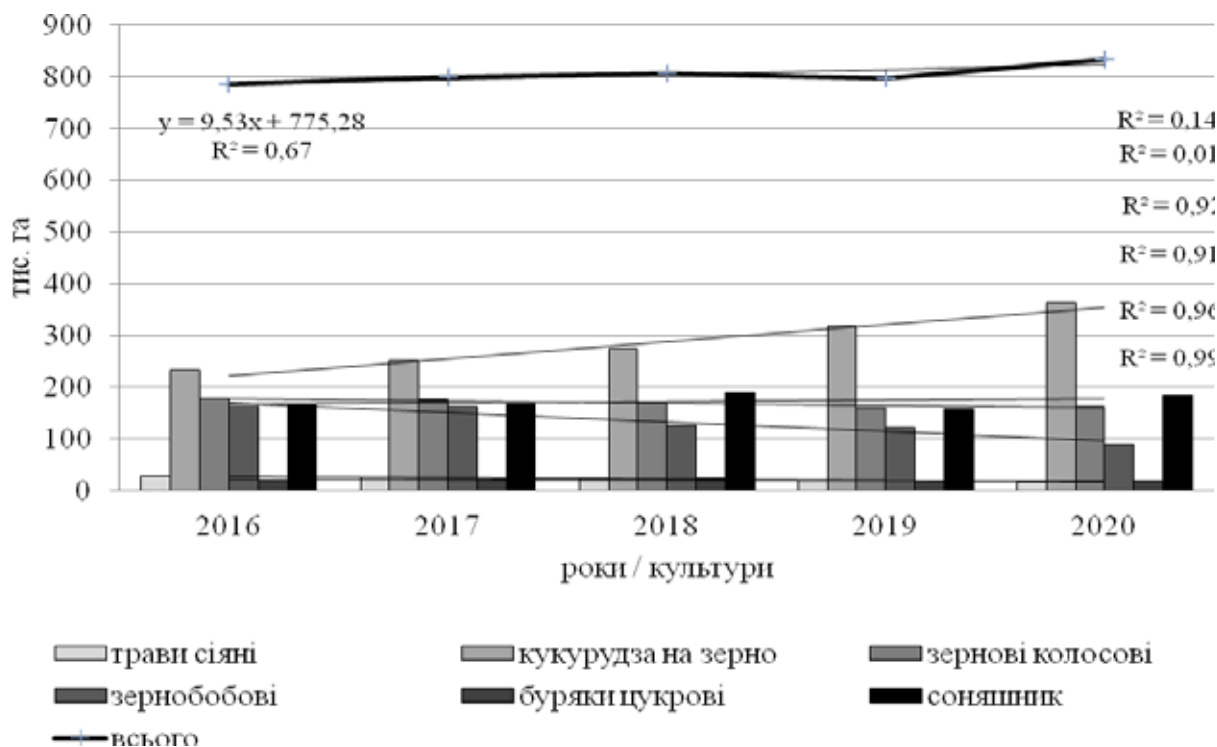


Рис. 2. Площі зайняті під окремі сільськогосподарські культури в господарствах Київської області за 2016–2020 роки досліджень

Загалом порівнюючи динаміку біологізації у господарствах Київської області встановлена тенденція до збільшення обсягів внесення біологічної сировини в ґрунт таких культур як трави сіяні, кукурудза на зерно, зернові колосові, зернобобові, буряки цукрові та соняшник, про що свідчить помітна величина достовірності апроксимації ($R^2=0,67$).

Дані можуть нести неповну інформацію так як згідно Закону України «Про державну статистику» щодо конфіденційності статистичної інформації значна частина господарств Київської області з 2016 року не оприлюднюють обсягів біологізації землеробства, що є неприпустимим за оцінки реального стану родючості ґрунтів.

Висновки. В основу наших досліджень поставлена проблема біологізації аграрного виробництва, як невід'ємної складової агросфери, яка ще донедавна розглядалася тільки з позицій екологічно безпечного використання, насамперед, засобів хімізації. Проте за

сучасних соціально-економічних умов роль біологічних факторів у нашій державі значно зросла.

У динаміці біологізації ґрунтів Київської області за останні п'ять років встановлена тенденція до збільшення обсягів внесення біологічної сировини в ґрунт лише за рахунок побічної продукції кукурудзи, соняшнику та незначної кількості буряків, проте для досягнення бездефіцитного балансу органічної речовини і біогенних елементів сівозміни потрібне введення в сівозміни багаторічних трав, зернових і зернобобових культур з оптимальним чергування культур.

Донесення реальної інформації про стан родючості ґрунтів до свідомості кожного відповідального працівника агропромислового комплексу, активу сільських та селищних рад через «Картограми якісної оцінки ґрунтів» змінить відношення сільських громад і влади до загальнонаціонального багатства – землі і її невід'ємної складової частки – ґрунту.

Бібліографічні посилання:

1. Bomba, M. Ya. (2004). Naukovi ta prykladni aspekty biolohichnoho zemlerobstva [Scientific and applied aspects of organic farming]. Ukrainian technologies, Lviv (in Ukrainian).
2. Chaney, R. L. (2001) Heavy metal aspects of compost use. Compost utilization in horticultural cropping systems. Boca Raton, FL, CRC Press LLC. 324–359.
3. Dovban, K. Y. (1990) Zelenoye udobreniye [Green manure]. Agropromizdat, Moscow (in Russian).
4. Hrabak, N. Kh. (2011). Ekolohichnyy napryam u zemlerobstvi ta yoho perspektyva [Ecological direction in agriculture and its prospects]. Ekolohiya – Ecology, 140, 20–25 (in Ukrainian).
5. Hrekov, V. O. (2011). Metodychni vkazivky z okhorony hruntiv [Methodical instructions on soil protection]. Kyiv (in Ukrainian).
6. IAS UAAS (2005; 2011) Ahropromyslovyy kompleks Ukrayiny: stan ta perspektyvy rozvytku [Agro-industrial complex of Ukraine: state and prospects of development]. Kyiv (in Ukrainian).
7. Kisel, V. I. (2000) Biologicheskoye zemledeliye v Ukraine: problemy i perspektyvy [Biological farming in Ukraine: problems and prospects]. Barcode, Kharkov (in Russian).
8. Lykhochvor, V. V. (2008) Dobryvna al'ternatyva [Fertilizer alternative]. Zerno – Grain. 3, 62–72 (in Ukrainian).
9. Nosenko, Yu. (2011). Syderaty [Siderati]. Ahrobiznes s'ohodni – Agribusiness today, 12, 24–27 (in Ukrainian).
10. Ploshchi, valovi zbory ta urozhaynist' sil'skohospodars'kykh kul'tur, plodiv, yahid ta vynohradu u hospodarstvakh Kyivs'koyi oblasti u 2020 rotsi: statystychnyy byuleten' [Areas, gross harvests and yields of crops, fruits, berries and grapes in farms of Kyiv region in 2020 : statistical bulletin]. Kyiv (in Ukrainian).
11. Ploshchi, valovi zbory ta urozhaynist' sil'skohospodars'kykh kul'tur, plodiv, yahid ta vynohradu u hospodarstvakh Kyivs'koyi oblasti u 2019 rotsi: statystychnyy byuleten' [Areas, gross harvests and yields of crops, fruits, berries and grapes in farms of Kyiv region in 2019: statistical bulletin]. Kyiv (in Ukrainian).
12. Ploshchi, valovi zbory ta urozhaynist' sil'skohospodars'kykh kul'tur, plodiv, yahid ta vynohradu u hospodarstvakh Kyivs'koyi oblasti u 2018 rotsi: statystychnyy byuleten' [Areas, gross harvests and yields of crops, fruits, berries and grapes in farms of Kyiv region in 2018 : statistical bulletin]. Kyiv (in Ukrainian).
13. Ploshchi, valovi zbory ta urozhaynist' sil'skohospodars'kykh kul'tur, plodiv, yahid ta vynohradu u hospodarstvakh Kyivs'koyi oblasti u 2017 rotsi: statystychnyy byuleten' [Areas, gross harvests and yields of crops, fruits, berries and grapes in farms of Kyiv region in 2017: statistical bulletin]. Kyiv (in Ukrainian).
14. Ploshchi, valovi zbory ta urozhaynist' sil'skohospodars'kykh kul'tur, plodiv, yahid ta vynohradu u hospodarstvakh Kyivs'koyi oblasti u 2016 rotsi: statystychnyy byuleten' [Areas, gross harvests and yields of crops, fruits, berries and grapes in farms of Kyiv region in 2016: statistical bulletin]. Kyiv (in Ukrainian).
15. Shuvar, I. et al. (2016) Biolohizatsiya zemlerobstva v Ukrayini, realiyi ta perspektyvy [Biologization of agriculture in Ukraine, realities and prospects]. Ivano-Frankivsk: Symphony forte (in Ukrainian).
16. Skrypnyk, O.M. (2014) Khimizatsiya yak holovnyy chynnyk intensyfikatsiyi sil'skohospodars'koho vyrobnytstva v SRSR (1960-1980-ti rr.) [Chemistry as the main factor in the intensification of agricultural production in the USSR (1960-1980's)] Naukovi pratsi istorychnoho fakul'tetu Zaporiz'koho natsional'noho universytetu – Scientific works of the historical faculty of Zaporizhia National University, 41, 129–132 (in Ukrainian).
17. Tsyliuryk, O. (2018) Dbayemo pro rodyuchist' gruntu [We care about soil fertility]. URL: <http://agro-business.com.ua/agro/ahronomiia-sohodni/item/11611-dbayemo-pro-rodychist-gruntu.html> (in Ukrainian).
18. Viller, Kh., Lernoud, D. & Kilkher, L. (Ed.) (2013). Svit orhanichnoho sil'skoho hospodarstva. Statystyka ta tendentsiyi 2013 roku. Doslidnyy instytut orhanichnoho sil'skoho hospodarstva (FiBL) [The world of organic agriculture. Statistics and trends of 2013. Research Institute of Organic Agriculture (FiBL)]. Kyiv: FOP Lesin MV (in Ukrainian).
19. Vykorystannya dobryv i pestytsydiv pid urozhay sil'skohospodars'kykh kul'tur 2020 roku u Kyivs'koyi oblasti: statystychnyy byuleten' [Use of fertilizers and pesticides for the 2020 harvest of crops in Kyiv region: statistical bulletin]. Kyiv (in Ukrainian).

20. Vykorystannya dobrov i pestytsydiv pid urozhay sil's'kohospodars'kykh kul'tur 2019 roku u Kyivskiy oblasti: statychnyy byuleten' [Use of fertilizers and pesticides for the 2019 harvest of crops in Kyiv region: statistical bulletin]. Kyiv (in Ukrainian).

21. Vykorystannya dobrov i pestytsydiv pid urozhay sil's'kohospodars'kykh kul'tur 2018 roku u Kyivskiy oblasti: statychnyy byuleten' [Use of fertilizers and pesticides for the 2018 harvest of crops in Kyiv region: statistical bulletin]. Kyiv (in Ukrainian).

22. Vykorystannya dobrov i pestytsydiv pid urozhay sil's'kohospodars'kykh kul'tur 2017 roku u Kyivskiy oblasti: statychnyy byuleten' [Use of fertilizers and pesticides for the 2017 harvest of crops in Kyiv region: statistical bulletin]. Kyiv (in Ukrainian).

23. Vykorystannya dobrov i pestytsydiv pid urozhay sil's'kohospodars'kykh kul'tur 2016 roku u Kyivskiy oblasti: statychnyy byuleten' [Use of fertilizers and pesticides for the 2016 harvest of crops in Kyiv region: statistical bulletin]. Kyiv (in Ukrainian).

Zaitsev Yu.O., Doctor of Economic Sciences, Professor, Institute of soil protection of Ukraine, Kyiv, Ukraine

Kyrylchuk A.M., Candidate of Agricultural Sciences, Institute of soil protection of Ukraine, Kyiv, Ukraine

Osloпова M.V., Phd (Economics), Institute of soil protection of Ukraine, Kyiv, Ukraine

Byproducts as an element of biologization of soil agriculture in the Kyiv Region

The results of research in the laboratory for the protection and improvement of soil fertility and project documentation in 2016–2020 are presented. SE “Institute for Soil Protection of Ukraine”

According to the statistical reporting (form 9-SG and 29-SG) for 2016–2020, taking into account the humification coefficient, were calculated the receipts of by-products and crop and root residues that remain on the fields of the Kiev region after growing crops.

For 2016–2020, 102,302.9 thousand t of by-products were introduced in the Kiev region on an area of 4,545.7 thousand hectares, including 17,357.6 thousand tons in 2020 on an area of 919.1 thousand hectares, which is compared to from 2016, almost 10% less (1979.2 thousand tons).

Straw was introduced in the amount of 6806.35 thousand tons on an area of 4428.5 thousand hectares, including 135.36 thousand t in 2020 on an area of 1601.9 thousand ha, which is 75% more than in 2016 (1204.84 thousand ha), but the amount of straw applied decreased 15 times (1962.6 thousand t). For comparison, in 2016, almost 4.4 thousand t of straw were applied per hectare, and in 2020 only 0.08 thousand t.

Green manure plowed on an area of 280.2 thousand ha in the amount of 661.2 thousand t, including during 2020 – 94.4 thousand t on an area of 115.6 thousand ha, t of were applied per ha 0.8 thousand t tons of green manure. By comparison, in 2016, 159.61 thousand t of green manure were plowed on an area of 17.77 thousand ha, almost 9.0 thousand tons of green fertilizer were applied per hectare.

The dynamics of the introduction of biological raw materials on farms over the past five years indicates a decrease in the biologization of soils in the Kiev region ($R^2=0.02$).

A trend towards an increase in the volume of biological raw materials introduced into the soil of the Kiev region of such crops as sown herbs, corn for grain, grain crops, legumes, sugar beets and sunflowers ($R^2=0.67$) has been established.

To achieve a deficit-free balance of organic matter and biogenic elements, it is necessary to introduce perennial grasses, cereals and leguminous crops into crop rotations with optimal crop rotation.

In the soils of the Kiev region, the trend towards an increase in the volume of biological raw materials introduced into the soil was achieved only due to the by-products of corn, sunflower and a small amount of sugar beet.

Real information about the state of soil fertility brought to the consciousness of every responsible worker of the agro-industrial complex through the “Cartograms of the qualitative assessment of soils” will change the attitude of society towards the land and its integral part – the soil.

Key words: by-products, harvest and root residues, humification coefficient, balance, humus, organic matter, fertilizers.

ПРОДУКТИВНІСТЬ МАТОЧНИХ КУЩІВ ВІНОГРАДУ ЗА ВПЛИВУ КРАПЛИННОГО ЗРОШЕННЯ І ЗМЕНШЕННЯ НАВАНТАЖЕННЯ СУЦВІТТЯМИ

Зеленянська Наталя Миколаївна

доктор сільськогосподарських наук
Національний науковий центр «Інститут виноградарства і виноробства
імені В.Є. Таїрова», м. Одеса, Україна
ORCID: 0000-0002-9303-8686
natalyanikolaevna2019@ukr.net

Гогулінська Олена Іванівна

кандидат сільськогосподарських наук, старший науковий співробітник
Національний науковий центр «Інститут виноградарства і виноробства
імені В.Є. Таїрова», м. Одеса, Україна
ORCID: 0000-0003-3542-6143
helena.kovb@gmail.com

Артюх Микола Миколайович

кандидат сільськогосподарських наук, старший науковий співробітник
Національний науковий центр «Інститут виноградарства і виноробства
імені В.Є. Таїрова», м. Одеса, Україна
ORCID: 0000-0002-4180-4588
beenzin85@gmail.com

Борун Василь Васильович

кандидат сільськогосподарських наук, старший науковий співробітник
Національний науковий центр «Інститут виноградарства і виноробства
імені В.Є. Таїрова», м. Одеса, Україна
ORCID: 0000-0002-3431-5612
borunv@ukr.net

На даний час в Україні мало промислових маточних насаджень прищепних сортів винограду, у зв'язку з цим складним є отримання достатньої кількості якісних чубуків та садивного матеріалу, тому актуальною є розробка агротехнічних заходів для інтенсивного ведення насаджень. Дослідження проводили на столовому сорті винограду Августин, кущі якого по-різному навантажували суцвіттями (50, 75 та 100 % від закладеної кількості), та зрошували (рівень передполивної вологості ґрунту (РПВГ) становив 70, 80 та 90 % від найменшої вологості ґрунту (НВ), варіант контроль – природнє зволоження). Проводили обліки врожаю ягід та прищепної лози винограду, а згодом – щеплених саджанців винограду. Урожай ягід з кущів винограду на зрошенні з 100 %-ним навантаженням суцвіттями перевищував контрольні показники на 22,0–28,4 %, у залежності від РПВГ. При зменшенні кількості суцвітть на кущ до 50–75 % середня маса грона зростала до 452–593 г, а цукристість та кислотність соку ягід досягали оптимальних значень у варіантах з РПВГ 70 % НВ 50 % та 75 % суцвітть. За вмістом вологи, вуглеводів та анатомічною структурою пагонів винограду виділялись варіанти на зрошенні з меншим навантаженням суцвіттями, зокрема варіант з РПВГ 70 % НВ 50 % суцвітть у якому сума вуглеводів у лозі дорівнювала 19,2 % від сухої маси. Діаметр серцевини пагонів кущів цього варіанту залишався на рівні контролю. Найбільшу кількість прищепної лози отримано у варіантах з поливом (РПВГ 70 % НВ) та навантаженням 50 % суцвітть, а однорічкових чубуків найбільше було у варіантах з поливом РПВГ 90 % НВ. Кількість виготовлених щеп була найбільшою у варіантах 80 % та 90 % НВ 50 % та 75 % суцвітть. За показниками приживлюваності щеп винограду у шкільці та виходу стандартних саджанців із шкільки найкращими були варіанти з навантаженням кущів суцвіттями 50 % та РПВГ 70 % НВ. Таким чином, на маточниках прищепних лоз столових сортів винограду півдня України рекомендовано підтримувати вологість ґрунту на рівні 70 % НВ, а на кущах залишати тільки 50 % суцвітть від потенційно закладених.

Ключові слова: прищепні маточники винограду, рівень передполивної вологості ґрунту, кількість суцвітть, урожай ягід, прищепна лоза, щеплені саджанці винограду.

DOI <https://doi.org/10.32845/agrobio.2022.2.11>

Вступ. Маточники прищепної лози – це спеціальні насадження столових та технічних сортів винограду, урожай з яких визначають за кількістю заготовлених

чубуків, стандартних за довжиною, товщиною та іншими показниками (Дукан, 2001). На даний час в Україні дуже мало промислових маточних насаджень прищепних

сортів винограду, у зв'язку з чим отримання достатньої кількості якісних чубуків, а відповідно і садивного матеріалу цінних сортів, є складним завданням (Vlasov, 2015). Тому на маточниках винограду всі агротехнічні прийоми та заходи мають бути спрямовані на вирощування сильних кущів, що забезпечують оптимальний ріст та хороше визрівання однорічної лози. Переважна більшість досліджень стосується агротехніки та особливостей ведення маточників підщепних лоз винограду (Waite et al., 2015; Rahemi et al., 2022). Найбільший вплив на ріст та розвиток рослин проявляють обрізка та операції з зеленими частинами виноградного куща (Feitosa et al., 2018; Almanza-Merchán et al., 2014; Kumar et al., 2017), також рекомендованим є часткове або повне видалення грон на кущах, однак у останньому випадку зростають трудові затрати, ускладнюється щорічна перевірка продуктивності кущів, можливе збільшення кількості товстих жируючих пагонів з великою серцевиною, непридатних для виготовлення щеп (Ursu, 1989; Mikitenko et al., 1990). Технологічний прийом часткового видалення суцвіть на маточних кущах винограду не є таким поширеним у агротехніці маточників, але підтвердженням його застосування є відомості, що кущі, в яких у попередні 1–2 роки повністю чи частково видаляли суцвіття, краще розвивалися, ставали більш однорідними за силою росту, запасали більшу кількість пластичних речовин (Ursu, 1989). Показано, що нормування кількості суцвіть на кущ після встановлення оптимальної кількості пагонів сприяє істотному збільшенню площі листової поверхні та продуктивності куща (Kozhukhareno, 2013). Застосування часткового або повного видалення грон винограду при вирощуванні чубуків на маточниках сприяло як збільшенню виходу чубуків з гектара, так і значному підвищенню вмісту в них вуглеводів (Mikitenko et al., 1990). Прийом часткового видалення суцвіть на маточних кущах потребує детальних досліджень та є актуальним з огляду на можливість отримання більшої кількості високоякісної прищепної лози.

Оптимальний режим вологості ґрунту можна підтримувати різними способами поливу, але саме краплинне зрошення кваліфіковано як найбільш екологічнобезпечний спосіб мікрозрошення з точки зору впливу на стан та властивості ґрунтів (Romashchenko et al., 2019; Riabkov, 2021). Встановлено, що саме при краплинному зрошенні протягом вегетаційного періоду кущів підтримується оптимальний режим вологості в локальному шарі ґрунту, скорочуються витрати води, зростає врожайність винограду (Shevchenko, 2019). Підтримання оптимального діапазону вологості у шарі ґрунту, де розміщується основна частина кореневої системи рослин є основою формування режиму зрошення виноградників. Національним стандартом України визначені режими зрошення промислових насаджень столових та технічних сортів винограду, згідно з якими рівень передполивної вологості кореневого шару ґрунту (РПВГ) залежно від фази розвитку та водно-фізичних властивостей ґрунтів повинен становити 70-80 % найменшої вологоємності (НВ) для столових сортів винограду та 65-75 % НВ для технічних сортів. За період вегетації технічних сортів рекомендовано проводити 7-12 поливів,

за період вегетації столових сортів – 10-15 поливів (DSTU 7595:2014, 2015).

Для маточників прищепної лози винограду таких розробок щодо режиму зрошення немає, є окремі відомості, що маточники як прищепної так і підщепної лози слід культивувати на зрошенні. Наприклад, застосування крапельного поливу для підтримання вологості ґрунту в межах 70–100 % НВ (3–6 поливів нормами 100–120 м³/га, зрошувальна норма включно з вологозарядковими поливами становить в середньому 630–800 м³/га на рік) є достатнім для маточних кущів винограду (Mikitenko et al., 1990). Таким чином, оптимальні режими краплинного зрошення на маточниках прищепних лоз не визначені та потребують подальших досліджень.

Сумарне водоспоживання виноградника, як у цілому за вегетаційний період, так і за окремі його фенологічні фази, суттєво залежить від метеорологічних умов, режиму краплинного зрошення, біологічних властивостей виноградної рослини, є динамічною величиною та істотно впливає на врожайність винограду (Susaj et al., 2016).

Найкращі умови для росту, розвитку і формування високої врожайності молодих виноградників столових сортів забезпечує режим краплинного зрошення за підтримання РПВГ на рівні 80 % НВ у шарі 20–80 см. Залежно від фази розвитку поливи столового винограду слід проводити нормою 90 м³/га (фаза розпускання бруньок – цвітіння), 120–130 м³/га (фаза ріст ягід – досягання), 150 м³/га (період найбільшого приросту біомаси) (Teťorkina, 2011).

На зрошуваних насадженнях винограду сорту Шардоне встановлено, що кількість плодоносних пагонів, площа листової поверхні та врожай ягід значною мірою зростала в роки зі сприятливими погодними умовами та при проведенні вегетаційних поливів краплинним зрошенням за ресурсоощадною та біологічно оптимальною схемою (Vozhegov et al., 2021).

Зростаючий попит на зрошення виноградників вимагає підвищення ефективності використання води. Зрошення з обмеженими нормами поливу (дефіцитне зрошення) з'явилося досить давно як потенційна стратегія, яка дозволяє культурам протистояти слабкому водному стресу з незначним зменшенням врожаю або без цього, а також позитивно впливає на якість плодів (Chaves et al., 2010; Temnani et al., 2021). При дефіцитному зрошенні технічного сорту винограду Бобаль при нормах поливу, що замінювали лише 35% оціненої евапотранспірації врожаю, відмічено зменшення продуктивності рослин, а у ягодах визначено вищі концентрації сухої речовини та фенольних сполук, а також нижчий показник рН (Pérez-Álvarez et al., 2021). У результаті зменшення кількості поливної води у період між цвітінням та досяганням ягід винограду технічного сорту Конкорд на 25 %, 33 % та 45 % знижувався врожай ягід, особливо істотно у варіанті – 45 %, однак урожайність кущів відновлювалася в наступні сезони (Stout et al., 2017).

У наступному дослідженні розглядалася можливість застосування зрошення з регульованим дефіцитом вологи під час та після збирання врожаю винограду

сорту Шардоне. Окрім змін характеристик соку ягід, важливих для виробництва шампанських вин, також відмітили зниження вмісту крохмалю в тканинах коренів, що може впливати на вегетативний ріст і врожайність у наступному вегетаційному періоді (Prats-Llinàs et al., 2019). При зрошенні з регульованим дефіцитом винограду столового сорту Мускат олександрійський у сокові ягід визначили більший вміст сухої речовини, фруктози та амінокислот, меншу кількість яблучної кислоти, також зменшувався розмір ягід (El-Ansary & Okamoto, 2008).

При застосуванні системи прямого зрошення кореневої зони визначили, що збільшення глибини поливу від 30 см до 90 см не мало істотного впливу на врожайність винограду та ефективність використання води; однак призводило до зменшення кількості та довжини коренів на 46–59 % у верхньому профілі ґрунту (0–60 см). Помірні норми зрошення (на 35 % менше середнього використання води) призводили до підвищення ефективності використання води кущами на 14–23 % і лише в окремих випадках до зниження врожайності винограду на 15–18 %. (Ma et al., 2019). У іншому дослідженні оцінювали різні системи крапельного зрошення при культивуванні винограду сорту Каберне Совіньйон – одну поверхневу та дві підземні системи крапельного зрошення, причому лінія крапельного зрошення була розташована на різній відстані від штамбу. Встановлення лінії поливу біля штамбу позитивно впливало на ріст стовбура та коренів, а встановлення лінії поливу на відстані 1,20 м від стовбура підвищувало врожайність (Pisciotta et al., 2018).

Метою нашої роботи було на основі кількісних і якісних показників урожаю ягід, лози кущів винограду розробити ефективні режими краплинного зрошення та встановити оптимальне навантаження пагонів суцвіттями для одержання прищепної лози винограду.

Матеріали і методи досліджень. Роботу виконували у відділі розсадництва і розмноження винограду ННЦ «ІВІВ ім. В. Є. Таїрова» протягом 2016–2020 рр. Дослідження проводили на столовому сорті винограду Августин раннього строку дозрівання, кущі якого було висаджено за схемою 2,5×2,0 м навесні 2010 р. Формування кущів – горизонтальний двоштамбовий кордон з висотою штамбу 70 см, навантаження пагонами – 26–28 шт. на кущ. Ґрунт дослідної ділянки – чорнозем південний середньосуглинковий.

Дослідження проводили за схемою:

Варіант 1 – РПВГ 90% НВ протягом усього періоду вегетації рослин

Варіант 1.1. – 100% навантаження кущів суцвіттями (30–33 шт./кущ);

Варіант 1.2. – 75% навантаження кущів суцвіттями (24–25 шт./кущ);

Варіант 1.3. – 50% навантаження кущів суцвіттями (15–16 шт./кущ);

Варіант 2 – РПВГ 80% НВ протягом усього періоду вегетації рослин

Варіант 2.1. – 100% навантаження кущів суцвіттями;

Варіант 2.2. – 75% навантаження кущів суцвіттями;

Варіант 2.3. – 50% навантаження кущів суцвіттями;

Варіант 3 – РПВГ 70% НВ протягом усього періоду вегетації рослин

Варіант 3.1. – 100% навантаження кущів суцвіттями;

Варіант 3.2. – 75% навантаження кущів суцвіттями;

Варіант 3.3. – 50% навантаження кущів суцвіттями;

Варіант 4 – Контроль (без поливу)

Варіант 4.1. – 100% навантаження кущів суцвіттями;

Варіант 4.2. – 75% навантаження кущів суцвіттями;

Варіант 4.3. – 50% навантаження кущів суцвіттями.

У кожному варіанті було по 5 облікових кущів у 4-х повторностях.

Для поливу виноградних насаджень використовували крапельні трубки діаметром 16 мм з інтегрованими водовипусками через кожні 45 см і витратою води 1,5 дм³/год, які підвішували до шпалерного дроту. Вологість ґрунту контролювали термостатно-ваговим методом один раз на тиждень у прошарку ґрунту 0 – 80 см. Строки проведення поливів і тривалість міжполивного періоду визначали на основі динаміки вологозапасів кореневмісного шару ґрунту та розподілу опадів. Основою для підтримання РПВГ 90% НВ, 80% НВ, 70% НВ була найменша вологемікість ґрунту, яку визначили у непорушеному ґрунті методом заливних майданчиків. Величину норми поливу розраховували за формулою О. М. Костякова. Встановлено, що у шарі 0–80 см НВ дорівнює 27,03 % від маси сухого ґрунту.

У середньому за роки досліджень у досліді 1, де РПВГ підтримували на рівні 90 % НВ було проведено 5,3 поливи (від 4 до 8 поливів за сезон), поливна норма дорівнювала 81,9 м³/га, зрошувана норма – 504,0 м³/га. У досліді 2 з РПВГ 80 % НВ в середньому кількість поливів була 3,7 (від 2 до 5 поливів на сезон) з поливною нормою 91,3 м³/га, зрошувана норма дорівнювала 414,0 м³/га. У досліді 3 з РПВГ 70 % НВ у середньому було проведено 2 поливи (від 1 до 4 поливів за сезон), поливна норма дорівнювала 99,2 м³/га, а зрошувана норма – 157,5 м³/га. У контролі зволоження ґрунту було природнім.

У серпні-вересні проводили обліки врожаю ягід, визначали основні показники його якості (Sherer & Zelenyanskaya, 2011). Після закінчення вегетаційного періоду у грудні з маточних кущів кожного варіанту заготовлювали прищепну лозу і закладали на зберігання на зиму. У тканинах лози визначали вміст вологи термостатно-ваговим методом, кількість вуглеводів та вміст крохмалю, вивчали анатомічну будову пагонів (Pochinok, 1976).

Навесні наступного року прищепну лозу нарізали на одновічкові чубуки та використовували для виготовлення щеплених саджанців винограду на підщепі Р×Р. 101–14. Процес щеплення механізований, з використанням машин типу «Омега Стар» з омегоподібним вирізом на компонентах щеплення. Перед висаджуванням щепи сортували, вибраковуючи ті, що не мали кругового калюсу та живого вічка. Щепи висаджували у зрошувану шкільку відкритого ґрунту у першій декаді травня, розташовуючи їх на поверхні ґрунтових «горбиків» під чорною поліетиленовою плівкою.

Підготовка ґрунту для садіння щеп винограду, операції з зеленими частинами рослин, обробка від шкідників і хвороб відповідали загальноприйнятій технології.

Ширина міжрядь у шкільці становила 1,4 м, середня відстань між щепами у ряду 7–10 см.

Отримані результати оброблені за допомогою програми ANOVA та прикладного пакету програм Microsoft Excel.

Результати. Щоб отримати високоякісну прищепну лозу винограду, необхідно забезпечити гарний розвиток приросту та своєчасне визрівання пагонів стандартного діаметру на материнських кущах. У попередніх дослідженнях ми встановили, що зрошення кущів та зменшення навантаження суцвіттями позитивно впливали на фізіологічні, біохімічні, агробіологічні показники маточних кущів винограду, зокрема, сприяли росту середніх та сильних повноцінних пагонів (довжиною більше 150 см), які є більш продуктивними (Zelenuanska et al., 2021).

На маточниках інтенсивного типу зазвичай вирощують помірний врожай ягід для щорічного контролю продуктивності кущів. Оскільки в багатьох випадках виноградари не мають змоги виділити ділянку для культивування маточних кущів винограду винятково для отримання прищепної лози, то є актуальним питання одночасного отримання помірного якісного врожаю ягід винограду та лози винограду з високими показниками якості. З огляду на це ми проаналізували урожай ягід на маточних кущах, а після завершення вегетаційного періоду – вихід стандартних прищепних чубуків винограду.

Зрошення кущів винограду, безумовно, позитивно впливало на масу урожаю ягід. Так, визначили, що при навантаженні 100 % суцвітть маса урожаю з куща була найбільшою у варіантах з РПВГ 90 % НВ – 14,0 кг/кущ, дещо менше у варіантах 70 та 80 % НВ – 13,3–13,4 кг/кущ, що на 22,0–28,4 % перевищувало контрольні значення; середня маса грона у вказаних варіантах становила 408,3–437,9 г, що більше контролю на 19,4–28,0 % (табл. 1). У варіантах з меншим навантаженням суцвіттями 75 та 50 % спостерігали аналогічну тенденцію

відносно контрольних кущів з таким же навантаженням суцвіттями. Також, у кожному з варіантів поливу – 90, 80, 70 % НВ – є пряма залежність кількості суцвітть і маси врожаю (зі зменшенням кількості суцвітть маса врожаю ягід з куща зменшувалась) та зворотна залежність з масою одного грона (при зменшенні кількості суцвітть на кущ маса одного грона зростала).

Важливими якісними показниками для урожаю ягід столових сортів винограду є зовнішній вигляд грон, колір, смак та запах, а також масова концентрація у ягодах цукрів (не менше 120 г/дм³) та ін. (DSTU 2438:2014, 2015). Всі зібрані грона мали характерні для даного сорту винограду ампелографічні ознаки, за зовнішнім виглядом їх віднесли до першого товарного сорту. Встановлено, що за краплинного зрошення була незначна тенденція до зниження вмісту цукрів та підвищення кислотності соку ягід порівняно з контролем. Найбільше накопичення в ягодах винограду цукрів спостерігали у варіантах без зрошення (192,4–197,1 г/дм³) та на поливі за РПВГ 70 % НВ (192,1–194,3 г/дм³), а найменше – у варіантах з максимальним поливом 90 % НВ (178,2–180,4 г/дм³). Проте зменшення кількості суцвітть на кущах до 50–75 % сприяло більшому накопиченню цукрів у ягодах.

Вміст органічних кислот у ягодах винограду незначний, але вони істотно впливають на його смакові якості. Найвищий показник кислотності був у варіантах з 50 та 75 % суцвітть з РПВГ 80 % НВ – 8,2–8,3 г/дм³, у решти варіантах та контролі кількість кислот була на рівні 7,8–8,1 г/дм³.

Смак ягід винограду визначають за співвідношенням цукрів та кислот, що виражається у глюкоцидометричному показнику (ГАП). Для столових сортів ГАП має знаходитися на рівні 25, що вказує на гармонійність смаку ягід. Визначили, що у всіх варіантах ГАП коливався від 22,4 до 24,7.

Таблиця 1

Основні показники кількості та якості врожаю ягід винограду сорту Августин за впливу РПВГ та навантаження кущів суцвіттями (середнє за 2016–2020 рр.)

| Варіанти досліджу | Маса одного грона, г | Маса урожаю з куща, кг | Урожайність, т/га (розрахункова) | Цукристість соку ягід, г/дм ³ | Кислотність соку ягід, г/дм ³ | ГАП |
|-------------------|----------------------|------------------------|----------------------------------|--|--|------|
| 90 % НВ | | | | | | |
| 1.1. | 437,9 | 14,0 | 28,0 | 178,2 | 7,8 | 22,8 |
| 1.2. | 476,9 | 11,6 | 23,4 | 180,1 | 8,0 | 22,5 |
| 1.3. | 593,7 | 9,5 | 19,0 | 180,4 | 8,0 | 22,6 |
| 80 % НВ | | | | | | |
| 2.1. | 408,3 | 13,3 | 26,5 | 184,2 | 7,9 | 23,3 |
| 2.2. | 471,6 | 11,8 | 23,6 | 186,0 | 8,3 | 22,4 |
| 2.3. | 484,3 | 7,3 | 14,5 | 186,3 | 8,2 | 22,7 |
| 70 % НВ | | | | | | |
| 3.1. | 426,6 | 13,4 | 26,9 | 192,4 | 8,0 | 24,1 |
| 3.2. | 451,6 | 10,8 | 21,7 | 192,5 | 7,8 | 24,7 |
| 3.3. | 488,0 | 7,3 | 14,6 | 194,3 | 8,1 | 24,0 |
| Контроль | | | | | | |
| 4.1. | 342,1 | 10,9 | 21,9 | 197,1 | 8,0 | 24,6 |
| 4.2. | 359,7 | 8,8 | 17,7 | 195,6 | 8,0 | 24,5 |
| 4.3. | 385,8 | 6,1 | 12,3 | 192,4 | 8,1 | 23,8 |

Як відомо, головними факторами високої регенерації чубуків винограду є хороше визрівання пагонів, накопичення в них поживних речовин, формування вічок, оптимальний вміст вологи (DSTU 4390:2005, 2005). Згідно з Національним стандартом ці показники у здрев'янілих чубуках та саджанцях повинні дорівнювати – вміст вологи не менше 46 % від повітряно-сухої маси, а вміст вуглеводів не менше 12 %. Встановлено, що вміст води у тканинах пагонів був у межах 49,1–50,8 %, лише у варіантах зі зрошенням РПВГ 80 % НВ та 90 % НВ при навантаженні 50 % суцвіть була достовірною різниця з контролем (більше на 3,9–4,5 %).

Після закінчення вегетації вуглеводи становлять основну частину запасів поживних речовин у багаторічних органах виноградної рослини (Perstnev, 2001). Визначено, що загальна кількість вуглеводів перевищувала стандартні показники в усіх дослідних і контрольних варіантах (рис. 1). Так, кількість цукрів була на рівні 7,8–10,6 % сухої маси, а вміст крохмалю – 5,9–9,4 %, сума вуглеводів становила таким чином 14,2–19,2 %. Загалом, найбільша кількість цукрів була у варіанті 80 % НВ з різним навантаженням суцвіттями, що на 15,5–18,2 % більше, ніж у контролі, а найменший вміст цукрів зафіксували

у варіанті 90 % НВ 75–100 % суцвіть – в у контрольному та всіх дослідних варіантах з навантаженням 100 % суцвіть та становила 5,9–7,2 % сухої маси. Сума вуглеводів зростала у варіантах з меншим навантаженням суцвіттями, досягаючи найбільших значень у варіанті 70 % НВ 50 % суцвіть, де перевищувала контроль на 8,8 %.

Анатомічна будова пагонів винограду також значно впливає на якість лози для щеплення. Важливими показниками є співвідношення серцевини до діаметра чубука, кількість шарів твердого лубу. Визначили, що у пагонах контрольних кущів винограду з різним навантаженням суцвіттями товщина ксилеми становила 1,19–1,24 мм, товщина флоєми – 0,61–0,66 мм, діаметр серцевини – 1,67–1,84 мм (рис. 2, 3). У рослин на зрошенні 80 %, 90 % НВ 75 % та 50 % суцвіть зафіксували товстіший шар ксилеми – на 0,32–0,55 мм. Шар флоєми був найбільшим у варіанті 90 % НВ 100 % суцвіть – на 0,29 мм порівняно з контролем, а у варіантах 90 % НВ 75, 50 % суцвіть та в усіх варіантах 80 % НВ – на 0,12–0,26 мм менше, ніж у контролі. Діаметр серцевини пагонів у варіантах 80 % та 90 % НВ був у 1,3–1,7 разів більшим, ніж у незрошуваних рослин з таким же навантаженням суцвіттями. У варіанті 70 % НВ у кущів з різним навантаженням

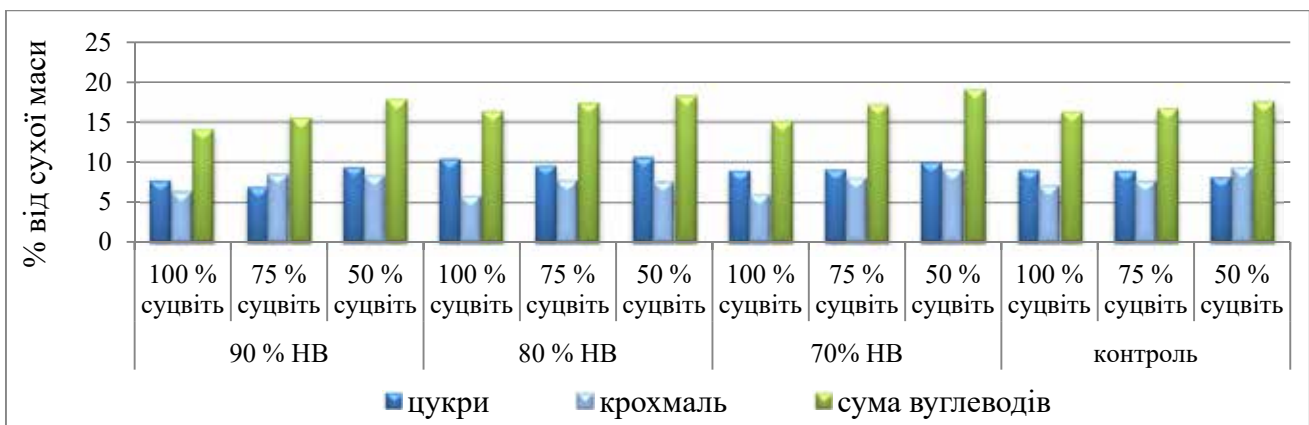


Рис. 1. Вміст вуглеводів у прищепній лозі винограду сорту Августин за впливу РПВГ та навантаження суцвіттями (середнє за 2016–2020 рр.)

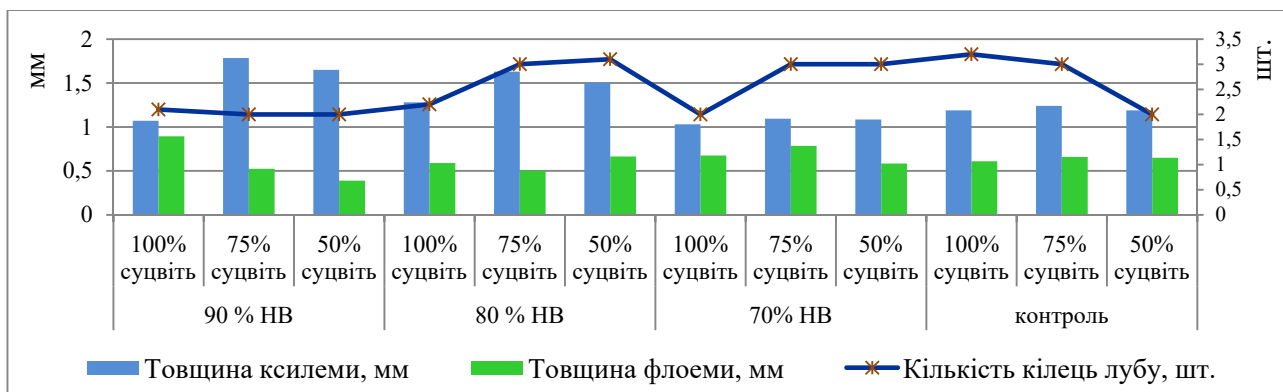


Рис. 2. Анатомічні показники розвитку провідної системи у прищепній лозі винограду сорту Августин за впливу різних РПВГ та навантаження кущів суцвіттями (середнє за 2016–2020 рр.)

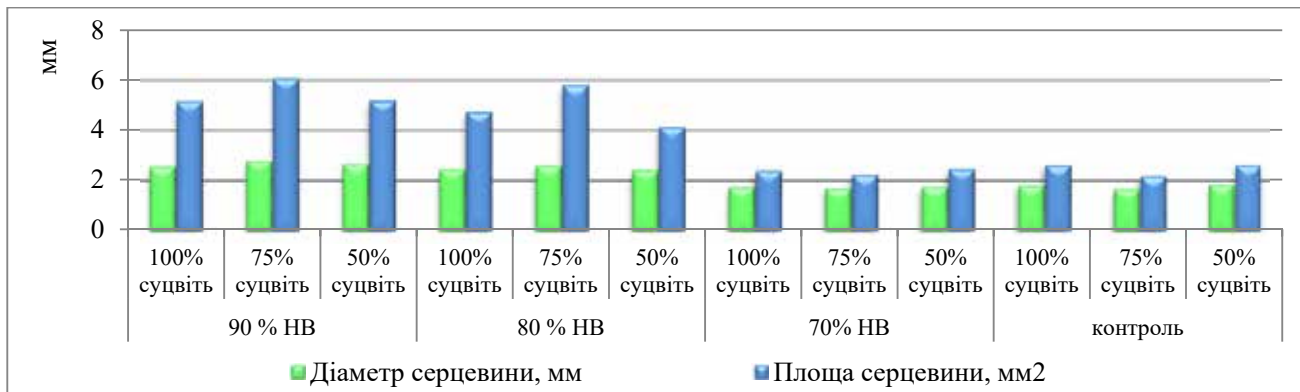


Рис. 3. Анатомічні показники серцевини пагонів у прищепній лозі винограду сорту Августин за впливу різних РПВГ та навантаження кущів суцвіттями (середнє за 2016–2020 рр.)

суцвіттями товщина шару ксилеми, флоєми та діаметр серцевини були на рівні контролю. Кількість кілець лубу була найбільшою у пагонах контрольних кущів з навантаженням 75–100 % суцвітть – 3,2 та 3 шт. відповідно, а у варіанті 50 % суцвітть – до 2 шт. У кущів на зрошенні відмічено меншу кількість кілець лубу – до 2–3 шт. на зрізі. Таким чином, пагони кущів на зрошенні 80 % та 90 % НВ переважно характеризувались менш диференційованою будовою, ніж у контролі та варіантах з РПВГ 70 % НВ.

Після заготовки прищепної лози з кущів винограду проаналізували її кількість по варіантах. Визначили, що найбільшу кількість лоз отримали у таких варіантах – 90 % НВ 50 % суцвітть, 80 % НВ 50 % суцвітть, 70 % НВ 50 % суцвітть – 100–115 шт., що на 19–34 шт. більше порівняно з контролем (табл. 2).

Після підрахунку стандартних одиничкових чубуків встановили, що найбільша їх кількість була у варіан-

тах 90 % НВ 75 % та 50 % суцвітть (1032–1340 шт.), що в 1,6–1,7 рази більше, ніж у контролі, 80 % НВ 75 % та 50 % суцвітть (839–889 шт.), що в 1,1–1,3 рази більше контролю, 70 % НВ 75 % та 50 % суцвітть (709–937 шт.), що в 1,1–1,2 рази більше контролю. Значно меншу кількість одиничкових чубуків на заготовлених пагонах вдалося отримати у варіантах з 100 % ним навантаженням суцвіттями – 499 шт. у контрольному варіанті (можливо, через невеликий приріст пагонів) та 501 шт. у варіанті 90 % НВ (ймовірно, це пов'язане з поганим визріванням пагонів). У заготовленій лозі, отриманій з кущів на зрошенні 70 % та 80 % НВ з навантаженням 100 % суцвітть, нарахували в середньому 722–934 одиничкових чубуки.

Кількість виготовлених щеп була найбільшою у варіантах 90 % НВ 50 % та 75 % суцвітть – 520,5 та 516,5 шт. відповідно, що в 1,6–2,0 рази більше, ніж у контролі, а також у варіантах 80 % НВ 50 %, 75 % та 100 % суцвітть – 370,0–452,5 шт., що

Таблиця 2

Вихід прищепної лози, отриманої з кущів винограду, за впливу різних РПВГ та навантаження кущів суцвіттями (середнє за 2016–2020 рр.)

| Варіанти дослідів | Кількість лоз, шт. | | Кількість одиничкових чубуків, шт. | | Кількість одиничкових чубуків на га, тис. шт. (розрахункова) |
|-------------------|--------------------|--------|------------------------------------|--------|--|
| | на варіант | на кущ | на варіант | на кущ | |
| 90 % НВ | | | | | |
| 1.1. | 70 | 14,0 | 501 | 100,2 | 200,4 |
| 1.2. | 87 | 17,4 | 1032 | 206,4 | 412,8 |
| 1.3. | 100 | 20,0 | 1340 | 268,0 | 536,4 |
| 80 % НВ | | | | | |
| 2.1. | 71 | 14,2 | 722 | 144,4 | 288,8 |
| 2.2. | 82 | 16,4 | 839 | 167,8 | 335,6 |
| 2.3. | 112 | 22,4 | 889 | 177,8 | 355,6 |
| 70 % НВ | | | | | |
| 3.1. | 87 | 17,4 | 934 | 186,8 | 373,6 |
| 3.2. | 90 | 18,0 | 709 | 141,8 | 283,6 |
| 3.3. | 115 | 23,0 | 937 | 187,4 | 374,8 |
| Контроль | | | | | |
| 4.1. | 50 | 10,0 | 499 | 99,8 | 199,6 |
| 4.2. | 75 | 15,0 | 642 | 128,4 | 256,6 |
| 4.3. | 81 | 16,2 | 780 | 156,0 | 312,0 |

у 1,4–1,5 рази більше порівняно з контролем (табл. 3). Кількість щеп, виготовлених з лози маточних куців на зрошенні з РПВГ 70 % НВ, незалежно від навантаження суцвіттями становила 316,5–358,0 шт., ці показники перевищують контрольні значення в 1,1–1,4 рази. Найменшу кількість щеп вдалося виготовити з лози варіантів контроль 100 %, 75 % суцвітть, 90 % НВ 100 % суцвітть (246,5–264,5 шт.) – у зв'язку з невеликою кількістю заготовленої лози у цих варіантах.

Приживлюваність щеп винограду у шкілці була найбільшою у варіантах 70 % НВ 75 % та 50 % суцвітть – 63,6–66,9 %, 80 % НВ 100 %, 75 % та 50 % суцвітть – 63,6–67,7 %, 90 % НВ 75 % та 50 % суцвітть – 60,0–62,1 %. Нижчі показники приживлюваності щеп відмічено у контрольних варіантах – на рівні 50,2–52,2 % від виготовленої їх кількості.

Після викопування зі шкілки та сортування підраховували кількість стандартних саджанців та визначали їх вихід (у відсотках від кількості виготовлених щеп). Найбільшу кількість саджанців отримали у варіантах 90 % НВ 75 % та 50 % суцвітть – 268,6–295,6 шт., їх вихід зі шкілки складав 52,0–56,8 %. Менша кількість саджанців була у варіанті 80 % НВ 50 % суцвітть – 267 шт., що становило 59,0 % від висаджених щеп. У варіантах 70 % НВ 100 % суцвітть, 80 % НВ 75 % суцвітть кількість саджанців була на рівні 194–208,2 шт., а вихід саджанців зі шкілки становив 55,0 %. Високим був вихід саджанців зі шкілки у варіантах 70 % НВ 75 % та 50 % суцвітть – 59,2–60,9 %, однак кількість отриманих саджанців була меншою – 187,4–218,0 шт. Найменшу кількість саджанців, як і вихід зі шкілки, показали контрольні варіанти 75 %, 100 % суцвітть та 90 % НВ 100 % суцвітть – 105,7–134,9 шт. та 43,8–51,0 % відповідно.

Обговорення. Дослідженнями багатьох авторів підтверджено, що урожайність ягід з куца винограду змінюється у широкому діапазоні залежно від режимів кра-

плинного зрошення та погодних умов (Pérez-Álvarez et al., 2021; Susaj et al., 2016; Shevchenko, 2019). Наприклад, використання краплинного зрошення за ресурсоощадної та біологічно оптимальною схемою забезпечувало підвищення урожаю ягід винограду сорту Шардоне на 16,8–28,3 % – до 7,9–9,2 т/га. (Vozhegov et al., 2021). За умови обмеженого зрошення якість ягід винограду залишалася високою, зокрема, накопичення цукрів, кислотність соку ягід, накопичення антоціанів, ароматичних речовин була на високому рівні як для столових, так і технічних сортів (Prats-Llinàs et al., 2019; El-Ansary & Okamoto, 2008).

На насадженнях маточних куців винограду отримують і іншу продукцію – прищепну лозу, яку в подальшому використовують для виготовлення щеплених саджанців. Зрошення позитивно впливає на розвиток пагонів. Наприклад, в залежності від довжини обрізки плодкових стрілок та навантаження куців пагонами з насаджень маточних куців винограду столового сорту Ранній Магарача отримували до 314,4 тис. однорічкових чубуків з гектара. Вміст вуглеводів у тканинах прищеплених пагонів винограду за таких умов становив 13,7–15,7 % від сухої маси тканин (Mikitenko et al., 1990). Однак надмірне зволоження здатне сповільнювати визрівання пагонів та відповідно вихід прищепної лози з куца (Zelenyanska et al., 2021). За умови часткового або ж повного видалення суцвітть з маточних куців винограду відмічено кращий розвиток та визрівання пагонів, збільшення площі листової поверхні, а також збільшення виходу прищеплених чубуків (до 16–18 шт./куц для сорту Аліготе та 17–21 шт./куц для сорту Піно нуар), причому ефект від видалення суцвітть у наступні роки посилювався (Ursu, 1989).

Висновки. Для створення оптимальних умов росту, розвитку і формування високої врожайності маточних прищеплених куців винограду слід проводити краплинне

Таблиця 3

Вихід щеп та саджанців винограду сорту Августин, виготовлених з лози куців, які культивували за впливу різних РПВГ та навантаження суцвіттями (середнє за 2016–2020 рр.)

| Варіанти досліджу | Кількість виготовлених щеп, шт. | Приживлювання щеп у шкілці, % | Вихід саджанців зі шкілки | |
|-------------------|---------------------------------|-------------------------------|---------------------------|------|
| | | | шт. | % |
| 90 % НВ | | | | |
| 1.1. | 264,5 | 58,6 | 134,9 | 51,0 |
| 1.2. | 516,5 | 60,0 | 268,6 | 52,0 |
| 1.3. | 520,5 | 62,1 | 295,6 | 56,8 |
| 80 % НВ | | | | |
| 2.1. | 370,0 | 63,6 | 192,4 | 52,0 |
| 2.2. | 378,5 | 65,4 | 208,2 | 55,0 |
| 2.3. | 452,5 | 67,7 | 267,0 | 59,0 |
| 70 % НВ | | | | |
| 3.1. | 354,0 | 60,0 | 194,7 | 55,0 |
| 3.2. | 316,5 | 63,6 | 187,4 | 59,2 |
| 3.3. | 358,0 | 66,9 | 218,0 | 60,9 |
| Контроль | | | | |
| 4.1. | 246,5 | 51,9 | 108,0 | 43,8 |
| 4.2. | 260,0 | 50,2 | 116,7 | 44,9 |
| 4.3. | 331,0 | 52,2 | 162,9 | 49,2 |

зрошення насаджень та зменшувати навантаження кущів генеративними органами. Встановили, що урожай ягід кущів винограду на зрошенні з 100%-ним навантаженням суцвіттями перевищував контрольні показники на 22,0–28,4 %, у залежності від РПВГ. При зменшенні кількості суцвітть на кущ до 50-75 % незважаючи на значне зменшення урожаю ягід з куща середня маса грона зростала до 452-593 г, а цукристість та кислотність соку ягід досягали оптимальних значень у варіантах з РПВГ 70 % НВ 50 % та 75 % суцвітть. За якісними показниками прищепної лози – вмістом вологи, вуглеводів та анатомічною структурою пагонів винограду – виділялись варіанти на зрошенні з меншим навантаженням суцвіттями, зокрема варіант з РПВГ 70 % НВ 50 % суцвітть. Сума вуглеводів у лозі була найбільшою і дорівнювала 19,2 % від сухої маси, діаметр серцевини пагонів зменшувався у середньому на 27,9–34,4 % порівняно з варіантами

з РПВГ 80 та 90 % НВ, а площа провідної системи, навпаки, залишалась на рівні контролю. Найбільшу кількість прищепної лози отримано у варіантах з поливом (РПВГ 70 % НВ) та навантаженням 50 % суцвітть, а одновіткових чубуків найбільше було у варіантах з поливом РПВГ 90 % НВ. Кількість виготовлених щеп була найбільшою у варіантах 80 % та 90 % НВ 50 % та 75 % суцвітть. Однак, за показниками приживлюваності щеп винограду у шкільці та виходу стандартних саджанців із шкільки найкращими були варіанти з навантаженням кущів суцвіттями 50 % та за підтримання РПВГ 70 % НВ: приживлюваність щеп дорівнювала 66,9-67,7 %, вихід стандартних саджанців із шкільки становив 59,2–60,9 %. Таким чином, на маточниках прищепних лоз столових сортів винограду півдня України рекомендовано підтримувати вологість ґрунту на рівні 70 % НВ, а на кущах залишати тільки 50 % суцвітть від потенційно закладених.

Бібліографічні посилання:

1. Almanza-Merchán, P. J., Serrano-Cely, P. A. & Forero-Ulloa, F. E. (2014) Pruning affects the vegetative balance of the wine grape (*Vitis vinifera* L.). *Agronomía Colombiana*, 32, 180–187. doi: 10.15446/agron.colomb.v32n2.43359
2. Chaves, M. M., Zarrouk, O., & Francisco, R., Costa, J. M., Santos, T., Regalado, A. P., Rodrigues, M. L. & Lopes, C. M. (2010). Grapevine under deficit irrigation: hints from physiological and molecular data. *Ann Bot.*, 105, 5, 661–676. doi: 10.1093/aob/mcq030
3. DSTU 2438:2014. (2015). *Vynohrad svizhyy stolovyy. Tekhnichni umovy [Fresh table grapes. Specifications]*. Kyiv. Ministry of Economic Development of Ukraine (National standard of Ukraine) (in Ukrainian).
4. DSTU 4390:2005. (2005). *Sadzhantsi vynohradu ta chubuky vynohradnoyi lozy. Tekhnichni umovy [Grape seedlings and vines. Specifications]*. Kyiv. Derzhspozhyvstandart Ukrainy (National standard of Ukraine) (in Ukrainian).
5. DSTU 7595:2014. (2015). *Mikrozroshennya. Kraplinne zroshenya vinogradnikiv. Zagal'ni vimogi ta metody kontrolyuvannya. [Microirrigation. Drip irrigation of vineyards. General requirements and control methods]*. Kyiv. Ministry of Economic Development of Ukraine. (National standard of Ukraine) (in Ukrainian).
6. Dykan, A. P. (2001) *Vinogradarstvo Kryma [Crimean viticulture]*. *Biznes Inform. Simferopol'* (in Russian).
7. El-Ansary D. O. & Okamoto G. (2008) Improving Table Grape Quality With Less Irrigation Water In Japan: Partial Root-Zone Drying Versus Regulated Deficit Irrigation. *Acta Hortic.*, 792, 265-271. doi: 10.17660/Acta Hortic. 2008. 792.
8. Feitosa, C., Mesquita, A., Pavesi, A. (2018) Bud load management on table grape yield and quality – cv. SUGRATHIRTEEN (midnight beauty®) *Bragantia*, 77, 4, 577–589. doi: 10.1590/1678-4499.2017332
9. Kozhukharenko, V. A. (2013) Vliyaniye nagruzki sotsvetiyami i chekanki na fone vnutripochvennogo kapel'nogo oroshennya na produktivnost' stolovikh sortov vinograda [Influence of shoot load and chasing on the background of intrasoil drip irrigation on the productivity of table grapes]. *Vinogradarstvo i vinorobstvo. Odesa : NNTs "IViV im. V. E. Tairova"*, 50, 123–126. (in Russian)
10. Kumar, A. R., Parthiban, S., Subbiah, A., Sangeetha, V. (2017) Effect of pruning severity and season for yield in grapes (*Vitis vinifera* L.) Variety Muscat Hamburg. *Int. J. Curr. Microbiol. Appl. Sci.*, 6, 1814–1826. doi: 10.20546/ijc-mas.2017.603.207
11. Ma, X., Sanguinet, K. A. & Jacoby, P. W. (2019) Performance of direct root-zone deficit irrigation on *Vitis vinifera* L. cv. Cabernet Sauvignon production and water use efficiency in semi-arid southcentral Washington. *Agricultural Water Management*, 221, 5, 47–57. doi:10.1016/j.agwat.2019.04.023.
12. Mikitenko, S. V., Polyakov, V. I., Yakimenko, V. I. (1990) Vliyaniye priyemov agrotekhniki na produktivnost' oroshayemykh matochnikov privoynykh loz [The influence of agricultural techniques on the productivity of irrigated mother plants of graft vines]. *Vinogradarstvo i vinodeliye: respublikanskiy mezhvedomstvennyy tematicheskiy nauchnyy sbornik. Kiyev : Urozhay*. 33, 11–13. (in Russian).
13. Pérez-Álvarez, E. P., Molinaab, D. S., Vivaldic, G. A., García-Esparzad, M. J., Lizamad, V. & Álvarez, I. (2021) Effects of the irrigation regimes on grapevine cv. Bobal in a Mediterranean climate: I. Water relations, vine performance and grape composition. *Agricultural Water Management*, 248(1), 106–127. doi: 10.1016/j.agwat.2021.106772
14. Perstnev, N. D. (2001) *Vinogradarstvo [Viticulture]*. Kishinev. (in Russian). ISBN 9975-78-091-1
15. Pisciotta, A., Lorenzo, R. D., Santalucia, G. & Barbagallo M. G. (2018) Response of grapevine (Cabernet Sauvignon cv) to above ground and subsurface drip irrigation under arid conditions. *Agricultural Water Management*, 197, 122–131. doi: 10.1016/j.agwat.2017.11.013
16. Pochinok, KH. N. (1976) *Metody biokhimeskogo analiza rasteniy [Methods of biochemical analysis of plants]*. Kiyev : «Naukova dumka». (in Russian)
17. Prats-Llinàs M. T. Bellvert, J., Mata, M. & Marsal, J. (2019) Post-Harvest Regulated Deficit Irrigation in Chardonnay Did Not Reduce Yield but at Long-Term, It Could Affect Berry Composition. *Agronomy*, 9(6), 328. doi: 10.3390/agronomy9060328

18. Rahemi, A., Peterson, J. C. & Lund, K. T. (2022) Grape Rootstocks and Related Species. Springer, Cham. doi: 10.1007/978-3-030-99407-5_8
19. Riabkov, S. V. (2021) Vplyv udobrennya za kraplynnoho zroshennya na vrozhaynist' ta yakist' plodiv bahatorichnykh nasadzen' melioratsiya i vodne hospodarstvo. [Effect of fertilization on the yield and fruit quality of perennial plantations under drip irrigation]. Melioratsiya i vodne hospodarstv, 1, 67–74. doi: 10.31073/mivg202101-270 (in Ukrainian).
20. Romashchenko, M. I., Shatkovskiy, A. P., Vasiuta, V. V., Usatyi, S. V., Usata, L. G., Riabkov, S. V., Zhuravlov O. V., Kupiedinova, R. A., Bezruk V. V. & Cherevychnyi, Yu. O. (2019) Naukova shkola mikrozhennya: dosyahnennya ta perspektyvy rozvytku [Scientific school of microirrigation: achievements and development prospects]. Melioratsiya i vodne hospodarstvo, 2, 68–77 doi: 10.31073/mivg201902-199 (in Ukrainian).
21. Sherer, V. A. & Zelenyanskaya, N. N. (2011) Osobennosti vinogradnogo rasteniya i metody otsenki pokazately organov i tkaney [Features of a grape plant and methods for assessing indicators of organs and tissues]. NNTS «IViV im. V. Ye. Tairova», Odessa (in Russian).
22. Shevchenko, I. V. (ed.) (2019) Suchasni sistemi zroshennya vinogradnikiv [Modern vineyard irrigation systems]. Kherson: Aylant. (in Ukrainian)
23. Stout, J. E., Davenport, J. R. & Peters, R. T. (2017). Deficit Irrigation in *Vitis labruscana* Bailey 'Concord' in Central Washington. Hort Science: a publication of the American Society for Horticultural Science, 52(3), 450–456. doi: 10.21273/HORTSCI11450-16
24. Susaj, E., Susaj, L. & Belegu, M. (2016). Effect of Drip Irrigation Rate (DIR) on Grape Yield and Quality of Table Grapevine Cultivar "Italia". Online International Interdisciplinary Research Journal, {Bi-Monthly}, VI(I), Jan-Feb 2016, 1-7. ISSN 2249-9598
25. Tet'orkina, O. Ye. (2011). Rezhymy kraplynnoho zroshuvannya i produktyvnist' molodykh vynogradnykiv [Drops irrigation regimes and productivity of young vineyards]. Melioratsiya i vodne hospodarstvo, 99, 53–62. (in Ukrainian)
26. Ursu, V. A. (1989) Matochniki privoynykh loz intensivnogo tipa i uskorennoye rozmnozheniye vinograda [The mother graft grape plantings of intensive type and accelerated reproduction of grapes]. Shtiintsa. Kishinev (in Russian).
27. Vlasov, V. V. (ed.) (2015) Sistema sertifikovanogo vinogradnogo rozsadnistva Ukraini: monografiya [System of certified grape nursery of Ukraine: monograph]. Kii: Agrarna nauka. (in Ukrainian)
28. Vozhegov, S. G., Osgchipok, O. S., Kokovikhin, S. V., Drobitko, A. V., Girlya, L. M., Kerimov, A. N., Kazanok, O. O. (2021). Vplyv rezhymiv kraplynnoho zroshennya na produktyvnist' vynohradu za vyroshchuvannya v umovakh Pivdny Ukrainy. [Influence of drip irrigation regimes on productivity of grapes for cultivation in the conditions of the South of Ukraine]. Ahrarni innovatsiyi, 5, 168–172. doi: 10.32848/ahrar.innov.2021.5.26 (in Ukrainian)
29. Waite, H., Whitelaw-Weckert, M. & Torley, P. (2015) Grapevine propagation: principles and methods for the production of high-quality grapevine planting material. New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science, 43(2), 144–161. doi: 10.1080/01140671.2014.978340
30. Zelenyanska, N. N., Gogulinska, O. I. & Podust, N. V. (2021). Vplyv rezhymiv kraplynnoho zroshennya ta navantazhennya na produktyvnist' matochnykh kushchiv vynohradu [The influence of drop irrigation and loading of inflorescences on the growth and development of the mother bushes of grapes]. Roslynytstvo ta gruntoznavstvo, 12, 4, 126–137 (in Ukrainian). doi: 10.31548/ahrar2021.04.126

Zelenyanska N.M., Doctor (Agricultural Sciences), National Science Center V. Ye. Tairov Institute of Viticulture and Winemaking, Odesa, Ukraine

Gogulinska O.I., PhD (Agricultural Sciences), Senior Researcher, National Science Center V. Ye. Tairov Institute of Viticulture and Winemaking, Odesa, Ukraine

Artiukh M.M., PhD (Agricultural Sciences), Senior researcher, National Science Center V. Ye. Tairov Institute of Viticulture and Winemaking, Odesa, Ukraine

Borun V.V., PhD (Agricultural Sciences), Senior Researcher, National Science Center V. Ye. Tairov Institute of Viticulture and Winemaking, Odesa, Ukraine

The productivity of the mother bushes of grapes under the influence of drip irrigation and reduction of influence load

At present, there are few industrial mother plantations of grafted grape varieties in Ukraine, due to which it is difficult to obtain a sufficient number of quality cuttings and planting material, so it is important to develop agronomic measures for intensive planting. The research was carried out on the table grape cv. Augustine, the bushes of which were differently loaded with inflorescences (50, 75 and 100 % of the planted amount), and irrigated (the level of pre-irrigation soil moisture was 70, 80 and 90 % of the lowest moisture capacity (LMC), control option – natural hydration). The harvest of berries, grafted vines and grafted grape seedlings was recorded. The yield of berries from grape bushes under irrigation with 100 % load of inflorescences exceeded the control indicators by 22.0-28.4%. When the number of inflorescences per bush was reduced to 50-75 %, the average weight of the bunch increased to 452–593 g, and the sugar content and acidity of berry juice reached optimal values in the variants with LMC 70 % HB 50 % and 75 % inflorescences. According to the moisture content, carbohydrates and anatomical structure of grape shoots, irrigation options with a lower load of inflorescences were distinguished, in particular the variant with 70 % LMC 50 % inflorescences. The amount of carbohydrates in the shoots of this variant was equal to 19.2 % of dry weight. The diameter of the core of the shoots of this variant remained at the control level. The largest number of grafted vines was obtained in the variants with watering (70 % LMC) and a load of 50 % inflorescences, and single-bud cuttings were most in the variants with watering 90 % LMC. The number of cuttings was the largest in the variants of 80 % and 90 % LMC 50 % and 75 % of inflorescences. According to the indicators of survival

of grape cuttings in the nursery and the yield of standard seedlings from the nursery, the best options were with a load of bushes with inflorescences of 50 % and 70 % LMC. Thus, on the graft mother planting of table grapes on the south of Ukraine it is recommended to maintain soil moisture at the level of 70 % LMC, and on bushes to leave only 50 % of inflorescences from potentially laid.

Key words: *graft mother planting of grapes, level of pre-irrigation soil moisture, number of inflorescences, berry harvest, grafting vine, grafted grape seedlings.*

ОСОБЛИВОСТІ ПРИХОДУ СОНЯЧНОЇ РАДІАЦІЇ НА СХИЛИ ПОРОДНИХ ВІДВАЛІВ ЯК ФАКТОРА ЛІСОРΟΣЛИНИХ УМОВ ЇХ ПОВЕРХНІ

Зубов Антон Олексійович

кандидат технічних наук, докторант
Інститут агроєкології і природокористування
Національної академії аграрних наук України,
м. Київ, Україна
ORCID: 0000-0002-1759-9481
azubov.work@gmail.com

Зубов Олексій Ремович

доктор сільськогосподарських наук, професор
ORCID: 0000-0002-0837-8257
zuboval195@gmail.com

Мета дослідження – визначення часових відмін елементів радіаційного балансу на схилах породних відвалів гірничодобувних підприємств залежно від їх експозиції та крутизни. Для досягнення цієї мети були вирішені завдання: встановити просторово-часові закономірності зміни інсоляції відвальних схилів як головного елемента прихідної частини їх радіаційного балансу; дати оцінку інсоляції схилів різної експозиції загалом за теплу пору року (вегетаційний період) та помісячно; зіставити інсоляцію схилів відвалів Донецького кам'яновугільного басейну та рівної місцевості в інших природно-кліматичних зонах Землі. Дослідження виконували на основі розробленої формули куту падіння сонячних променів на схили різної крутизни залежно від широти місцевості, дати та години дня, азимуту експозиції досліджуваної ділянки схилу. Відміною від подібних досліджень стало врахування послаблення прямої радіації при проходженні атмосфери за різного куту падіння сонячних променів на горизонтальну поверхню. На основі актинометричних вимірювань отримано формулу зниження прямої радіації відносно її максимального значення, яке має місце 22 червня опівдні. В результаті досліджень встановили, що добова інсоляція червеневого дня, починаючи з азимуту експозиції схилу $A\alpha = 120^\circ$ і до 230° є вищою ніж на плато (горизонтальній поверхні) до 7,2% на півдні. В усі інші місяці схили теж можуть інсолюватися краще за плато, але в певних межах експозиції: квітень при $A\alpha$ від 97° до 262° , серпень – від 100° до 260° , травень – від 110° до 250° , липень – від 114° до 245° , вересень – при $A\alpha$ від 90° до 265° . Найбільші відмінності інсоляції від плато мають місце у вересні – до +47%. Встановили, що в середньому за квітень-вересень на схилах крутістю 35° на широті 48° з експозицією проміж ПнЗх і ПнСх ($A\alpha = 315\text{--}40^\circ$) надходження сонячної радіації аналогічне Заполяр'ю. На схилах з $A\alpha = 45\text{--}110^\circ$ і $A\alpha = 250\text{--}315^\circ$ інсолюваність нижче, ніж на широті центру Донбасу (48°). А на схилах експозицій з $A\alpha = 110\text{--}180^\circ$ і $180\text{--}250^\circ$ інсолюваність вища, досягаючи на експозиції Пд ($A\alpha = 180^\circ$) субтропічних значень. У червні та липні інсолюваність тут набуває значення, якого немає навіть на тропіку. Встановлені відміни інсоляції на схилах відвалів істотно відбиваються на умовах зростання на них різних видів рослинності. Тому використання авторської методики визначення особливостей інсоляції схилів дозволить більш вірно підбирати состав деревних порід при залісненні відвалів з урахуванням їх посухостійкості та світлолюбності.

Ключові слова: породний відвал, схил, радіаційний баланс, інсоляція.

DOI <https://doi.org/10.32845/agrobio.2022.2.12>

Вступ. Виконання найважливішої задачі агропромислового комплексу України, якою є забезпечення продовольчої безпеки держави та посилення її експортних можливостей, істотно ускладнюється внаслідок забруднення ґрунтів промисловими відходами. Площа ріллі, забрудненої важкими металами (ВМ) в державі складає 8% (Baliuk et al., 2017). Переважна частина забруднених земель є результатом дії понад 2000 гірничодобувних підприємств, великої маси їх відходів, вагоме місце серед яких займають породні відвали вугільних шахт.

За нашими новітніми даними в Україні налічується 1356 шахтних відвалів. На території Львівсько-Волинського кам'яновугільного басейну розташовані 55 відвалів (Pinder & Popovych, 2017), у Західному Донбасі (східній частині Дніпропетровської області) їх 11 (Petlovanyi & Medianyk, 2018). У Центральному Донбасі налічується

1301 породних відвалів вугільних шахт. Внаслідок катастрофічної водної ерозії та дефляції на відвалах, горіння частини з них, вони є джерелами забруднення повітря газами та пилом, а ґрунтів – важкими металами (Pinder & Popovych, 2017; Petlovanyi & Medianyk, 2018; Zubova et al., 2015; Zubov O., Zubova & Zubov A, 2019). І ця проблема є загальносвітовою (Rodríguez-Eugenio et al., (2018), характерною для США (Chugh & Behum, 2014); Росії (Alekseenko et al., 2018); Китаю (Yingyi et al., 2007); Індії (Pandey et al., 2014); Австралії та Германії (Zillig et al., 2015) та інших вугледобувних країн.

Найефективнішим напрямом оптимізації порушених земель є лісова рекультивация. Доведено, що деревні насадження на відвалах запобігають водній ерозії та дефляції (Zubova et al., 2015). Різним питанням рекультивации присвячені дослідження у багатьох країнах: у Польщі (Marcisz

et al., 2020), Чехії (Prusová et al., 2017, Zástěrová et al., 2015), США (Chugh & Behum 2014, Австралії та Германії (Zillig et al., 2015), в Індії (Gupta & Biswajit, 2015).

Незважаючи на вихідну стерильність породи (Logginov et al., 1972) та низькі лісорослинні якості (Baklanov, 1970, Kirichek, 2003), відвали вугільних шахт мають властивість поступового самозаростання (Korshikov & Zhukov; Vacek et al., 2018). Рослинність відвалів та природні флорокомплекси техногенних екосистем Донбасу вивчені в роботі (Zhukov, 2020).

Досвід рекультивациі та фітомеліорації породних відвалів у Львівсько-Волинському басейні розглядаються у роботі (Pinder & Porovuch, 2017). Перші результати робіт з озеленення у Донбасі описані в працях (Shalyt & Kostomarov, 1950), а їх методи в роботах (Baklanov, 1970, Logginov et al., 1972). Дослідження (Zubova, Zubov O. & Zubov A., 2019) підтверджують ефективність цих методів. Проте, як показав аналіз космічних знімків великої кількості відвалів Донбасу (Zubova et al., 2015), більше половини з них зовсім не заліснені, а особливістю заліснених є переважне розташування лісу на схилах північної половини їх бокової поверхні, що ми пов'язуємо з відмінностями лісорослинних умов на схилах різної експозиції, зумовленими різним припливом сонячної енергії.

Як зазначено в (Nevidimova, 2015; Simonov, 1958), нерівномірний розподіл сонячної енергії на природних схилах є основним джерелом рельєфоутворення, породжує багато екзогенних процесів.

Вплив висоти місцевості, експозиції та крутості схилу на тепловий та гідрологічний режими території, на особливості просторового розподілу рослин викладено у роботі (Sokolova, 2016). Виходячи з представленої класифікації форм рельєфу, відвали можна віднести до мезоформ, для яких висотні відмінності не виражені, а вирішальну роль для рослин відіграє експозиція схилів та пов'язані з нею відмінності в інсоляції.

Тому при оцінці лісорослинних умов схилів породних відвалів важливим є облік мінливості інсоляції на базі актинометричних досліджень.

Мета дослідження – визначення часових відмін елементів радіаційного балансу на крутих схилах породних відвалів залежно від їх експозиції.

Матеріали і методи досліджень. Як відомо, радіаційний баланс поверхні Землі визначають як різницю між надходженням та витратою променевої енергії за рівнянням (Morgunov, 2005):

$$B = S' + D + E_a - R_k - R_d - E_z, \text{ кВт/м}^2, \quad (1)$$

де S' та D – надходження прямої та розсіяної короткохвильової сонячної радіації на горизонтальну поверхню, E_z та E_a – довгохвильові випромінювання Землі та зустрічне випромінювання атмосфери, R_d – відбита частина E_a .

Частка розсіяної радіації D від сумарної ($S' + D$) за безхмарного неба становить 20–25%.

Методичні рекомендації з актинометричних розрахунків викладені у працях (Kondrat'ev et al., 1978; Sivkov, 1968). В них та в (Simonov & Kruzhalin, 1993; Badesku, 2008, Kumar et al., 1997, Lai et al., 2010) показані методи аналізу відмінності інсоляції схилів різних експозицій та крутості.

Оцінюючи вплив нахилу рельєфу на складові короткохвильового балансу радіації при безхмарному небі використовують методи (Kondrat'ev et al., 1978; Williams, Barry & Andrews, 1972). Вплив хмарності враховується з допомогою методики (Dong & Mace, 2003). Для довгохвильової частини балансу використовують (Pluss & Ohmura, 1997). Актинометричні дослідження мають як теоретичне, так і прикладне значення – у лісомеліорації (Sidorenko et al., 2020), у сонячній енергетиці (Aoun et al., 2019). Здійснюють як вимірювання за допомогою актинометричних приладів, так і математичне моделювання (Bailek et al., 2018; Bailek et al., 2020; Anis et al., 2019, (Muzathik et al., 2011; Olmo et al., 1999), яке є більш інформативним у глобальному масштабі.

Зважаючи на складність структури радіаційного балансу та застосування вищезгаданих методів для розрахунку його елементів у повному обсязі, для досягнення мети досліджень було поставлено завдання встановити просторово-часові закономірності зміни інсоляції відвальних схилів як головного елемента прибуткової частини радіаційного балансу їхньої поверхні. Від інсоляції (режиму освітленості) залежать як фотосинтез і, побічно, інші фізіологічні процеси в рослинах (Skliar, 2015), так і втрата вологи опадів, що випали, на випаровування і транспірацію. Виразимо її рівнянням:

$$S' = S \cdot \sin \varphi, \quad (2)$$

де S – пряма радіація, Вт/м², φ – кут падіння сонячних променів на освітлювану ними поверхню, град. (рис. 1).

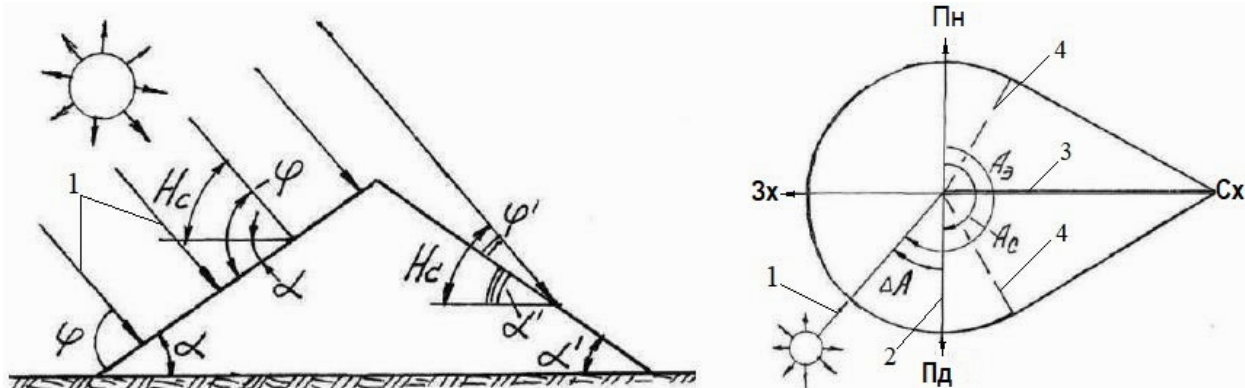


Рис. 1. Схема визначення кута падіння сонячних променів на укоси відвалу у фронтальній проекції (ліворуч) та в плані: 1 – напрямок променів; 2 – задана лінія схилу; 3 – ребро терикону; 4 – межі хвостової частини терикону

Для горизонтальної поверхні кут φ дорівнює т. зв. висоті сонця H_c , для похилої $\varphi = H_c \pm \alpha'$ (3), де α' – кут нахилу поверхні у напрямку до сонця ($+\alpha'$) або у зворотному напрямку ($-\alpha'$). Якщо напрямок на сонце збігається з напрямком падіння схилу, то $\alpha' = \alpha$, тобто куту падіння. Якщо напрямок на сонці відхиляється від напрямку падіння схилу, то $\alpha' < \alpha$.

Для обчислення α' нами запропоновано формулу: $\alpha' = \arctg(\operatorname{tg}\alpha \cdot \cos\Delta A)$ (4), де ΔA – кут між напрямком на сонце та напрямком найбільшого падіння схилу: $\Delta A = A_c - A_z$; де A_c – азимут напрямку на сонце, тобто горизонтальний кут між ним та північним напрямком меридіану за годинниковою стрілкою; A_z – азимут найбільшого падіння схилу (експозиції).

Вихідні дані розрахунку – висоту H_c та азимут A_c сонця отримували за допомогою on-line калькулятора для точки з координатами 48° пн. ш. та 39° сх. д., що знаходиться у центрі Донецького басейну.

Для уточнення послаблюючої ролі атмосфери за різної висоти сонця використовували приймальну частину піранометра універсального М-80 у поєднанні з мультиметром (рис. 2).

Вимірювання прямої радіації робили, спрямовуючи прилад точно на сонячний диск при увімкненому мультиметру, знімали покази у мілівольтах (мВ). Для відсічення розсіяної радіації використовували саморобний дифузор, але для виключення її можливого потраплення знімали покази, також, спрямовуючи дифузор на ділянки неба поблизу сонця. Спостереження виконували в дні з чистим небом через кожні 30-60 хвилин, починаючи зі сходу сонця до його заходу в окремі місяці з лютого по жовтень 2021 р. За on-line калькулятором (URL: <https://planetcalc.ru/320/>) строго для координат точок спостереження, днів та часів вимірювань з хвилинами визначали висоту сонця.

Результати. Для ілюстрації зміни висоти та азимуту сонця щогодини та за місяцями вегетаційного періоду (на 15-те число) складено діаграми (рис. 3).

Вихідні дані отримані за допомогою on-line калькулятора для точки з координатами 48° пн. ш. та 39° с.д., що знаходиться у середині Донбасу.

Рівняння залежності висоти сонця H_c та азимуту сонця A_c від часу доби t мають вигляд:

$$H_c = at^6 + bt^5 + ct^4 + dt^3 + et^2 + ft + A, \quad (5)$$



Рис. 2. Датчик піранометра окремо та сумісно з мультиметром

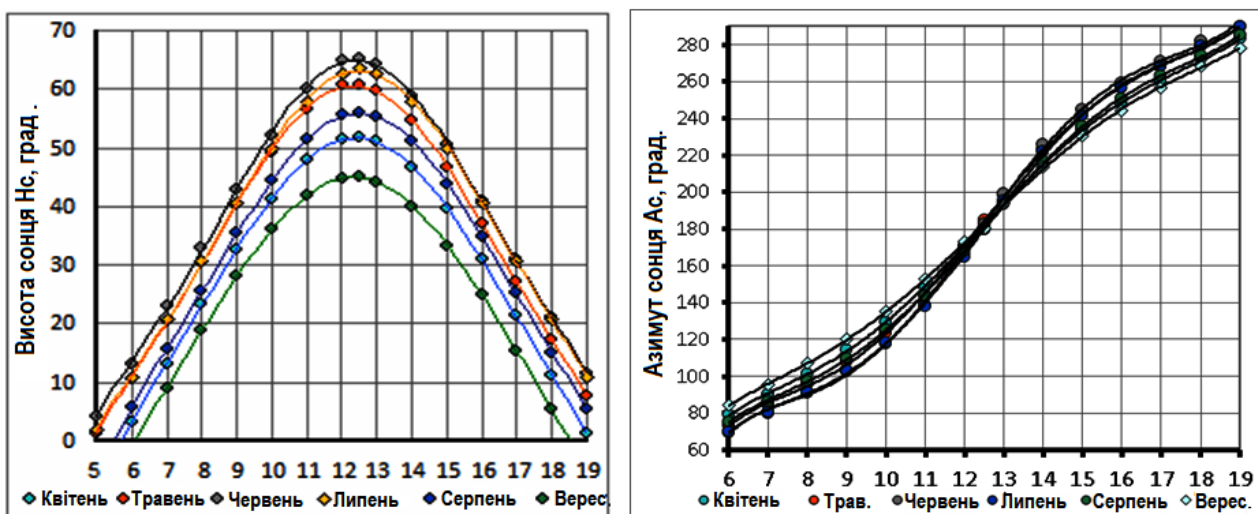


Рис. 3. Графіки висоти сонця та азимуту напрямку на нього протягом дня на 15 число місяців вегетаційного періоду року

$A_c = kt_6 + lt_5 + mt_4 + nt_3 + ot_2 + pt + B$, 6)
Значення коефіцієнтів при змінній t (час, година) та вільних членів рівнянь (5, 6) залежать від місяця та представлені в табл. 1, 2.

Для здійснення розрахунків складено табл. 3, у яку для кожної години від 6 до 19 (колонка 1) та кожного з основних варіантів експозиції схилів відвалу: Пн, Пн-Сх, Сх, Пд-Сх, Пд, Пд-Зх, Зх і Пн-Зх, що характеризуються азимутами: $A_e = 0, 45, 90, 135, 180, 225, 270$ і 315° , внесені значення A_c (кол. 2) та H_c (кол. 4), визначені за допомогою on-line калькулятора.

Для прикладу обрано червень як місяць із найбільшою полуденною висотою сонця та тривалістю дня. Максимальне річне значення H_c має місце 22 червня – в день літнього сонцестояння, середньочервене полуденне значення посідає 10 червня.

Кути ΔA в інтервалі $-90 \dots 0 \dots +90^\circ$ відповідають зверненій до сонця половині бічної поверхні відвалу, тому значення α , одержувані для цього інтервалу мають знак "+". Кути ΔA в інтервалах $90 \dots 180^\circ$ та $180 \dots 270^\circ$

характерні для половини поверхні, зверненої у бік від сонця, тому значення α' з розрахунку набували знак "-". При підрахунку φ° виходили з того, що кут нахилу відкосів відвалів дорівнює 35° , отже $\text{tg}\alpha = 0,70$.

Визначивши значення ΔA (кол. 3), знаходимо їх косинуси (кол. 5) і розраховуємо α' (кол. 6) за формулою (4), а потім φ (кол. 7) за формулою (3).

Отримавши $\sin\varphi$ (кол. 9), за його відношенням до $\sin H_c$ (кол. 8) можна визначити відношення інсоляції (у той чи інший час на тій чи іншій експозиції) до інсоляції на горизонтальній поверхні землі або плоскій верхівці, позначене нами як KS' (кол. 10).

З'ясували, що KS' варіює від 0 до 3,5 і вище. До 800 схили експозицій Пн, ПнСх, Сх і ПдСх інсолюються краще за горизонтальну поверхню. З 800 з цього ряду вибуває експозиція Пн, але з'являється Пд. З 1100 вибуває ПнСх, але з'являється ПдЗх; з 1230 вибуває Сх, але з'являється Зх. Після 1400 вибуває ПдСх, але з'являється ПнЗх. Після 1700 року схил північної експозиції знову інсолюється краще за горизонтальну поверхню,

Таблиця 1

Елементи рівняння азимуту сонця

| Місяць | a | b | c | d | E | f | A |
|----------|-----------|--------|---------|--------|---------|--------|---------|
| Квітень | -0,00005 | 0,007 | -0,3248 | 6,8071 | -70,475 | 362,85 | -662,8 |
| Травень | -0,0002 | 0,0174 | -0,7018 | 13,648 | -135,88 | 675,33 | -1253,7 |
| Червень | -0,0001 | 0,0176 | -0,7539 | 15,224 | -155,49 | 785,44 | -1487,4 |
| Липень | -0,000002 | 0,0065 | -0,4001 | 9,4308 | -104,47 | 556,8 | -1079,2 |
| Серпень | -0,000008 | 0,0049 | -0,2892 | 6,6806 | -72,935 | 387,47 | -730,4 |
| Вересень | -0,00002 | 0,001 | -0,1065 | 2,8418 | -32,589 | 182,01 | -318,8 |

Таблиця 2

Елементи рівняння висоти сонця

| Місяць | k | l | m | n | o | p | B |
|----------|---------|--------|---------|--------|---------|--------|---------|
| Квітень | -0,0002 | 0,0177 | -0,5202 | 7,6773 | -60,42 | 252,5 | -447,1 |
| Травень | -0,0004 | 0,0266 | -0,7871 | 11,743 | -93,738 | 391,92 | -673,23 |
| Червень | -0,0004 | 0,0327 | -0,9725 | 14,628 | -117,84 | 494,3 | -843,8 |
| Липень | -0,0004 | 0,0297 | -0,8867 | 13,375 | -107,97 | 454,47 | -781,5 |
| Серпень | -0,0003 | 0,0206 | -0,6102 | 9,1029 | -72,47 | 304,09 | -532,5 |
| Вересень | -0,0002 | 0,0144 | -0,4206 | 6,1323 | -47,769 | 200,55 | -367,3 |

Таблиця 3

Вихідні дані та результати розрахунку значень інсоляції

| t, год. | $A_c,^\circ$ | $\Delta A,^\circ$ | $H_c,^\circ$ | $\cos\Delta A$ | α' | $\varphi,^\circ$ | $\sin H_c$ | $\sin\varphi$ | KS' | KS | $S'\varphi$ | $S'H_c$ |
|---|--------------|-------------------|--------------|----------------|-----------|------------------|------------|---------------|-------|------|-------------|---------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 |
| $A_e = 0^\circ$ (північна експозиція) | | | | | | | | | | | | |
| 6 | 70 | 70 | 13 | 0,34 | 11,3 | 24,5 | 0,228 | 0,415 | 1,82 | 0,18 | 7,6 | 4,2 |
| 8 | 91 | 91 | 33 | 0,02 | 0,6 | 32,3 | 0,543 | 0,534 | 0,98 | 0,65 | 34,8 | 35,4 |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 12,5 | 183 | 183 | 65 | 1,00 | 30,3 | 35 | 0,908 | 0,576 | 0,63 | 1,00 | 57,6 | 91,2 |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 16 | 259 | 259 | 41 | 0,19 | 6,4 | 34,6 | 0,656 | 0,568 | 0,87 | 0,77 | 43,4 | 50,2 |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 19 | 292 | 292 | 12 | 0,37 | 12,4 | 23,9 | 0,199 | 0,405 | 2,03 | 0,11 | 4,6 | 2,3 |
| $A_e = 45^\circ$ (північно-східна експозиція) | | | | | | | | | | | | |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |

а південної – знову гірше. Однак робити висновок не про відносне, а про фактичне інсолювання схилів на підставі коефіцієнта KS' не коректно, оскільки в різні години дня сонячні промені проходять крізь атмосферу під різним кутом, а отже проходять у ній різний шлях, істотно послаблюючися при малих кутах до земної поверхні.

Дослідження з використанням піранометра (див. рис. 2) та дифузора, що відсікає розсіяну радіацію, дозволили встановити зв'язок (рис. 4, зліва) та отримати рівняння залежності прямої радіації S (у мілівольтах) від H_c :

$$S = 3,065 \cdot \ln(H_c) - 4,15 \quad (7).$$

Оскільки достовірно перевести мВ у Вт/м² було важко, обмежилися відносною оцінкою прямої радіації – коефіцієнтом KS (рис. 4, прав.) – відношенням показів мультиметра (мВ) при різній висоті сонця H_c до показів при її максимальному значенні – у 1230 у середньому за червень (65°).

Рівняння відносної прямої радіації має вигляд:

$$KS = 0,3544 \cdot \ln(H_c) - 0,48. \quad (8)$$

За допомогою (8) визначили відносне значення прямої радіації KS для висот, що мали місце в різні години дня (кол. 11).

За значеннями KS , використовуючи формулу $S'_{\phi} = 100 \cdot KS \cdot \sin \phi$, визначили значення інсоляції S'_{ϕ} у різні години червневого дня на різних експозиціях (кол. 12), а за формулою: $S'_{H_c} = 100 \cdot KS \cdot \sin H_c$ – значення інсоляції S'_{H_c} на плато (кол. 13). Обидва показники виражені у відсотках від максимального значення інсоляції на плато, яке має місце при максимальній середньочервневій висоті сонця $H_c = 65^\circ$ на широті 48° у 1230. Результати представлені на рис. 5.

Як бачимо, графіки відносної інсоляції на плато симетричні в часі моменту 1230, досягаючи при цьому значення 100%. Симетричними є і графіки інсоляції на лініях схилу з азимутами 0° (північ) та 180° (південь), проте їх максимальні значення суттєво відрізняються, децю перевищуючи у першому випадку 58% і досягаючи у дру-

гому 109,1%. Має місце досягнення такого ж рівня при експозиції ПдСх та ПдЗх; ці графіки асиметричні щодо осі часу 1230, але симетричні один одному, так само, як і графіки Сх і Зх, ПнЗх і ПнСх. У 800 і 1700 значення відносної інсоляції на плато, північних і південних схилах стають однаковими (приблизно 44%).

У табл. 4 представлені погодинні значення інсоляції S' для плато і схилів всіх експозицій у % від полуденної червневої інсоляції на плато. Як бачимо, в окремі години інсоляція схилів від східної до південної і далі до західної експозиції може бути вищою, ніж опівдні на плато.

Середні денні червневі значення S' (табл. 4, передостанній рядок) закономірно збільшуються від 45,5% на півночі до 62,8% на півдні.

Прийнявши середню денну інсоляцію на плато (58,6%) за 100%, підраховали щодо її середні значення інсоляції за експозиціями схилів відвалу (нижній рядок). Як бачимо, на схилах експозицій Пд-Сх, Пд і Пд-Зх добова інсоляція перевищує 100%, тобто є вищою за плато.

За допомогою діаграм (рис. 6) точно встановлені межі бічної поверхні відвалу, що інсолюється краще, ніж плато. Це сектор між уздовжсхилувими лініями з азимутами $A_e = 120^\circ$ (ПдСхСх) і 230° (ПдЗхЗх) з максимумом у $107,2\%$ при $A_e = 180^\circ$ (південь). Інсоляція північної частини поверхні відвалу між румбами Пн-Зх і Пн-Сх є нижчою, ніж на плато більш ніж на 20%.

Наведені вище числові оцінки інсоляції схилів різної експозиції, отримані для найтеплішого місяця Північної півкулі Землі, дуже промовисто характеризують відмінності теплового режиму на схилах різної експозиції і, відповідно, їх лісорослинні умови. Однак для повнішої характеристики були поставлені такі завдання:

1. Дати оцінку інсоляції схилів різної експозиції загалом за теплу пору року (вегетаційний період) та помісячно.
2. Зіставити інсоляцію схилів відвалів Донецького басейну та рівної місцевості в інших природно-кліматичних зонах півкулі.

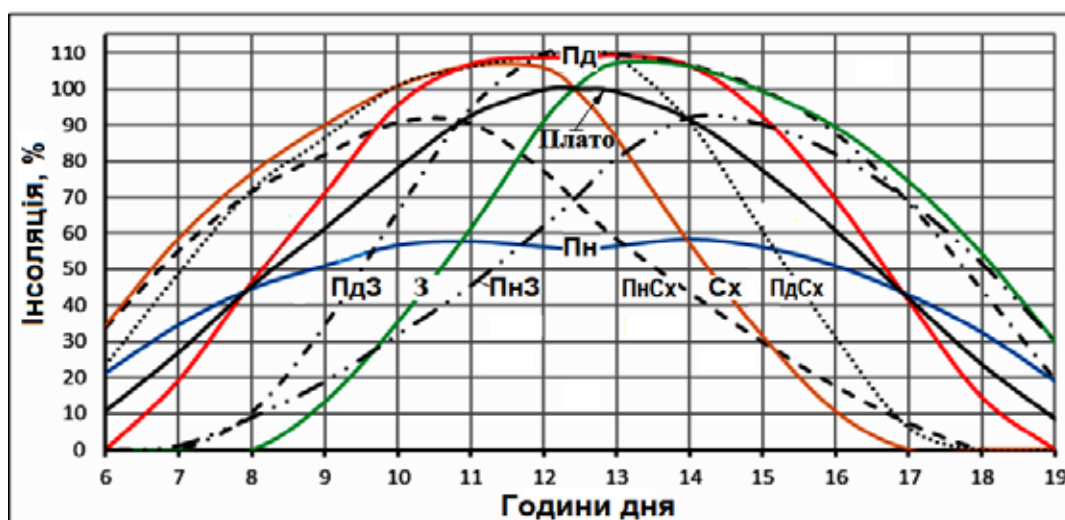


Рис. 5. Графіки відносної інсоляції схилів різної експозиції та плато усіченого або плоского відвалу у різні години червневого дня

Значення інсоляції (у %) на плато та схилах протягом червневого дня

| Час, години | Експозиція схилу | | | | | | | | Плато |
|----------------------|------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | Пн | Пн-Сх | Сх | Пд-Сх | Пд | Пд-Зх | Зх | Пн-Зх | |
| 6 | 21,2 | 33,8 | 34,3 | 23,4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 10,8 |
| 7 | 34,5 | 55,1 | 58,4 | 48,9 | 19,2 | 0,0 | 0,0 | 1,2 | 27,0 |
| 8 | 44,6 | 71,5 | 77,5 | 72,1 | 46,3 | 10,2 | 0,0 | 9,0 | 45,4 |
| 9 | 50,2 | 80,6 | 87,9 | 86,5 | 70,9 | 34,3 | 13,3 | 18,9 | 61,3 |
| 10 | 56,6 | 90,8 | 100,7 | 101,0 | 95,4 | 65,9 | 35,4 | 31,9 | 80,0 |
| 11 | 57,7 | 90,6 | 106,4 | 106,3 | 106,7 | 94,6 | 61,4 | 45,5 | 92,6 |
| 12 | 56,2 | 77,3 | 105,8 | 109,5 | 108,6 | 109,7 | 91,2 | 62,0 | 99,8 |
| 12,5 | 55,5 | 67,5 | 98,3 | 110,1 | 108,3 | 110,0 | 101,6 | 71,0 | 100,0 |
| 13 | 56,4 | 58,4 | 86,2 | 108,9 | 109,1 | 109,4 | 107,3 | 80,8 | 99,2 |
| 14 | 58,3 | 43,5 | 57,0 | 90,8 | 106,3 | 106,5 | 106,4 | 92,1 | 91,5 |
| 15 | 56,1 | 29,8 | 31,3 | 60,4 | 92,2 | 99,6 | 99,4 | 90,1 | 77,4 |
| 16 | 50,9 | 17,5 | 10,5 | 31,0 | 69,3 | 87,5 | 89,5 | 81,9 | 60,7 |
| 17 | 42,8 | 7,3 | 0,0 | 6,1 | 41,1 | 68,2 | 74,4 | 68,8 | 41,9 |
| 18 | 32,4 | 0,1 | 0,0 | 0,0 | 14,5 | 44,1 | 54,4 | 51,6 | 23,7 |
| 19 | 18,9 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 19,4 | 30,0 | 29,9 | 8,6 |
| В середньому за день | 45,5 | 46,9 | 54,0 | 60,4 | 62,8 | 60,7 | 54,5 | 47,4 | 58,6 |
| Відносно плато, % | 77,6 | 80,0 | 92,2 | 103,0 | 107,2 | 103,6 | 93,0 | 80,9 | 100,0 |

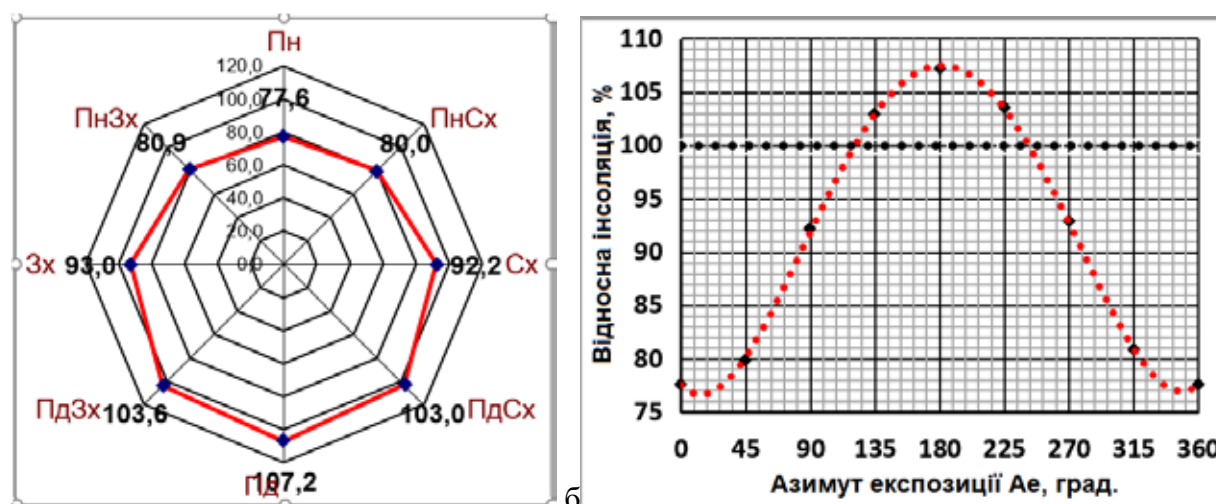


Рис. 6. Значення відносної денної інсоляції для відвальних схилів різних експозицій: а) пелюсткова діаграма; б) розгорнутий графік

Для вирішення першого завдання розраховали погодинні (з 600 до 1900) та середньомісячні (на 15 число) денні значення інсоляції з квітня по вересень на широті 48° (табл. 5).

Прийнявши середню денну інсоляцію щомісяця на плато за 100%, оцінили відмінності інсоляції схилів різних експозицій в інші місяці між собою та від рівної місцевості (рис. 7).

Як бачимо, у всі місяці схили можуть інсолюватися краще за плато, але в певних межах експозиції: квітень з Ае від 97° до 262°, серпень – від 100° до 260°, травень – від 110° до 250°, липень – від 114° до 245°, червень – від 120° до 245°, вересень – з Ае від 90° до 265°. Найменші відмінності інсоляції від плато мають місце у червні, найбільші – до 47% – у вересні.

Для вирішення другого завдання розрахунки, подібні до попередніх (для широти 48°), виконали для широт 23,5° (північний тропік), 30°, 40°, 60° та 70°, але тільки для рівної місцевості. Спочатку визначили значення висоти сонця на 10-те число червня та 15-те число інших місяців – для кожної години, починаючи з останніх негативних і закінчуючи першими негативними значеннями Нс. Розраховали погодинні значення інсоляції і середні денні (вони ж є середньомісячними) в інтервалі денного часу від 600 до 1900.

Відомо, що у загальному випадку максимальна висота сонця на задане число визначається рівнянням: $H_{с \max} = 90^\circ - \text{широта} + \text{сонячне схилення}$.

Сонячне схилення змінюється від $-23,5^\circ$ 23.XII до $+23,5^\circ$ 22.VI – у дні зимового та літнього сонцестояння. Найбільша

Значення інсоляції на схилах та плато у різні місяці

| Місяці | Експозиція відвального схилу | | | | | | | | |
|----------|------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| | Пд | ПдСх | Сх | ПдСх | Пд | ПдЗх | Зх | ПнЗх | Плато |
| Квітень | 18,6 | 24,6 | 36,1 | 44,0 | 49,4 | 45,2 | 36,3 | 25,7 | 37,4 |
| Травень | 33,8 | 36,7 | 45 | 51,7 | 54,8 | 52,3 | 45,6 | 37,3 | 48,1 |
| Червень | 41,3 | 42,6 | 49,1 | 54,8 | 57,1 | 55,1 | 49,5 | 43,1 | 53,2 |
| Липень | 36,4 | 39 | 45,6 | 50,7 | 52,9 | 50,6 | 44,5 | 37,8 | 48,2 |
| Серпень | 24,5 | 30,2 | 40,6 | 48,6 | 53,2 | 48,6 | 40,5 | 30,1 | 42,4 |
| Вересень | 8,6 | 17,2 | 29,7 | 38,2 | 43,9 | 39,2 | 29,5 | 17,0 | 29,8 |
| Середнє | 27,2 | 31,7 | 41,0 | 48,0 | 51,9 | 48,5 | 41,0 | 31,8 | 43,18 |

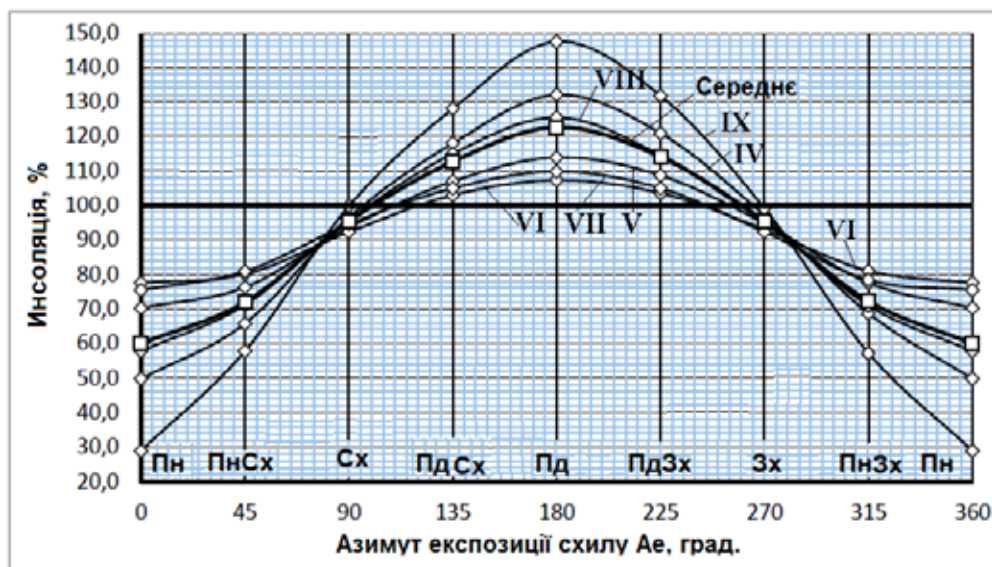


Рис. 7. Значення інсоляції на схилах різної експозиції у різні місяці та в середньому (у % від інсоляції на плато)

висота сонця влітку дорівнює 90° на широті $23,5^\circ$ (північний тропік). Максимальні (на 1230) та середні значення висоти сонця H_s з 600 по 1900 показані на рис. 8.

Варіювання інсоляції горизонтальної поверхні (плато) за місяцями та широтами Північної півкулі Землі дано на рис. 9 (ліворуч). Шляхом зіставлення даних табл. 5 із сімейством ліній на рис. 9 отримано графік (рис. 9 прав.), що показує, яким широтам півкулі (вертикальна вісь) відповідають за величиною інсоляції горизонтальної поверхні в середньому за квітень-вересень відвальні схили крутістю 35° на широті 48° залежно від їх експозиції (горизонтальна вісь). Для наочності лініями 1–3 виділено широти, що відповідають Північному тропіку ($23,5^\circ$ пн.ш.), центру Донбасу (48°) та Полярному колу ($66,5^\circ$).

Як бачимо, на схилах з експозицією на північ від ПнЗх і ПнСх ($A_e < 40^\circ$ і $A_e > 315^\circ$) надходження сонячної радіації аналогічне Заполяр'ю. На схилах ПнСхСх і Сх, Зх і ПнЗхЗх ($45^\circ < A_e < 110^\circ$ і $250^\circ < A_e < 315^\circ$) інсолюваність нижче, ніж на широті центру Донбасу. А на схилах експозицій ПдСх і ПдЗх ($110^\circ < A_e < 180^\circ$ і $180^\circ < A_e < 250^\circ$) інсолюваність вище, досягаючи на експозиції Пд субтропічних значень. У червні та липні інсолюваність тут набуває значення, якого немає на горизонтальних ділянках Землі навіть на тропіці.

Обговорення. На відміну від інших статей з якісною характеристикою лісорослинних умов на породних відвалах: вітчизняних (Shalyt & Kostomarov, 1950; Baklanov, 1970; Logginov et al., 1972; Zubova et al., 2015; Zubova et al., 2019; Korshikov & Zhukov; Zhukov, 2020; Pinder & Popovych, 2017; Popovych et al., 2018) та зарубіжних (Vacek et al., 2018; Prausová Ret al., 2017) в нашій роботі вперше надано кількісну оцінку локальних відмінностей інсоляції за різних експозицій, її динаміку протягом світлої частини доби, дано її осереднені показники для місяців вегетаційного сезону.

Висновки. В результаті досліджень запропоновано та апробовано авторську методику розрахунково-графічного визначення особливостей інсоляції крутих схилів, яка може використовуватися як для крутих відкосів породних відвалів вугільних шахт та інших підприємств гірничої та металургічної промисловості, так і для сільськогосподарських угідь. Використання методики у сукупності з натурними актинометричними спостереженнями свідчить, що лісорослинні умови на відвалах характеризуються дуже широким варіюванням, що робить їх за інсоляцією подібними умовам Землі від горизонтальних ділянок Заполяр'я до південних схилів на Північному

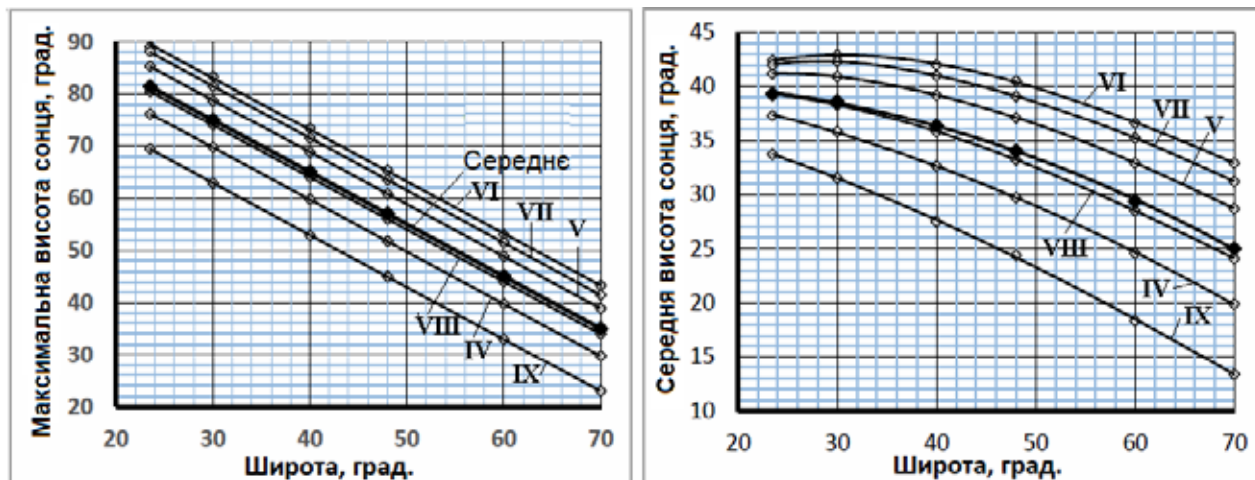


Рис. 8. Максимальні та середні місячні значення висоти сонця 22 червня залежно від широти місцевості

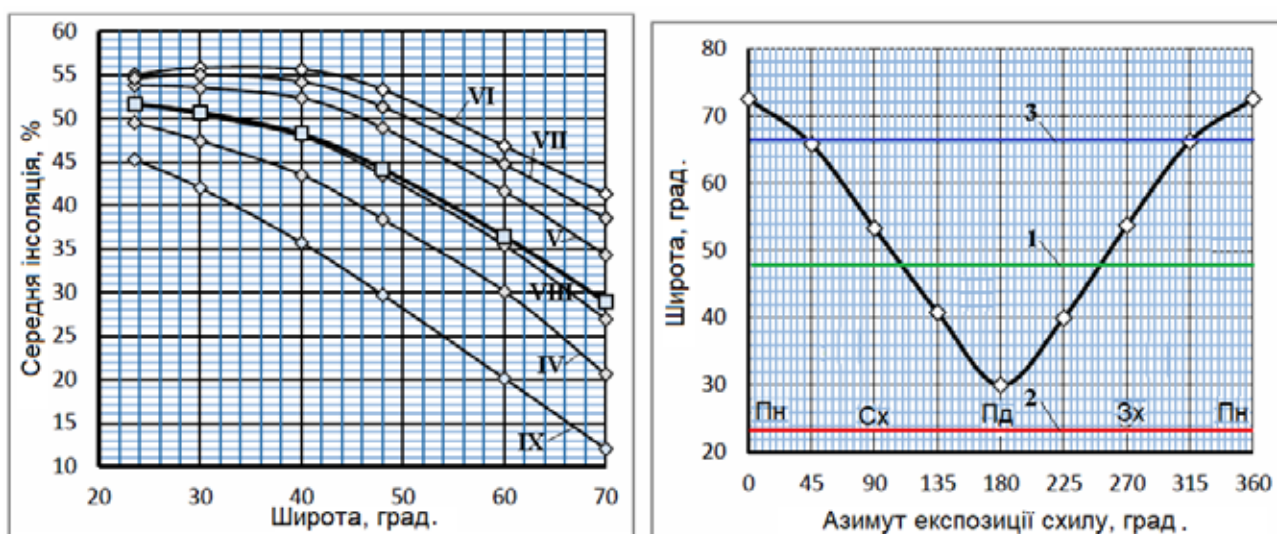


Рис. 9. Залежність середньої денної інсоляції горизонтальної поверхні у різні місяці від широти місцевості (ліворуч) та відповідність відвальних схилів різної експозиції ділянкам горизонтальної поверхні на різних широтах за величиною інсоляції: IV–XI – квітень-вересень, 1 – широта місця досліджень, 2 – Північний тропік, 3 – Полярне коло

тропіку. Говорити про повну ідентичність умов на відвальних схилах умовам різних географічних зон лише на підставі відмінностей в інсоляції не можна. Однак останні істотно впливають на танення снігу та його випаровування, на температуру породи та випарову-

вання вологи з неї, ґрунтоутворювальні процеси. Все це відбивається на умовах зростання деревних культур на різних схилах, змушує підбирати состав деревинних порід при залісненні відвалів з урахуванням їх посухостійкості та світлолюбності.

Бібліографічні посилання:

1. Alekseenko, V.A., Bech, J., Alekseenko, A.V. & Shvydkaya, N.V. (2018). Environmental impact of the disposal of coal mining waste in soils and plants in the Rostov Oblast, Russia Journal of Geochemical Exploration Volume 184, Part B, January, 261–270. doi: 10.1016/j.gexplo.2017.06.003
2. Anis, M.S., Jamil, B., Ansari, M.A. & Bellos, E. (2019). Generalized models for estimation of global solar radiation based on sunshine duration and detailed comparison with the existing: a case study for India. Sustain Energy Technol Assess, 31, 179–198. doi: 10.1016/j.seta.2018.12.009
3. Gupta, A. K. & Biswajit, P. (2015). Ecorestoration of Coal Mine Overburden Dump to Prevent Environmental Degradation: A Review. Research Journal of Environmental Sciences, 9, 307–319. doi: 10.3923/rjes.2015.307.319.
4. Aoun, N., Bouchouicha, K. & Bailek, N. (2019). Seasonal performance comparison of four electrical models of monocrystalline PV module operating in a harsh environment. IEEE J Photovoltaics. 9(4), 1057–1063. doi: 10.1109/JPHOTOV.2019.2917272.

5. Badesku, V. (2008). Modeling solar radiation at the Earth surface. Berlin: Springer, 517. doi: 10.1007/978-3-540-77455-6.
6. Bailek, N., Bouchouicha, K., Al-Mostafa, Z., El-Shimy, M., Aoun, N., Slimani, A., Al-Shehri, S. (2018). A new empirical model for forecasting the diffuse solar radiation over Sahara in the Algerian Big South. *Renew Energy*, 117, 530–537. doi: 10.1016/j.renene.2017.10.081.
7. Bailek, N., Bouchouicha, K., Abdel-Hadi, Yasser A., El-Shimy, Mohamed, Slimani, A., Jamil, B.t & Djaafari, A. (2020). Developing a new model for predicting global solar radiation on a horizontal surface located in Southwest Region of Algeria, *NRIAG Journal of Astronomy and Geophysics*, 9(1), 341–349, doi: 10.1080/20909977.2020.1746892.
8. Baklanov, V. I. (1970). Rastitel'nye usloviya terikonov Donbassa [Vegetative conditions of waste heaps of Donbass] / V kn. *Introdukciya rasteni i zelenoe stroitel'stvo v Donbasse*. Nauk. dumka, K., 15–25 (in Russian).
9. Baliuk, S.A., Danylenko, A.S. & Furdychko, O.I. (2017). Zvernennia do kerivnytstva derzhavy shchodo podolannia kryzovoi sytuatsii u sferi okhorony zemel [Appeal to the state leadership on overcoming the crisis situation in the field of land protection]. *Visnyk ahrarnoi nauky*, 11, 5–8. (in Ukrainian).
10. Chugh, Y. P. & Behum, P. T. (2014). Coal waste management practices in the USA: an overview *Int Coal Sci Technol*, 1, 163–165. doi: 10.1007/s40789-014-0023-4.
11. Gawor, L. (2014). Coal mining waste dumps as secondary deposits – examples from the Upper Silesian Coal Basin and the Lublin Coal Basin *Geology, Geophysics and Environment*, 40 (3), 285–289. doi: 10.7494/geol.2014.40.3.285.
12. Geissen, V., Mol, H., Klumpp, E., Umlauf, G., Nadal, M., van der Ploeg, M., van de Zee, S.E.A.T.M. & Ritsema, C.J. (2015). Emerging pollutants in the environment: A challenge for water resource management. *International Soil and Water Conservation Research*, 3(1), 57–65. doi: 10.1016/j.iswcr.2015.03.002.
13. Dong, X., Mace, G. G. (2003). Macearctic Stratus Cloud Properties and Radiative Forcing Derived From Ground-Based Data Collected at Barrow, Alaska. *J. Climate*, 16, 445–461. doi: 10.1175/1520-0442(2003)016<0445:ASCPAR>2.0.CO;2
14. Khrgian, A.H. (1958) *Fizika atmosfery*. Izdanie 2-e pererabotannoe. Gos. Izd-vo fiziko-matematicheskoy literatury, Moskva, 466. (in Russian)
15. Kirichek, L.S. (2003). Tipologiya terikoniv vugil'nih shaht Donbasu za lisoroslinnimi umovami [Typology of waste heaps of Donbass coal mines according to forest conditions]. *Naukovij visnik UkrDLTU*, 13.3, 123–127 (in Ukrainian).
16. Kondrat'ev, K.Ya., Pivovarova, Z.I., & Fedorova, M.P. (1978). Radiacionnyj rezhim naklonnyh poverhnoстей [Radiation regime of inclined surfaces]. *Gidrometeoizdat*, L., 216.
17. Korshikov, I.I. & Zhukov, S.P. (2008). Samovozobnovlenie drevesnyh rastenij na otvalah ugol'nyh shaht Donbassa [Self-renewal of woody plants on dumps of Donbass coal mines]. *Promyshlennaya botanika*, 8, 17–23 (in Russian).
18. Kumar, L., Skidmore, A. & Knowles, E. (1997). Modelling topographic variation in solar radiation in a GIS environment. *Intern. J. of GIS*, 11(5), 475–497. doi: 10.1080/136588197242266.
19. Lai, Y.J., Chou, M.D. & Lin, P.H. (2010). Parameterization of topographic effect on surface solar radiation *Journal of Geophysical Research Atmospheres*, 115. D01104, 11. doi: 10.1029/2009JD012305.
20. Logginov, B.J., Kirichek, L.S. & Korec'kij, G.S. (1972) Umovi rostu lisonasadzhen' ta rezul'tati doslidiv na terikonah Donbasu [Conditions for the growth of forest plantations and the results of research on waste heaps of Donbass] / *Naukovi praci USGA*, Vip. 64. C. 39–45 (in Ukrainian).
21. Marcisz, M., Probiez, K. & Gawor, Ł. (2020). Possibilities of reclamation and using of large-surface coal mining dumping grounds in Poland. *Gospodarka Surowcami Mineralnymi – Mineral Resources Management*, 36(1), 105–122. doi: 10.24425/gsm.2020.132546
22. Morgunov, V.K. (2005). *Osnovy meteorologii, klimatologii. Meteorologicheskije pribory i metody nablyudenij: Uchebnik* [Fundamentals of meteorology, climatology. Meteorological Instruments and Methods of Observation: Textbook]. Rostov/D., Feniks – Novosibirsk, Sibirskoye otdeleniye, 331 (in Russian).
23. Muzathik, A.M., Ibrahim, M.Z., Samo, K.B. & Nik, W.B.W. (2011). Estimation of global solar irradiation on horizontal and inclined surfaces based on the horizontal measurements. *Energy*, 36(2), 812–818. doi: 10.1016/j.energy.2010.12.035.
24. Nevidimova, O.G. & Kuznecov, A.S. (2015). Morfometricheskaya differenciatsiya plotnosti geliyosursa na severnom makrosklone Severo-Chujskogo hrebtu (Gornyj Altaj) [Morphometric differentiation of solar resource density on the northern macroslope of the Severo-Chuysky ridge (Gorny Altai)] *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*. № 2 (chast' 2) URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=21540> (in Russian).
25. Olmo, F.J., Vida, J., Foyo, I., Castro-Diez, Y. & Alados-Arboledas, L. (1999). Prediction of global irradiance on inclined surfaces from horizontal global irradiance. *Energy*, 24(8), 689–704. doi: 10.1016/S0360-5442(99)00025-0
26. Pandey, B., Madhoolika, A. & Singh, S. (2014). Effects of Coal Mining Activities on Soil Properties with Special Reference to Heavy Metals. *Conference Paper*, 369–372. doi: 10.1007/978-3-319-18663-4_56
27. Petlovanyi, M.V., Medianyuk V.Yu. (2018). Assessment of coal mine waste dumps development priority. *Naukovyi Visnyk NHU*, No. 4, 28-35 ISSN 2071-2227, doi: 10.29202/nvngu/2018-4/3.
28. Pinder, V.F., Popovych V.V. (2017). Rekul'tyvatsiya porodnykh vidvaliv likvidovanykh shakht L'vivs'ko-Volyns'koho vuhil'noho baseynu. [Reclamation of mine waste dumps of liquidated mines in Lviv-Volyn coal basin], *Naukovyy visnyk NLTU Ukrainy*, 27(3), 27 (3), 113–116. doi: 10.15421/40270325 (in Ukrainian).
29. Pluss, C. & Ohmura, A. (1997). Longwave Radiation On Snow-Covered Mountainous Surfaces. *J. Appl. Meteor*, 36, 818–824. doi: 10.1175/1520-0450-36.6.818
30. Popovich, V.V., Pidgorodec'kij, Ya. I. & Pinder, V.F. (2016). Tipologiya terikoniv L'vivs'ko-Volyns'koho vugil'nogo baseynu [Typology of waste heaps of the Lviv-Volyn coal basin]. *Naukovij visnyk NLTU Ukrainy*, 26.8, 238–243. doi: 10.15421/40260837 (in Ukrainian).

31. Popovych, V. (2019). Features of temperature and humidity conditions of extinguishing waste heaps of coal mines in spring. *News of the Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of geology and technical sciences*, 4(436), 230 – 237. doi: 10.32014/2019.2518-170X.118.
32. Popovych, V., Kuzmenko, O., Voloshchynshyn, A. & Petlovanyi, M. (2018). Influence of man-made edaphotopes of the spoil heap on biota. *E3S Web of Conferences*, 60. 00010. doi: 10.1051/e3sconf/20186000010.
33. Prausová Romana, Štefánek Michal, Rauch Ota, Kovář Pavel (2017). Trees as ecosystem engineers driving vegetational restoration/retrogradation of industrial deposits in cultural landscape. *Journal of Landscape Ecology*, 10(2), 122–131. doi: 10.1515/jlecol-2017-0015
34. Rodríguez-Eugenio, N., McLaughlin, M. & Pennock, D. (2018). *Soil Pollution: a hidden reality*. Rome, FAO, 142. URL: <http://www.fao.org/3/i9183en/i9183en.pdf>.
35. Shalyt, M.S. & Kostomarov, V.I. (1950). Opytnoe ozelenenie terrikonikov Donbassa [Experimental landscaping of waste heaps in Donbass]. *Doklady AN USSR*. T.5, 399–404 (in Russian).
36. Sidorenko, S.V., Korsovec'kii, V.O., Sidorenko, S.G. & Gladun, G.B. (2020). Sezonne ta dobove formuvannya zoni zatinnennya v priuzlissnij chastini shchil'nih polezahisnih lisovih smug [Seasonal and daily formation of a shading zone in the marginal part of dense field-protective forest belts]. *Lisivnictvo i agrolisomelioraciya*, 136, 83–95. doi: 10.33220/1026-3365.136.2020.83. (in Ukrainian).
37. Simonov, Yu.G. (1958). Raspredelenie solnechnoj energii po sklonam razlichnoj krutizny i ekspozicii v ravninnyh usloviyah [Distribution of solar energy on slopes of various steepness and exposure in flat conditions]. *Uchenye zapiski. M., Izd-vo MGU*, 197–203 (in Russian).
38. Sivkov, S.I. (1968). Metody rascheta harakteristik solnechnoj radiacii [Methods for calculating the characteristics of solar radiation]. – L.: Gidrometeoizdat. 232 p. [In Russian].
39. Skliar, V.H. (2015). *Ekolohichna fiziologhiia roslyn: pidruchnyk [Ecological physiology of plants: a textbook] / za zah. red. Yu.A. Zlobina*. Universytetska knyha, Sumy, 271 (in Ukrainian).
40. Sokolova, G.G. (2016). The influence of terrain altitude, slope exposure and slope degree on plant spatial distribution. *Acta Biologica Sibirica*, 2(3), 34–45. doi: 10.14258/abs.v2i3.1453 (in Russian).
41. Vacek, Z., Cukor, J., Vacek, S., Podrázský, V., Linda, R. & Kovařík, J. (2018). Forest biodiversity and production potential of post-mining landscape: opting for afforestation or leaving it to spontaneous development? *Central European Forestry Journal*, 64 116–126. doi: 10.1515/forj-2017-0036
42. Williams, L. D., Barry, R. G. & Andrews, J. T. (1972). Application of computed global radiation for area of high relief. *J. Appl. Meteor.*, 11, 526–533. doi: 10.31163/2618-964X-2020-3-3-412-417
43. Yingyi Chen, Yijun Jiang, Hu Wang & Daoliang Li. (2007). Assessment of ambient air quality in coal mine waste areas – a case study in Fuxin, China. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, vol. 50, 1187–1194. doi: 10.1080/00288230709 510401
44. Yucel, S. D., Yucel, M. A. & Ileri, B. (2017). Monitoring metal pollution levels using the GIS. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Volume IV / W4, 2017 4th International GeoAdvances Workshop*, 14–15 October, Safranbolu, Karabuk, Turkey, 335–338. doi: 10.5194/isprs-annals-IV-4-W4-335-2017
45. Zástěrová, P., Marschalko, M., Niemiec, D., Durd'ák, J., Bulko, R. & Vlšek, J. (2015). Analysis of Possibilities of Reclamation Waste Dumps after Coal Mining. *Procedia Earth and Planetary Science* 15 656–662. doi: 10.1016/j.proeps.2015.08.077
46. Zhukov, S.P. (2020). Drevesnye rasteniya na porodnyh otvalah Donecko-Makeevskoj gorodskoj aglomeracii [Woody plants on waste dumps of the Donetsk-Makeevka urban agglomeration]. *Ekobiotech. Tom 3, № 3, S. 412-417*. DOI: 10.31163/2618-964X-2020-3-3-412-417 (in Russian).
47. Zillig, Lisa J. K., Keenan, N. & Roberts, T. (2015). Mining Rehabilitation in New South Wales (Australia) and Germany. *Journal of Earth Science and Engineering* 5, 499–511. doi: 10.17265 / 2159-581X / 2015.08.005
48. Zubov, O.R., Zubova, L.G. & Zubov, A.O. (2019). Ocinyuvannya vplivu terikoniv na ekologichnij stan agrolandshaftiv [Assessing the influence of waste heaps on the ecological state of agricultural landscapes]. *Naukovij visnik NLTU Ukraini. L'viv.*, 29(9), 50–59. doi: 10.36930/40290909 (in Ukrainian).
49. Zubova, L.G., Zubov, O.R. & Zubov, A.O. (2019). Analiz stanu lisovih nasadzhen' na terikonah [Analysis of the state of forest plantations on the terricons]. *Tavrijs'kij naukovij visnik. Herson*, 110, 141–151. doi: 10.32851/2226-0099.2019.110-2.22. (in Ukrainian).
50. Zubova, L.G., Zubov, A.R., Zubov, A.A., Kharlamova, A.V., Vorob'yev, S.G., Makarishina, Yu.I. & Buniachenko, V.V. (2015). *Terrikony: Monografiya [Waste dumps: Monograph]*. Lugansk: Noulidzh. 712. (in Russian). URL: <http://www.geokniga.org/books/16806>.

Zubov A.O., PhD (Technical Sciences), Doctoral Student, Institute of Agroecology and Nature Management, Kyiv, Ukraine

Zubov O.R., Doctor (Agricultural Sciences), Professor

Features of the arrival of solar radiation on the slopes of waste dumps as a factor in the forest conditions of their surface

The purpose of the study is to determine the temporal differences in the elements of the radiation balance on the steep slopes of the rock dumps of mining enterprises, depending on their exposure. To achieve this goal, the following tasks were solved: to establish the spatial and temporal patterns of changes in the insolation of dump slopes as the main element of the incoming part of their radiation balance; to assess the insolation of slopes of different exposures in general for the warm season (vegetation period) and monthly; to compare the insolation of the slopes of the dumps of the Donetsk coal basin and flat terrain in other natural and climatic zones of the Earth. The studies were carried out on the basis

of the developed formula for the angle of incidence of sunlight on slopes of different steepness, depending on the latitude of the area, the date and hour of the day, and the exposure azimuth of the studied slope area. The difference from similar studies was the consideration of the attenuation of direct radiation during the passage of the atmosphere at different angles of incidence of solar rays on a horizontal surface. On the basis of actinometric measurements, a formula was obtained for the decrease in direct radiation relative to its maximum value, which takes place on June 22 at noon.

As a result of the research, it was found that the daily insolation of the June day, starting from the exposure azimuth of the slope A_e from 120° to 230° , is higher than on the plateau (horizontal surface) up to 7.2% in the south. In all other months, the slopes can also be insolated better than the plateau, but within certain exposure limits: April at A_e from 97° to 262° , August – from 100° to 260° , May – from 110° to 250° , July – from 114° up to 245° , September – at A_e from 90° to 265° . The greatest differences in insolation from the plateau occur in September – up to 47%.

It was established that on average for April-September, on slopes with a steepness of 35° at a latitude of 48° with an exposure between NW and NE ($A_e = 315-40^\circ$), the influx of solar radiation is similar to the Arctic. On slopes with $A_e = 45-110^\circ$ and $A_e = 250-315^\circ$ the insolation is lower than at the latitude of the center of Donbass (48°). And on the slopes of exposures with $A_e = 110-180^\circ$ and $A_e = 180-250^\circ$, the insolation is higher, reaching subtropical values at exposure S ($A_e = 180^\circ$). In June and July, insolation here acquires a significance that is not even found in the tropics. The established differences in insolation on the slopes of dumps are significantly reflected in the conditions for the growth of different types of vegetation on them. Therefore, the use of the author's method for determining the features of slope insolation will allow more correctly selecting the composition of tree species during afforestation of dumps, taking into account their drought resistance and light-loving nature.

Key words: waste dump, slope, radiation balance, insolation.

БІОХІМІЧНІ ПОКАЗНИКИ ЗЕРНА СОЇ ЗА ПЕРЕДПОСІВНОЇ ОБРОБКИ НАСІННЯ КОМБІНАЦІЯМИ МЕТАБОЛІЧНО АКТИВНИХ РЕЧОВИН

Козючко Альона Григорівна

аспірантка

Ніжинський державний університет імені Миколи Гоголя,

м. Ніжин, Україна

ORCID: 0000-0001-5703-0292

alona.kozyuchko.01@gmail.com

Гавій Валентина Миколаївна

кандидат біологічних наук, доцент

Ніжинський державний університет імені Миколи Гоголя,

м. Ніжин, Україна

ORCID: 0000-0002-2804-0456

gaviyv@gmail.com

З усіх зернобобових культур соя є найбільш цінною культурою. За вмістом життєво необхідних речовин у зерні соя не має собі рівних. Вона характеризується високим вмістом білка, олії та високими поживними якостями.

Без використання добрив неможливо отримати великий урожай сої. Серед основних факторів, що визначають урожайність цієї культури, добрива становлять 30%, сорти – 20%, погодні умови та захист рослин – по 15%, ефективна родючість та обробіток ґрунту – по 10%. Експериментальні дослідження свідчать про те, що регулятори росту рослин значно підвищують поживну цінність насіння сої. Тому, нами було вивчено вплив комбінацій метаболічно активних речовин (комбінацій вітаміну Е і убіхінону-10; вітаміну Е, параоксибензойної кислоти (ПОБК) і метіоніну; вітаміну Е, параоксибензойної кислоти (ПОБК), метіоніну, магній сульфату (MgSO₄) і регулятора росту Вимпел на біохімічний склад насіння сої сорту Аннушка.

Передпосівна обробка насіння сої метаболічно активними речовинами сприяє більш активному порівняно із контрольним варіантом накопиченню білку та «сирої» клітковини у зерні сої. Обробка насіння вітаміном Е в поєднанні з убіхіноном-10 перед сівою забезпечила підвищення вмісту сирого протеїну в насінні сої в середньому на 31,44 %. Комбінації метаболічно активних речовин дали можливість збільшити вміст «сирої» клітковини в середньому на 2,88–3,89 %. Максимальних результатів було досягнуто за використання комбінацій вітамін Е + убіхінон-10 та вітамін Е + метіонін + ПОБК. Вище зазначені комбінації перевищили показник контролю за вмістом «сирої» клітковини на 51,59 % і 50,00 %.

Поєднання вітаміну Е та убіхінону-10 в порівнянні з іншими варіантами досліджень виявилось найефективнішим по накопиченню білку та «сирої» клітковини у насінні сої. Таким чином, введення у технологію вирощування сої передпосівної обробки насіння комбінаціями метаболічно активних сполук дозволить збільшити вміст білку, «сирої» клітковини в насінні сої, що є важливим з точки зору його харчової цінності.

Ключові слова: соя, біохімічні показники, білок, «сиря» клітковина, вітамін Е, убіхінон-10, параоксибензойна кислота (ПОБК), магній сульфат (MgSO₄), Вимпел.

DOI <https://doi.org/10.32845/agrobio.2022.2.13>

Вступ. Висока поживна цінність сої робить її незамінною культурою, яка займає 6 місце за загальним урожаєм і є найбільш вирощуваною олійною культурою, що адаптується до різноманітних кліматичних умов (Kim et al., 2015). Основними виробниками сої у світі є США, Бразилія, Аргентина, Китай та Індія, які забезпечують близько 90% світового виробництва (Rizzo & Varoni, 2018). Ця продовольча культура широко вживається в їжу завдяки джерелу білків високої якості. Споживання соєвого білка знижує рівень холестерину в крові, зменшує ризик розвитку серцево-судинних захворювань, раку молочної залози та остеопорозу (Gutiérrez et al., 2006).

У прагненні задовольнити підвищений попит на сою, стало важливим впровадження агротехнічних методів, які сприяють пристосованості до складних умов середовища, покращують стійкість сої до абіотичного стресу та підвищують продуктивність. Регулятори росту рослин в основному використовуються для досягнення зазначе-

ного через їх вирішальну роль у рості та розвитку рослин (Amoanima-Dede et al., 2022).

Відомо, що регулятори росту рослин також необхідні для проростання, розвитку квіток і коренів, дозрівання та зберігання насіння рослин (Wu et al., 2017; Yi-Ping et al., 2015). Продемонстровано, що такі регулятори росту рослин, як ауксин, цитокінін, абсцизова кислота, етилен, жасмонова кислота, саліцилова кислота, гібереліни та брасиностероїди, сприяють зростанню продуктивності сої (Basuchaudhuri, 2016; Dhakne et al., 2015; Giri et al., 2018; Kim et al., 2018; Mohamed & Latif, 2017; Roy Choudhury, Johns & Pandey, 2019; Sudadi & Suryono, 2015), утворення коренів і пагонів (Kim et al., 2018; Qi et al., 2013; Steffens, Wang & Sauter, 2006), покращують ефективність використання води (Giri et al., 2018), сприяють цвітінню та зав'язуванню бобів (Nagel et al., 2001), підвищують вміст хлорофілу (Sun et al., 2016), покращують швидкість фотосинтезу (Qi et al., 2013; Travaglia,

Reinoso & Bottini, 2009), посилюють транслокацію фотоасимілятів (Liu et al., 2013)., 2019; Sun et al., 2016), збільшують накопичення біомаси (Liu et al., 2019; Mohamed & Latif, 2017), забезпечують стійкість до абіотичних стресів (George, Hall & De Klerk, 2008; Hamayun et al., 2010), що призводить до посилення росту та врожайності.

Експериментальні дослідження свідчать про те, що регулятори росту рослин значно підвищують поживну цінність насіння сої. Такі параметри якості насіння, як вміст білка, є особливо важливими для виробництва харчової сої. Низький вміст білка в насінні сої є небажаним для отримання соєвого молока. Розчинний білок виконує важливі функції у рості рослин і є ключовою складовою кількох рослинних ферментів, що впливає на метаболізм рослини в цілому. Позакореневе внесення 100 мг/л саліцилової кислоти, 10 мг/л паклобутразолу або 5 г/л гумінової кислоти на рослини сої мали позитивний вплив, максимізуючи її поживну цінність (El-Aal & Eid, 2017). Саліцилова кислота підвищила якість насіння сої та структуру врожаю порівняно з контролем (Devî et al., 2011). Крім того, обприскування саліциловою кислотою листків і стебел на ранніх стадіях вегетації підвищило вміст білку та води в насінні сої (Khatun et al., 2016). Таким чином, регулятори росту покращують якість насіння сої як у стресових, так і в нормальних умовах.

Мета роботи полягала у дослідженні біохімічного складу насіння сої сорту Аннушка за передпосівної обробки насіння комбінаціями метаболічно активних речовин.

Матеріали і методи досліджень. Польові дослідження проводили на території навчально-дослідної агробіостанції Ніжинського державного університету імені Миколи Гоголя. Грунтовий покрив дослідного поля – чорнозем опідзолений, малогумусний. За профілем характеризується відносною однорідністю гранулометричного і валового хімічного складу зі значним вмістом елементів живлення в гумусовому горизонті. Вміст гумусу в орному шарі ґрунту 3,5 %, ступінь насиченості основами – 90,8–91,1 %, реакція ґрунтового розчину слабокисла (рН 6,0–6,3), гідролітична кислотність 2,42 мг -екв./100 г ґрунту, вміст рухомих сполук фосфору – 118 мг/кг та обмінного калію – 99 мг/кг (за Чириковим – забезпеченість підвищена), нітрогену – 64 мг/кг (за Корнфілдом – забезпеченість середня). Потреби у внесенні мінеральних добрив не було. Загальна площа посівної ділянки – 108 м². Повторність дослідів – трьохразова. Дослідження проводилися протягом 2019–2021 рр.

Для дослідів використовували сою сорту Аннушка, виведену НСНФ «Соєвий вік». За врожайністю він істотно перевищує інші скоростиглі сорти, а за вмістом жиру та сирого протеїну йде на рівні з ними. Термін вегетації 75–85 днів. Українська державна система сортовипробування визнала за Аннушкою максимальну стійкість до хвороб – 9 балів (за 9-бальною шкалою), до вилягання – 8–9, посухи – 8,5–9,0 до осипання – 8,0–8,8 балів (тобто боби цього сорту практично не розтріскуються) (Коротич, 2006).

Нами були використані такі варіанти:

- контроль (необроблене насіння);
- обробка насіння комбінацією речовин: вітамін Е (10⁻⁸ М) + убіхінон-10 (0,001%);

- обробка насіння комбінацією речовин: вітамін Е (10⁻⁸ М) + параоксibenзойною кислотою (ПОБК) (0,001%) + метіонін (0,001%) + MgSO₄ (0,001%);

- обробка насіння комбінацією речовин: вітамін Е (10⁻⁸ М) + параоксibenзойною кислотою (ПОБК) (0,001%) + метіонін (0,001%).

Ефективність дії цих комбінацій порівнювали з дією відомого стимулятора росту рослин Вимпел (у концентрації 20 г/л).

При проведенні досліджень керувались «Основами наукових досліджень в агрономії» (Yeshchenko ta in., 2005).

Визначення білків у рослинному матеріалі проводили по методу Лоурі (Zakharova ta in., 1982). Масову частку клітковини визначали загально прийнятим методом Геннеберга і Штомана.

Статистична та математична обробка результатів здійснювалась за допомогою програми Excel 16.0 для Windows. Статистична оцінка проводилась за t – критерієм Стюдента при рівні значимості p ≤ 0,05.

Результати. Висока цінність сої визначається насамперед великим вмістом повноцінного білка, який на 88–95 % представлений водорозчинною фракцією і включає легкокорозчинні глобуліни (60–81 %), альбуміни (8–25 %), важкорозчинні глобуліни (3–7 %). Білок сої за хімічним складом дуже близький до білків тваринного походження, зокрема до білка курячих яєць, що є еталоном оцінки якості білка. Тому, організм людини витрачає мінімальні зусилля для перетворення соєвого білка в білки свого тіла. Також, білки сої містять незамінні амінокислоти (лізин, метіонін, цистин, тирозин, триптофан, треонін, валін, лейцин, ізолейцин, фенілаланін), які і визначають його повноцінність. Жодна інша культура не має такої кількості амінокислот, як соя (Babyuch, 1996; Sirchak, 1999).

На основі проведених нами досліджень з'ясовано, що передпосівна обробка насіння сої комбінаціями метаболічно активних речовин впливає на вміст білку в насінні. Так, вміст сирого протеїну у насінні сої у контрольному варіанті дослідів становив 18 мг/г. У результаті проведених досліджень встановлено позитивний вплив комбінацій вітамін Е + убіхінон-10 та вітамін Е + метіонін + ПОБК + MgSO₄ на вміст сирого протеїну в зерні сої. Так, обробка насіння вітаміном Е в поєднанні з убіхіноном-10 перед сівбою забезпечила підвищення вмісту сирого протеїну в середньому на 31,44 %, у той час як передпосівна обробка насіння комбінацією вітамін Е + метіонін + ПОБК + MgSO₄ – на 4,77 %, відповідно до показників контролю. Також слід відмітити, що за використання комплексу вітамін Е + убіхінон-10 вміст сирого протеїну був вищим порівняно із варіантами де застосовували регулятор росту Вимпел (табл. 1).

Передпосівна обробка комбінаціями метаболічно активних речовин також позитивно вплинула на вміст “сирої” клітковини в зерні сої (табл. 2). За результатами трирічних досліджень вміст “сирої” клітковини у контрольному варіанті складає 7,54 %. З'ясовано, що комбінації метаболічно активних речовин дали можливість збільшити цей показник в середньому на 2,88–3,89 %. Максимальних результатів було досягнуто за використання

**Вміст сирого протеїну в зерні сої сорту Аннушка за передпосівної обробки насіння
комбінаціями метаболічно активних речовин, мг/г**

| Варіант досліджу | 2019 р. | 2020 р. | 2021 р. | середнє | |
|---|------------------|------------------|------------------|------------------|---------------|
| | | | | мг/г | % до контролю |
| Контроль | 18,38 ± 0,30 | 16,87 ± 0,63 | 18,75 ± 0,44 | 18,00 ± 0,46 | 100,00 |
| Вимпел | 22,73 ± 0,92* | 23,44 ± 0,59* | 23,25 ± 0,75* | 23,14 ± 0,63* | 128,55 |
| Вітамін Е + убіхінон-10 | 24,75 ± 1,07* | 21,25 ± 1,25* | 25 ± 1,17* | 23,66 ± 0,96* | 131,44 |
| Вітамін Е + метіонін + ПОБК + MgSO ₄ | 19,1 ± 0,15 | 18,13 ± 0,63 | 19,37 ± 0,46 | 18,86 ± 0,43 | 104,77 |
| Вітамін Е + метіонін + ПОБК | 18,28 ± 0,32 | 15,95 ± 0,59 | 18,45 ± 0,45 | 17,56 ± 0,44 | 97,55 |

Примітка: * – різниця достовірна порівняно з контролем, $p < 0,05$.

Таблиця 2

**Вміст «сирої» клітковини в зерні сої сорту Аннушка за передпосівної обробки насіння
комбінаціями метаболічно активних речовин, %**

| Варіант досліджу | 2019 р. | 2020 р. | 2021 р. | середнє | |
|---|------------------|------------------|------------------|------------------|---------------|
| | | | | % | % до контролю |
| Контроль | 7,61 ± 0,12 | 7,47 ± 0,08 | 7,55 ± 0,11 | 7,54 ± 0,09 | 100 |
| Вимпел | 11,42 ± 0,33* | 11,12 ± 0,35* | 11,37 ± 0,49* | 11,30 ± 0,30* | 149,87 |
| Вітамін Е + убіхінон-10 | 11,46 ± 0,05* | 11,37 ± 0,09* | 11,47 ± 0,14* | 11,43 ± 0,08* | 151,59 |
| Вітамін Е + метіонін + ПОБК + MgSO ₄ | 11,16 ± 0,17* | 9,05 ± 0,19* | 11,05 ± 0,28* | 10,42 ± 0,15* | 138,19 |
| Вітамін Е + метіонін + ПОБК | 11,33 ± 0,30* | 11,46 ± 0,31* | 11,15 ± 0,43* | 11,31 ± 0,30* | 150,00 |

Примітка: * – різниця достовірна порівняно з контролем, $p < 0,05$.

комбінацій вітамін Е + убіхінон-10 та вітамін Е + метіонін + ПОБК. Вище зазначені комбінації не тільки перевищили показник контроль на 51,59 % і 50,00 %, а й показали вищий результат в порівнянні з дією синтетичного регулятора росту Вимпел.

Обговорення. У сучасних умовах, коли більшість виробників не мають можливості забезпечити достатній рівень використання добрив, особливо гостро стоїть питання впровадження у виробництво нових елементів, що підвищують врожайність та покращують якість продукції. У цьому відношенні надзвичайно актуальним для виробників є застосування нових засобів підвищення врожайності: регуляторів росту рослин, комплексних бактеріальних добрив та біопрепаратів. Це дає можливість спрямованої регуляції процесів росту та розвитку зернобобових культур, завдяки можливості використання (на відміну від традиційних добрив) як у період передпосівної підготовки матеріалу, так і для позакореневої обробки рослин у відповідні фази їхнього розвитку.

Метаболічно активні речовини часто використовують у галузі рослинництва. Вони входять до складу багатьох стимуляторів росту та інших препаратів для рослин. Щороку вивчають нові властивості цих речовин та їхні перспективи щодо подальшого застосування. На сьогодні

їх використовують для стимуляції росту рослин, захисту їх від шкідників, хвороб та стресів, що сприяє підвищенню показників урожайності культурних рослин.

Використання метаболічно активних речовин дає змогу краще розкрити потенціал рослини, підвищити стресостійкість проти факторів живої та неживої природи і в результаті збільшити продуктивність сільськогосподарських культур. Вчені всього світу проводять дослідження в цій галузі для виявлення нових корисних властивостей, які в подальшому можна було б використовувати в рослинництві для збільшення їхньої ефективності. Метаболічно активні речовини мають здатність прискорювати та уповільнювати ростові процеси в насінні рослин, захищати його від різних факторів, що безпосередньо впливають на подальший ріст рослини, перебіг її фізіологічних процесів та можуть підвищувати показники врожайності (Nardi et al., 2016).

У роботі ми досліджується вплив комбінацій метаболічно активних речовин на біохімічний склад зерна сої. З'ясовано, що такі досліджувані комбінації як вітамін Е + убіхінон-10 та вітамін Е + метіонін + ПОБК + MgSO₄ стимулюють накопичення в зерні сої сирого протеїну. Комбінація вітаміну Е та убіхінону-10 є найефективнішою в порівнянні з показниками контролю та дії синтетичного регулятора росту Вимпел.

За результатами трирічних досліджень передпосівна обробка метаболічно активними речовинами дала можливість збільшити показник "сирої" клітковини в насінні сої на 38,19 – 51,59 % порівняно з показниками контролю. Слід зазначити, що ефекти досліджуваних комбінацій метаболічно активних речовин є маловивченими, але вже показана їх ефективність щодо впливу на фізіологічні показники, асиміляційні процеси та структуру врожаю сої (Koziuchko *ta in.*, 2020; Koziuchko *ta in.*, 2020; Koziuchko *ta in.*, 2021). Продемонстровані ефекти зазначених речовин можна пояснити ефективністю компонентів досліджуваних комбінацій, їхнім дозуванням за передпосівної обробки насіння. Так, вітамін Е (токоферол) є сильним антиоксидантом, який рослини використовують як складову захисних систем проти окиснювального стресу. Високий вміст токоферолів зумовлює стійкість до засолень, посухи, дії важких металів, озону, УФ-променів тощо. Вітамін Е координує працює з іншими антиоксидантами та взаємодіє з фітогормонами (етиленом, абсцизовою кислотою, саліциловою кислотою та ін.) (Miret *et al.*, 2015). Найвищу концентрацію токоферолів серед усіх органів рослин має насіння. Оскільки в насінні міститься висока концентрація поліненасичених жирних кислот (ПНЖК), токоферолі також можуть виконувати роль їхніх протекторів. Завдяки високому вмісту токоферолів насіння може довгий час залишатися життєздатним і перебувати в стані спокою за несприятливих умов навколишнього середовища. Крім того, токоферолі захищають розсаду на ранніх етапах росту від згубної дії активних форм кисню, що утворюються під час активних біохімічних процесів у молодій рослині (Sattler *et al.*, 2004).

Убіхінон в організмі рослин бере участь в обмінних процесах, виявляє антиоксидантні властивості, бере участь у регуляції експресії генів, передачі сигналів у клітинах (Miret *et al.*, 2015; Liu *et al.*, 2016). Разом із пластохіно-

ном він бере участь у процесах фотофосфорилування та окислювального фосфорилування відповідно в тилакоїдах хлоропластів та на внутрішній мембрані мітохондрій. Також показано, що вітамін Е (α -токоферилацетат) та убіхінон можуть виявляти імуностимулювальну, антифітотвірну та антибактеріальну активність (Stahl *et al.*, 2019).

Параоксibenзойна кислота має виражену антимікробну активність і має властивості пригнічувати ріст бактерій, цвілевих та інших грибів. Вона поєднує у собі властивості сигнального посередника і стресового фітогормону. Метіонін є попередником синтезу гормонів росту, регулює відкриття прорихів.

Джерелом додаткового живлення сільськогосподарських культур є мінеральне добриво – сульфат магнію. Відомо, що магній відіграє важливу роль у фотосинтезі, оскільки входить до складу молекули хлорофілу, пектинових речовин, бере участь у синтезі білків, переміщенні фосфору, активізує ферменти, регулює поглинання води кореневою системою. Сульфур контролює ріст і розвиток рослини, також, як і магній, відіграє роль у синтезі білків, ферментів, метаболізм, в окисно-відновних процесах клітини, підвищує стійкість до стресових умов, активізує відновні процеси (Chorny, 2020).

Висновки. Передпосівна обробка насіння сої метаболічно активними речовинами сприяє більш активному порівняно із контрольним варіантом накопиченню білку та «сирої» клітковини у зерні сої. Поєднання вітаміну Е та убіхінону-10 в порівнянні з іншими варіантами досліджень виявилось найефективнішим при дослідженні біохімічного складу насіння сої, тому подальше вивчення впливу зазначених вище речовин на зернобобові культури є перспективним. Передпосівна обробка насіння сої метаболічно активними сполуками може бути використана як елементи технології при вирощуванні зернобобових культур.

Бібліографічні посилання:

1. Amoanima-Dede, H., Su, C., Yeboah, A., Zhou, H., Zheng, D., & Zhu, H. (2022). Growth regulators promote soybean productivity: a review. *PeerJ* 10:e12556. doi: 10.7717/peerj.12556
2. Babych, A.O. (1996). *Svitovi zemelni, prodovolchi i kormovi resursy* [World land, food and fodder resources]. *Ahrarna nauka*, Kiev, 570 (in Ukrainian)
3. Basuchaudhuri, P. (2016). Influences of plant growth regulators on yield of soybean. *Growth*, 8(3.30).
4. Behr, M., Sergeant, K., & Leclercq, C.C. (2018). Insights into the molecular regulation of monoglignol-derived product biosynthesis in the growing hemp hypocotyl. *BMC Plant Biol* 18, 1. doi: 10.1186/s12870-017-1213-1
5. Cal, Y.-P., Sun, Z.-W., Wang, X.-Y., Suo, Y.-R., & You J.-M. (2015) Determination of plant growth regulators in vegetable by high performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry coupled with isotop-coded derivatization. *Chinese journal of analytical chemistry*, 43, (3), 419-423. ISSN 1872-2040. doi: 10.1016/S1872-2040(15)60814-3
6. Chorny, S.H. (2020). *Osnovy ahronomichnoi khimii: navchalnyi posibnyk* [Fundamentals of agronomic chemistry: a textbook]. MNAU, Mykolaiv, 284 (in Ukrainian)
7. Devi, K. N., Vyas, A. K., Singh, M. S., & Singh, N. G. (2011). Effect of bioregulators on growth, yield and chemical constituents of soybean (*Glycine max*). *Journal of Agricultural Science*, 3(4), 151.
8. Dhakne, A. S., Mirza, I. A. B., Pawar, S. V., & Awasarmal, V. B. (2015). Yield and economics of soybean (*Glycine max* (L.) Merrill) as influenced by different levels of sulphur and plant growth regulator. *International Journal of Tropical Agriculture*, 33, 2645–2648.
9. George, E. F., Hall, M. A., & Klerk, G. J. D. (2008). Plant growth regulators I: introduction; auxins, their analogues and inhibitors. In *Plant propagation by tissue culture*, Springer, Dordrecht, 175–204.
10. Giri, M., Jaybhaye, C., Kanwade, D., & Tijare, B. (2018). Effect of foliar application of gibberellic acid on pigeonpea (*Cajanus cajan* (L.)) under rainfed conditions. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 7(2), 617–620.
11. Gutiérrez Martínez Mdel, M., Riquelme Raya, R., Campos Martínez, AM., Lorite Garzón, C., Strivens Vilchez, H., & Ruiz Rodríguez, C. (2006) Efectos de la soja en los síntomas vasomotores de la menopausia [Effect of soybeans and soy sauce on vasomotor symptoms during menopause]. *Rev Enferm. Spanish*, 29(6), 16–22. (Spanish).

12. Hamayun, M., Hussain, A., Khan, S. A., Irshad, M., Khan, A. L., Waqas, M., & Lee, I. J. (2015). Kinetin modulates physio-hormonal attributes and isoflavone contents of soybean grown under salinity stress. *Frontiers in plant science*, 6, 377.
13. Henneberg, W., & Stohmann, F. (1860). Beitrage zur Begrundung einer Rationellen Fütterung der Wiederkauer. Schwetschke u. Sohn, Brunswick, 1 (2).
14. Hodgson, E. W., McCormack, B. P., Tilmon, K., & Knodel, J. J. (2012). Management Recommendations for Soybean Aphid (Hemiptera: Aphididae) in the United States. *Journal of Integrated Pest Management*, 3(1), 1–10. doi: 10.1603/IPM11019
15. Khatun, S., Roy, T. S., Haque, M. N., & Alamgir, B. (2016). Effect of plant growth regulators and their time of application on yield attributes and quality of soybean. *International Journal of Plant & Soil Science*, 11(1), 1–9.
16. Kim, Y. H., Hwang, S. J., Waqas, M., Khan, A. L., Lee, J. H., Lee, J. D. & Lee, I. J. (2015). Comparative analysis of endogenous hormones level in two soybean (*Glycine max* L.) lines differing in waterlogging tolerance. *Frontiers in Plant Science*, 6, 714.
17. Korotych, P. (2006). Nadrannia soia y novyi pohliad na sivozminy [Early soybeans and a new look at crop rotation]. *Propozytsiia*, 1, 72–75 (in Ukrainian)
18. Koziuchko, A. H., Gavii, V. M. & Kuchmenko, O. B. (2020). Vplyv peredposivnoi obrobky nasinnia metabolichno aktyvnymy rehovynamy na okremi fiziologichni pokaznyky soi sortu Annushka ta yii produktyvnist [Influence of pre-sowing treatment of seeds with metabolically active substances on certain physiological parameters of Annushka soybean and its productivity]. *Naukovi zapysky Ternopilskoho natsionalnoho pedahohichnoho universytetu imeni Volodymyra Hnatiuka. Ser. Biolohiia*, 1-2 (79), 84–90. doi: 10.25128/2078-2357.20.1-2.12 (in Ukrainian)
19. Koziuchko, A. & Gavii, V. (2021). Biokhimichni sklad nasinnia soi za peredposivnoi obrobky nasinnia kombinatsiiami metabolichno aktyvnykh rehovyn ta rehulatorom rostu vympel [Biochemical composition of soybean seeds for pre sowing seed treatment with combinations of metabolically active substances and the Vympel growth regulator]. *Graal Nauky*, (4), 135-140. doi: 10.36074/grail-of-science.07.05.2021.025 (in Ukrainian)
20. Koziuchko, A., & Gavii, V. (2020). Efektyvnist vplyvu peredposivnoi obrobky nasinnia metabolichno aktyvnymy rehovynamy ta rehulatorom rostu roslyn «Vympel» na asimiliatsiini protsesy soi sortu annushka u fazi tsvitinnia roslyn [Effectiveness of pre-sowing seed treatment with metabolically active substances and plant growth regulator “vympel” on the assimilation processes of soy varieties annushka in the flowering phase of plants]. *Zbirnyk naukovykh prats ΛOHOΣ*, 82-85. doi: 10.36074/18.09.2020.v2.15 (in Ukrainian)
21. Liu, C., Feng, N., Zheng, D., Cui, H., Sun, F. & Gong, X. (2019). Uniconazole and diethyl aminoethyl hexanoate increase soybean pod setting and yield by regulating sucrose and starch content. *J. Sci. Food Agric.*, 99, 748–758. doi: 10.1002/jsfa.9243
22. Liu, M., & Lu, S. (2016). Plastquinone and Ubiquinone in Plants: Biosynthesis, Physiological Function and Metabolic Engineering. *Front Plant Sci.* 7, 1898. doi: 10.3389/fpls.2016.01898
23. M. M. Abd El-Aal, M., & S. M. Eid, R. (2017). Optimizing Growth, Seed Yield and Quality of Soybean (*Glycine max* L.) Plant Using Growth Substances. *Asian Research Journal of Agriculture*, 6(3), 1–19. doi: 10.9734/ARJA/2017/36034
24. Miret, J.A., Munné-Bosch, S. (2015). Redox signaling and stress tolerance in plants: a focus on vitamin E. *Ann N Y Acad Sci.* 1340, 29–38. doi: 10.1111/nyas.12639
25. Muhammad, H., Sumera, A. K., Abdul, L. K., Jae-Ho, S., Bashir, Dong-Hyun, S., & In-Jung, L. (2010). Exogenous Gibberellic Acid Reprograms Soybean to Higher Growth and Salt Stress Tolerance. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 58 (12), 7226-7232. doi: 10.1021/jf101221t
26. Nagel, L., Brewster, R., Riedell, W. E., & Reese, R. N. (2001). Cytokinin regulation of flower and pod set in soybeans (*Glycine max* (L.) Merr.). *Annals of Botany*, 88 (1), 27–31. doi: 10.1006/anbo.2001.1423
27. Nardi, S., Pizzeghello, D., Schiavon, M. & Ertani, A. (2016). Plant biostimulants: physiological responses induced by protein hydrolyzed-based products and humic substances in plant metabolism. *Sci. agric. (Piracicaba, Braz.)*, 73(1), 18–23. doi: 10.1590/0103-9016-2015-0006
28. Qi, R., Gu, W., Zhang, J., Hao, L., Zhang, M., Duan, L., & Li, Z. (2013). Exogenous diethyl aminoethyl hexanoate enhanced growth of corn and soybean seedlings through altered photosynthesis and phytohormone. *Australian Journal of Crop Science*, 7(13), 2021–2028.
29. Rizzo, G. & Baroni, L. (2018) Soy Foods and Their Role in Vegetarian Diets. *Nutrients*, 10(1), 43. doi: 10.3390/nu10010043
30. Roy Choudhury, S., Johns, S. M., & Pandey S. (2019). A convenient, soil-free method for the production of root nodules in soybean to study the effects of exogenous additives. *Plant Direct*, 3, 1–11. doi: 10.1002/pld3.135
31. Sattler, S.E., Gilliland, L.U., Magallanes-Lundback, M., Pollard, M. & Della Penna, D. (2004). Vitamin E. Is Essential for Seed Longevity and for Preventing Lipid Peroxidation during Germination. *The Plant Cell*, 16(14), 19–32. doi: 10.1105/tpc.021360
32. Sichkar, V.I. (1999). Soia u prodovolchomu balansi Ukrainy [Soy in the food balance of Ukraine]. *Visn. ahrar. nauky Ukrainy*, 4, 22–26 (in Ukrainian)
33. Stahl, E., Hartmann, M., Scholten, N. & Zeier, J. (2019). A role for tocopherol biosynthesis in arabidopsis basal immunity to bacterial infection. *Plant physiol.* 181(3), 1008–1028. doi: 10.1104/pp.19.00618
34. Steffens, B., Wang, J. & Sauter, M. (2006). Interactions between ethylene, gibberellin and abscisic acid regulate emergence and growth rate of adventitious roots in deepwater rice. *Planta* 223, 604–612. doi: 10.1007/s00425-005-0111-1
35. Sudadi, S. & Suryono, S. (2015). Exogenous application of tryptophan and indole acetic acid (IAA) to induce root nodule formation and increase soybean yield in acid, neutral and alkaline soil. *Agrivita, Journal of Agricultural Science*, 37(1), 37–44.
36. Sun, F., Feng, N., Zheng, D., Cui, H., Liu, C., He, T., & Zhao, J. (2016). Effects of plant growth regulators S3307 and DTA-6 on physiological metabolism and GmAc gene expression in soybean. *Scientia Agricultura Sinica*, 49, 1267–1276.
37. Sun, F., Feng, N., Zheng, D., Cui, H., Liu, C., He, T., & Zhao, J. (2016). Effects of plant growth regulators S3307 and DTA-6 on physiological metabolism and GmAc gene expression in soybean. *Scientia Agricultura Sinica*, 49, 1267–1276.

38. Travaglia, C., Reinoso, H., & Bottini, R. (2009). Application of abscisic acid promotes yield in field-cultured soybean by enhancing production of carbohydrates and their allocation in seed. *Crop and Pasture Science* 60, 1131-1136. doi: 10.1071/CP08396
39. Wu, C., Hua, Y., Chen, Y., Kong, X. & Zhang, C. (2017), Microstructure and model solute transport properties of transglutaminase-induced soya protein gels: effect of enzyme dosage, protein composition and solute size. *Int J Food Sci Technol*, 52, 1527–1533. doi: 10.1111/ijfs.13444
40. Yeshchenko, V.O., Kopytko, P.H., & Opryshko, V.P. (2005) *Osnovy naukovykh doslidzhen v ahronomii* [Fundamentals of scientific research in agronomy]. Diia, Kyiv, 288 (in Ukrainian).

Koziuchko A.G., PhD student, Nizhyn Gogol State University, Nizhyn, Ukraine

Gavii V.M., PhD (Biological Sciences), Associate Professor, Nizhyn Gogol State University, Nizhyn, Ukraine

Biochemical indicators of soy grain after pre-treatment of seed with combinations of metabolically active substances

Of all leguminous crops, soy is the most valuable crop. In terms of the content of vital substances in the grain, soy has no equal. It is characterized by a high content of protein, oil and high nutritional qualities.

Without the use of fertilizers, it is impossible to get a large crop of soybeans. Among the main factors determining the productivity of this crop, fertilizers make up 30%, varieties – 20%, weather conditions and plant protection – 15% each, effective fertility and tillage – 10% each. Therefore, we studied the effect of combinations of metabolically active substances (combinations of vitamin E and ubiquinone-10; vitamin E, paraoxybenzoic acid (PHBA) and methionine; vitamin E, paraoxybenzoic acid (PHBA), methionine, magnesium sulfate ($MgSO_4$)) and the regulator Vympel growth on the biochemical composition of soybean seeds of the Annushka variety. It was found that the combination of vitamin E + ubiquinone-10 most effectively stimulated an increase in the content of protein and «crude» fiber in soybean seeds.

Pre-sowing treatment of soybean seeds with metabolically active substances contributes to a more active accumulation of protein and «raw» fiber in the soybean grain compared to the control variant. Seed treatment with vitamin E in combination with ubiquinone – 10 before sowing increased the crude protein content of soy seeds by an average of 31.44 %. Combinations of metabolically active substances made it possible to increase the content of «raw» fiber by an average of 2.88-3.89 %. Maximum results were achieved when using combinations of vitamin E + ubiquinone-10 and vitamin E + methionine + PHBA. The above combinations exceeded the control indicator for the content of «raw» fiber by 51.59% and 50.00 %.

The combination of vitamin E and ubiquinone-10, compared to other study options, was the most effective in accumulating protein and «raw» fiber in soy seeds. Thus, the introduction of pre-sowing seed treatment with combinations of metabolically active compounds into the technology of growing soybeans will allow to increase the content of protein, «raw» fiber in soybean seeds, which is important from the point of view of its nutritional value.

Key words: soy, biochemical parameters, protein, “raw” fiber, carbohydrates, water-soluble sugars, vitamin E, ubiquinone-10, paraoxybenzoic acid (PHBA), magnesium sulfate ($MgSO_4$), Vympel.

АДАПТИВНІСТЬ СЕРЕДНЬОРАННІХ ГІБРИДІВ СОНЯШНИКУ В УМОВАХ ПІВНІЧНО-СХІДНОГО ЛІСОСТЕПУ УКРАЇНИ

Колосок Інна Олександрівна

аспірантка

Сумський національний аграрний університет,

м. Суми, Україна

ORCID: 0000-0001-5970-0720

ikolosok85@gmail.com

Фу Юаньчжи

аспірантка

Сумський національний аграрний університет,

м. Суми, Україна

ORCID: 0000-0002-3301-7410

lilac1210@126.com

В Україні зосереджена значна частка світових посівних площ та валового виробництва соняшнику. На фоні тенденції до збільшення контрасту між погодними умовами окремих років спостерігається зростання попиту на уніфіковані генотипи з підвищеним рівнем адаптованості до комплексу агроєкологічних умов середовища. Виникає необхідність удосконалення методів ідентифікації генотипів, обґрунтування підходів до вибору аналізуючого фону та показників оцінювання. Мета дослідження полягала у розробці підходів до ідентифікації гібридів соняшнику, оцінювання рівня їх адаптованості до агроєкологічних умов північно-східного Лісостепу України. Матеріалом досліджень були 9 гібридів соняшнику різних груп стиглості, відібраних за результатами екологічних випробувань на полігоні Інституту СГПС НААН. Експериментальні дослідження проводили за схемою 3-х факторного польового дослідження (сорт, густина посіву, норма добрив) на дослідному полі Сумського НАУ (2019–2021 рр.) Проаналізовано динаміку зміни показника урожайності залежно від норми мінеральних добрив. Розглянуті питання вибору оптимальних параметрів аналізуючого фону (Без добрив (фон); $N_{45}P_{45}K_{45}$, $N_{90}P_{90}K_{90}$) для оцінювання адаптивності в агроєкологічних умовах зони вирощування. Встановлено, що найвищий рівень інформативності, щодо диференціації середньоранніх генотипів соняшнику за показником урожайності в умовах північно-східного Лісостепу забезпечує фон із внесенням мінеральних добрив нормою $N_{45}P_{45}K_{45}$. При використанні такого аналізуючого фону створюються оптимальні умови для оцінювання гібридів соняшнику за показниками пластичності та стабільності. В умовах північно-східного Лісостепу саме використання такої норми мінеральних добрив дозволяє ефективно тестувати гібриди соняшнику за реакцією на густоту вегетації та погодні умови. Результати дисперсійного аналізу показали приблизно рівний вплив факторів генотипу (38,3%), густоти посіву (30,3%) та погодних умов (30,8 %) на зміну показників урожайності. Встановлено, що мінімальний рівень стресостійкості гібридів спостерігався при внесенні добрив в дозі $N_{45}P_{45}K_{45}$. Близькі значення були відмічені у варіанті без використання добрив. Вказана норма добрив забезпечує підвищення рівня урожайності, проте не впливає на зміну рівня внутрішньовидової конкуренції у посіві.

Ключові слова: соняшник, урожайність, адаптивність, аналізуючий фон, пластичність.

DOI <https://doi.org/10.32845/agro.2022.2.14>

Вступ. Розвиток сільськогосподарських культур є складним, динамічним процесом, що передбачає формування нових характеристик та показників, відсутніх у базовій культурі. Як правило, це відбувається на етапі розширення генетичної основи культури завдяки збільшенню загальної кількості сортів, формуванню спеціалізованих груп генотипів, орієнтованих на конкретні умови вирощування або напрями використання урожаю. В історичному аспекті передумовою цих процесів було усвідомлення неможливості створення високоврожайних уніфікованих генотипів з високими показниками стійкості до шкідливих організмів та якості урожаю (Handayati & Sihombing, 2019). На сучасному етапі сортова диференціація основних сільськогосподарських культур супроводжується змінами домінуючих морфотипів та параметрів базових технологічних процесів (Denisenko, 2013; Varenyk et al., 2016).

Соняшник є традиційною для України олійною культурою. Наразі, саме в Україні сконцентровано значну частку світових посівних площ та валового виробництва. Так, частка України в світовому виробництві соняшнику в 2021 р. склала 30,5%, тоді як в 2013 та 2018 роках цей показник становив лише 23,2 та 27,1% відповідно (Vyrobnystvo soniashnyku u 2021/2022 MR).

Важливою характеристикою цього процесу є позитивна динаміка зростання врожайності. Станом на кінець 2021 р. урожайність соняшнику в Україні склала 2,46 т/га, що є третім показником після Угорщини (2,81 т/га) та Франції (2,76 т/га).

Значний обсяг ринку насіння, сприятливі агрокліматичні умови та відповідне технологічне забезпечення зумовлюють орієнтацію вітчизняних та основних світових селекційних центрів на створення нових гібридів, орієнтованих на комплекс ґрунтово-кліматичних умов нашої держави.

Тенденція до впровадження у виробництво все більш спеціалізованих генотипів соняшнику проявляється у зростанні кількості гібридів, внесених до Державного Реєстру сортів України (Derzhavnyi Reiestr sortiv roslyn, 2019). Так, за період із 2010 до 2019 року кількість гібридів зростає із 267 до 765 або на 50%.

Широкий спектр оригінальних та доступність посівного матеріалу забезпечують можливість підбору оптимального переліку гібридів для різних умов та технологій вирощування. Поряд із цим, на фоні тенденції до збільшення контрасту між погодними умовами окремих років, спостерігається зростання попиту на уніфіковані генотипи з підвищеним рівнем адаптованості до комплексу агроecологічних умов середовища. Наявність кількох відмінних між собою векторів розвитку культури соняшнику зумовлюють необхідність удосконалення методів ідентифікації генотипів, підходів до вибору аналізуючого фону та показників оцінювання.

Мета досліджень полягала у розробці підходів до ідентифікації гібридів соняшнику, оцінювання рівня їх адаптованості до агроecологічних умов північно-східного Лісостепу України.

Матеріали і методи досліджень. Експериментальні дослідження проводили в межах наукових тематик Сумського НАУ «Удосконалення технології вирощування олійних культур в умовах північно-східного Лісостепу України» (номер державної реєстрації 0106U009419, 2016–2020 рр.) та Інституту сільського господарства Північного Сходу НААН «Розробити модель генотипу та удосконалити методику створення адаптованих до умов північно-східного Лісостепу та Полісся гібридів соняшнику» (номер державної реєстрації 0116U003756, 2016–2020 рр.)

Ґрунтові умови. Ґрунт дослідної ділянки є типовим для північно-східного Лісостепу України, класифікується як чорнозем потужний важко-суглинковий середньо-гумусний на лесовидному суглинку. За даними агрохімічного аналізу 2019 року ґрунт характеризувався такими показниками: вміст гумусу в орному шарі (за І. В. Тюриним) – 4,0 %, реакція ґрунтового розчину близька до нейтральної (рН 6,3), вміст легкогідралізованого азоту (за І. В. Тюриним) 8,3 мг, рухомого фосфору і обмінного калію (за Ф. Чиріковим) відповідно 12 мг і 7,2 мг на 100 ґрунту.

Попередником у усі роки досліджень був ячмінь ярий. Основний обробіток ґрунту – покращений зяб із оранкою у другій декаді жовтня на глибину 22–24 см. Мінеральні добрива вносились весною під передпосівну культивування у формі туків нітроамофосу ($N_{15}P_{15}K_{15}$) відповідно до схеми досліджу.

Погодні умови. Динаміка температур ґрунту та повітря в зоні північно-східного Лісостепу України забезпечують оптимальні умови вегетації соняшнику в період із травня до вересня. Вегетація в більш ранні терміни обмежується низькими весняними температурами ґрунту. Зміщення вегетації на осінні місяці блокується зниженням добових температур (менше +14°C), розпочинаючи з другої декади вересня.

За цих умов найбільш сприятливою датою для проведеного сівби є третя декада квітня, тоді як вересень розглядається виключно як період проходження фази

технологічного дозрівання. Таким чином, визначальний вплив на розвиток вегетативних органів рослин, проходження фази цвітіння, формування та наливу насіння мають погодні умови періоду «травень – серпень» (рис. 1).

Загалом погодні умови 2019 р. характеризувалися стійким перевищенням середньомісячних температур (на 4–30%) та зниженням показників кількості опадів протягом всього періоду вегетації. Це зумовило прискорення темпів проходження генеративних фаз розвитку в ультра ранніх та ранньостиглих генотипів соняшнику, коренева система яких не забезпечувала достатній рівень транспорту води (втрата тургору у другій половині дня, інтенсивне відмирання нижнього та середнього ярусів листків у фазі наливу насіння). Навпаки, генотипи з тривалістю вегетації більше 110 днів зберігали базові показники проходження фаз ембріонального та постембріонального періодів розвитку. Загалом за вегетаційний період випало 120 мм опадів, значення показника суми температур склало 2614 °C. Показник гідротермічного коефіцієнту був 0,46.

Таким чином, хід погодних умов протягом вегетаційного періоду 2019 р. відповідав вимогам аналізуючого фону для виявлення генотипів із інтенсивним розвитком кореневої системи та її здатністю до ефективного використання запасів ґрунтової вологи.

На противагу 2019 р. початок вегетації соняшнику у 2020 р. характеризувався зниженими показниками добових температур у квітні – 87 % від середньо багаторічних та суттєвим перевищенням кількості опадів – 172 %.

За цих умов оптимальна температура (> +14 °C) для весняного розвитку кореневої системи соняшнику була відмічена лише у першій декаді червня, або на 20 днів пізніше за середньо багаторічні показники. Такі погодні умови зумовили зміщення фази цвітіння ранньостиглих генотипів соняшнику на другу та третю декади липня. У середньостиглих зразків спостерігалось формування надлишкової листової поверхні рослин та проявлення ефекту «втягування за світлом».

Загальна кількість опадів вегетаційного періоду соняшнику у 2020 р. склала 219 мм, сума температур 2447 °C. Значення показника гідротермічного коефіцієнту за травень та літні місяці становило 0,89. Такі погодні-кліматичні умови були сприятливими для реалізації потенціалу генотипів, здатних до інтенсивного росту при знижених температурах у ювенільних фазах розвитку та високій атрагуючій здатності суцвіття в другій половині вегетації.

Динаміка погодних умов ранньовесняного періоду 2021 р. була подібною до попереднього 2020 року. Нижчі за середньо багаторічні температури повітря квітня й травня обумовили переважно пізні строки сівби соняшника, затримку у появі сходів та низьку інтенсивність ростових процесів у ювенільних фазах розвитку рослин. Розвиток ростових процесів обмежувався низькими нічними температурами. Навпаки – друга половина вегетації, а особливо період формування насіння проходили в умовах дефіциту вологи та суттєвого перевищення (124 та 116%) показників добових температур. Результатом цього було збільшення частки невиповненого

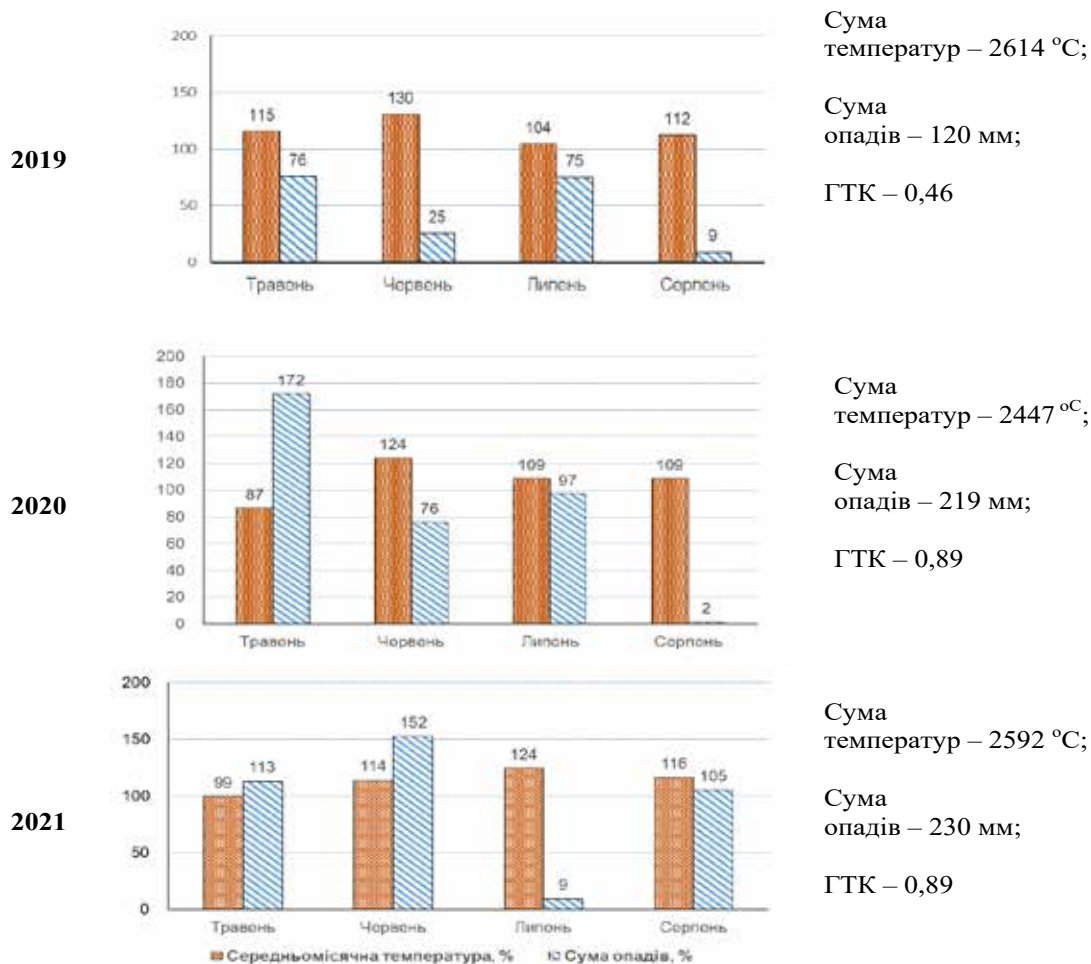


Рис. 1 Динаміка погодних умов вегетації соняшнику у 2019–2021 рр. У процентах до середньо-багаторічних значень (Метеостанція Інституту СГПС НААН)

насіння в кошиках та зростання показника лушпинності насіння. Загальна кількість опадів вегетаційного періоду соняшнику у 2021 р. була найвищою за період досліджень і склала 219 мм, сума температур 2592 °C. Значення показника гідротермічного коефіцієнту за чотири місяці вегетації склало 0,9.

Загалом погодні умови вегетаційного періоду сприяли виявленню генотипів, адаптованих до інтенсивного росту в умовах знижених температур і достатнього рівня водозабезпечення в ювенільній фазі розвитку та здатністю до економних витрат вологи в другій половині вегетації.

Методика досліджень. Матеріалом досліджень були 9 гібридів соняшнику відібраних за результатами екологічних випробувань на полігоні Інституту сільського господарства Північного Сходу України НААН (табл. 1).

Експериментальні дослідження проводили за схемою 3-х факторного польового дослідження на дослідному полі Сумського НАУ (табл. 2).

Ділянки 2-х рядкові, довжиною 9 м, площею 12,6 м². Повторність – 3-х разова. Розміщення ділянок за фактором А – рандомізоване за факторами В і С – систематичне. Було визначено: середні, мінімальні й максимальні значення та коефіцієнти варіації для основних показників вегетативного і генеративного розвитку рослин. Урожай-

ність – визначали за результатами обмолоту кошиків із ділянки (крайні в рядках рослини – не обмолочували).

Залежно від завдань, розрахунки проводили за схемою одно-, дво- або три факторного дослідження. У окремих випадках, погодні умови розглядалися як окремий фактор.

Параметри екологічної пластичності та стабільності оцінювали за методикою С. А. Еберхарта та В. А. Рассела (Eberhart & Russel, 1966). Рівень стресостійкості визначали за формулою $K = Y_{\min} - Y_{\max}$. Рівень генетичної гнучкості генотипу оцінювали за формулою $(Y_{\min} + Y_{\max}) / 2$. Методика та інформативність використання таких показників наведені в роботі В.А. Зикіна (Zykin et al., 2005).

Статистичний аналіз результатів польових спостережень виконували з використанням пакету програм «Statistica» з урахуванням специфіки біологічних досліджень (Sarenko et al., 2000).

Результати. Середня за період досліджень урожайність у досліді склала 2,91 т/га. Мінімальні значення 2,56 т/га були на ділянках без внесення добрив. На ділянках із нормою N45P45K45 та N90P90K90 показник середньої урожайності склав 2,95 та 3,22 т/га, відповідно (табл. 3).

Аналіз значень показника коефіцієнта варіації та лімітів варіювання середнього вказує на збільшення рівня мінливості показника урожайності гібридів під впливом факторів структури посіву (В) та погодних умов. Збільшення норми

Загальна характеристика гібридів соняшнику (відкриті дані установ оригінаторів)

| Гібрид | Група стиглості, тривалість вегетації, дів | Висота стебла, см | Діаметр суцвіття, см | Маса 1000 штук насіння, г | Потенціал урожайності, т/га | Олійність насіння, % | |
|--------|--|-------------------|----------------------|---------------------------|-----------------------------|----------------------|----------|
| 1 | Феномен | CP, 110 | 170–180 | 19–20 | 55–56 | 4,3 | 50–51 |
| 2 | Набір | CP, 106 | 150–160 | 18–20 | 50 | 4,0 | 50–55 |
| 3 | Ясон | CP, 108 | 175–185 | 24 | 62 | 4,3 | 49–50 |
| 4 | Тео | CP, 110 | 185–195 | 17,2 | 58 | 4,2 | 48,0 |
| 5 | Оскар | CP, 110 | 160–170 | 18,5 | 60–62 | 4,0 | 49–51 BO |
| 6 | Агент | CP, 115 | 170–180 | 19–22 | 62 | 4,8 | 50 |
| 7 | Златсон | CP, 113 | 160–165 | 21–23 | до 60 | 4,7 | 48,4 |
| 8 | LG 53.77 | CP, 105 | 155–165 | 16,5 | 70 | 5,0 | 49–50 |
| 9 | Добродій | CP 108 | 175–185 | 20–22 | 52 | 5,0 | 48,3 |

Таблиця 2

Схема польового дослідження з вивчення адаптивності та особливостей формування урожайності гібридами соняшнику (2019–2021 рр.)

| Фактор А – гібрид | Фактор В – кінцева густина посіву | Фактор С – норма добрив |
|--|---|--|
| Феномен Набір Ясон Тео Оскар Агент Златсон LG 53.77 Добродій | 45 тис. рослин/га 55 тис. рослин/га 65 тис. рослин/га | Без добрив (фон) N ₄₅ P ₄₅ K ₄₅ N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀ |

добрив до 90 кг/га забезпечувало протилежний, тобто нівелюючий ефект для технологічних та погодних факторів. Так, частка впливу фактора генотипу на мінливість показника урожайності складала 38,8% на ділянках фону та 69,3% на ділянках із максимальною нормою добрив. Середні значення показника коефіцієнта варіації збільшилися із 14,23% до 15,93%.

Отримані дані вказують, що середня доза добрив, а саме – N₄₅P₄₅K₄₅ здатна забезпечувати аналізуючий фон для визначення реакції генотипів на умови вирощування та оцінювання рівня їх адаптованості до цих умов. Разом із тим висока доза добрив N₉₀P₉₀K₉₀ (яка забезпечує достатній рівень мінерального живлення, незалежно від природи гібриду) може розглядатися як аналізуючий фон для генотипів із високим біологічним потенціалом.

У розрізі фактора А мінімальну урожайність із низьким рівнем мінливості показника (незалежно від дози мінеральних добрив) було відмічено для гібридів Феномен, Набір та Ясон. Аналіз показує, що збільшення норми добрив для цієї групи супроводжувалося, передусім, правостороннім зміщенням та звуженням діапазону показників урожайності. Пропорційне (зростанню норми внесення мінеральних добрив) збільшення середньої урожайності було відмічено у гібридів Агент та Добродій. Зростання урожайності цих гібридів супроводжувалося підвищенням значення коефіцієнта варіації.

Більш детально рівень адаптованості гібридів за різних технологічних параметрів було проаналізовано на основі показників стресостійкості, стабільності та пластичності (табл. 3).

Показник рівня стресостійкості є довільною від'ємною величиною. Він характеризує діапазон мінливості ознаки та рівень нижнього порогу значень. Наближене до нуля значення вказує на підвищений рівень стресостійкості і навпаки. Як і очікувалося, найвищий рівень або найбільш наближені до нуля значення коефіцієнта мали гібриди Феномен, Набір та Ясон на ділянках із мінімальним і максимальними рівнями внесення добрив -0,71–0,78 та -0,55–0,57 відповідно. За цих же умов найменшу стресостійкість мали гібриди Агент і Добродій. Гібриди Тео, Оскар, Златсон та LG 53.77 мали середні значення показника.

На варіанті із внесенням N₄₅P₄₅K₄₅ значення показника стресостійкості у всіх гібридів були значно меншими. Мінімумом, також, була різниця між рівнями стресостійкості згаданих вище груп. Це вказує на те, що внесення середньої дози добрив хоча і сприяло зростанню показників максимальної урожайності, однак не супроводжувалося суттєвим збільшенням нижнього порогу значень показника.

Параметром, що опосередковано вказує на відповідність умов вегетації вимогам генотипу є коефіцієнт генетичної гнучкості. Високі відносні значення коефіцієнта

Урожайність гібридів соняшнику залежно від норми мінеральних добрив, т/га (2019–2021 рр)

| Фактор/гібрид | Частка впливу фактора, % | Характеристика показника | | |
|---|--------------------------|--------------------------|------|-------|
| | | lim | X | V, % |
| Без добрив (фон) | | | | |
| Фактор А (гібрид) | 38,8 | | | |
| Фактор В (густота) | 26,4 | | | |
| Інші фактори (погодні умови) | 34,8 | | | |
| Феномен | | 1,8-2,56 | 2,07 | 12,08 |
| Набір | | 1,92-2,63 | 2,29 | 9,29 |
| Ясон | | 1,73-2,51 | 2,1 | 10,03 |
| Тео | | 2,02-3,12 | 2,54 | 11,17 |
| Оскар | | 2,22-3,02 | 2,64 | 11,89 |
| Агент | | 2,23-5,16 | 2,98 | 25,18 |
| Златсон | | 2,19-3,17 | 2,75 | 13,17 |
| LG 53.77 | | 2,31-3,51 | 2,96 | 13,47 |
| Добродій | | 1,82-3,59 | 2,61 | 21,79 |
| Середнє для варіанту | | | 2,55 | |
| N₄₅ P₄₅ K₄₅ | | | | |
| Фактор А (гібрид) | 38,3 | | | |
| Фактор В (густота) | 30,3 | | | |
| Інші фактори (погодні умови) | 30,8 | | | |
| Феномен | | 1,94-3,1 | 2,49 | 13,59 |
| Набір | | 2,07-3,18 | 2,61 | 12,01 |
| Ясон | | 1,89-3,04 | 2,39 | 12,59 |
| Тео | | 2,2-3,68 | 2,91 | 13,63 |
| Оскар | | 2,5-3,56 | 3,03 | 13,88 |
| Агент | | 2,54-5,14 | 3,57 | 27,04 |
| Златсон | | 2,51-3,72 | 3,14 | 13,5 |
| LG 53.77 | | 2,63-4,05 | 3,39 | 14,6 |
| Добродій | | 2,07-4,06 | 2,98 | 22,51 |
| Середнє для варіанту | | | 2,95 | |
| N₉₀ P₉₀ K₉₀ | | | | |
| Фактор А (гібрид) | 69,3 | | | |
| Фактор В (густота) | 6,8 | | | |
| Інші фактори (погодні умови) | 23,7 | | | |
| Феномен | | 2,15-2,70 | 2,47 | 5,65 |
| Набір | | 2,59-3,06 | 2,75 | 5,1 |
| Ясон | | 2,35-2,81 | 2,49 | 4,86 |
| Тео | | 2,74-3,82 | 3,26 | 8,36 |
| Оскар | | 3,11-3,71 | 3,39 | 5,71 |
| Агент | | 3,06-4,44 | 3,78 | 9,76 |
| Златсон | | 2,68-3,86 | 3,45 | 8,73 |
| LG 53.77 | | 3,48-4,21 | 3,86 | 7,55 |
| Добродій | | 2,67-4,31 | 3,35 | 16,43 |
| Середнє для варіанту | | | 3,20 | |

вказують на відповідність умов вегетації вимогам генотипу. Зростання показника генетичної гнучкості відбувається в умовах зменшення діапазону мінливості показника та його правостороннього (у бік максимальних значень) зміщення.

Загалом, збільшення норми добрив зумовлювало загальний тренд до зростання значень показника. Найвищий рівень відповідності умовам вегетації було відмічено для гібридів: Агент, LG 53.77 та Добродій. Гібриди

Феномен, Набір та Ясон характеризувались мінімальними показниками.

Наразі найбільш розповсюдженими параметрами, що характеризують рівень адаптивності генотипів є показники пластичності (bi) стабільності (Si). Відповідно до алгоритму розрахунків пластичність визначається через коефіцієнт лінійної регресії та характеризує рівень мінливості ознаки при зміні умов середовища. У нашому випадку низько пластичними (bi=0,82-0,96)

Параметри середньоранніх гібридів соняшнику залежно від норми мінеральних добрив (2019–2021 рр.)

| Гібрид | Рейтинг урожайності | Стресостійкість | Генетична гнучкість | Bi | Si |
|------------------------|---------------------|-----------------|---------------------|------|-------|
| Без добрив (фон) | | | | | |
| Феномен | 9 | -0,76 | 2,18 | 0,87 | 12,84 |
| Набір | 7 | -0,71 | 2,28 | 0,96 | 15,75 |
| Ясон | 8 | -0,78 | 2,12 | 0,88 | 13,32 |
| Тео | 6 | -1,1 | 2,57 | 1,06 | 19,36 |
| Оскар | 4 | -0,8 | 2,62 | 1,11 | 21 |
| Агент | 1 | -2,93 | 3,7 | 1,27 | 27,64 |
| Златсон | 3 | -0,98 | 2,68 | 1,15 | 22,77 |
| LG 53.77 | 2 | -1,2 | 2,91 | 1,24 | 26,54 |
| Добродій | 5 | -1,77 | 2,71 | 1,09 | 20,93 |
| Середнє для варіанту | | -1,23 | 2,64 | 1,07 | 20,02 |
| $N_{45} P_{45} K_{45}$ | | | | | |
| Феномен | 8 | -1,16 | 2,52 | 0,86 | 16,6 |
| Набір | 7 | -1,11 | 2,63 | 0,95 | 20,42 |
| Ясон | 9 | -1,15 | 2,47 | 0,88 | 17,3 |
| Тео | 6 | -1,48 | 2,94 | 1,06 | 25,48 |
| Оскар | 4 | -1,06 | 3,03 | 1,11 | 27,8 |
| Агент | 1 | -2,6 | 3,84 | 1,31 | 39,14 |
| Златсон | 3 | -1,21 | 3,12 | 1,15 | 29,87 |
| LG 53.77 | 2 | -1,42 | 3,34 | 1,24 | 34,96 |
| Добродій | 5 | -1,99 | 3,07 | 1,09 | 27,6 |
| Середнє для варіанту | | -1,46 | 2,99 | 1,07 | 26,57 |
| $N_{90} P_{90} K_{90}$ | | | | | |
| Феномен | 9 | -0,55 | 2,43 | 0,82 | 18,37 |
| Набір | 7 | -0,47 | 2,83 | 0,94 | 24,3 |
| Ясон | 8 | -0,46 | 2,58 | 0,87 | 20,43 |
| Тео | 6 | -1,08 | 3,28 | 1,08 | 31,88 |
| Оскар | 4 | -0,6 | 3,41 | 1,12 | 34,48 |
| Агент | 2 | -1,38 | 3,75 | 1,25 | 42,72 |
| Златсон | 3 | -1,18 | 3,27 | 1,14 | 35,69 |
| LG 53.77 | 1 | -0,73 | 3,85 | 1,27 | 44,11 |
| Добродій | 5 | -1,64 | 3,49 | 1,1 | 34,38 |
| Середнє для варіанту | | -0,9 | 3,21 | 1,06 | 31,82 |

були гібриди: Феномен, Набір, Ясон. Високо пластичними ($bi=1,27-1,31$) – гібриди Агент та LG 53.77. Зі збільшенням норми добрив рейтинг генотипу за значеннями показників стабільності зберігався.

Щодо показника стабільності, то поетапне збільшення дози мінеральних добрив супроводжувалося пропорційним збільшенням значень дисперсії тобто зменшенням стабільності показника врожайності. Найменш стабільними були показники урожайності гібридів: Агент, Златсон та LG 53.77. Найбільш стабільними були значення показників урожайності в групі: Набір, Феномен, Ясон.

Обговорення. Відповідно до завдань нашої статті термін адаптованість гібриду розглядається як комплекс відмінностей його морфологічних параметрів або співвідношень між окремими частинами рослин що забезпечує перевагу над середніми (уніфікованими) параметрами

культури. Адаптивність розглядається як здатність до змін у алгоритмах підтримки гомеостазу гібридів відповідно до рівнів визначених установами оригінаторами.

Ефективність вирощування соняшнику значною мірою визначається нормою мінеральних добрив, що є фактором прямої дії на зміну морфопараметрів рослин. Численні дослідження проведені в країнах Азії та Європи (Marchuk et al, 2002; Wahyu Handayati, 2019) вказують, що оптимальна норма мінеральних добрив є сортовою ознакою. При цьому рівень засвоєння окремих компонентів, значною мірою, визначається умовами року та структурою посіву (Süzer, 2010; Shevchenko, 2012; Schoeman, 2003; Melnyk et al., 2004; Melnyk et al., 2013).

Оптимальні дані щодо посилення рівня сортової диференціації та зменшення впливу факторів середовища (у тому числі густоти посіву) при використанні

високих доз мінеральних добрив погоджуються із результатами досліджень багатьох авторів (Mojiri A. et al, 2003; Li Shutian et al, 2018; Kandil et al, 2017; Nasim et al., 2017; Osman et al., 2010). Автори відмічають, що середні та високі норми мінеральних добрив забезпечують отримання максимального рівня урожайності (без суттєвого звуження діапазону мінливості ознаки) передусім у генотипів інтенсивного типу. У наших дослідженнях такі характеристики були відмічені у варіанті з нормою добрив $N_{45}P_{45}K_{45}$. Отримані нами дані вказують, що в умовах північно-східного Лісостепу саме використання такої норми мінеральних добрив дозволяє ефективно тестувати гібриди соняшнику за реакцією на густоту вегетації та погодні умови. Підтвердженням цього твердження є результати дисперсійного аналізу, які показали приблизно рівний вплив факторів генотипу (38,3%), густоти посіву (30,3%) та погодних умов (30,8 %) на зміну показників урожайності.

Інформативними в селекційному та технологічному аспектах є використання показників рівня стресостійкості та генетичної гнучкості гібридів. Встановлено, що мінімальний рівень стресостійкості гібридів спостерігався на ділянках із внесенням $N_{45}P_{45}K_{45}$. Близькі значення було відмічено в варіанті без використання добрив. Таким чином, вказана норма добрив, також, забезпечує зростання показника урожайності однак не впливає на зміну рівня конкуренції у посіві.

Наразі домінуючою є точка зору щодо обмеженого використання культурою соняшника мінеральних добрив, які знаходяться у верхньому шарі ґрунту. Положення базуються на видових особливостях будови кореневої системи рослин, а саме галузження її активної частини на глибині понад один метр. Це твердження ускладнює коментування даних щодо пропорційного зростання значень показника генетичної гнучкості збільшенню норми мінеральних добрив. Однак, враховуючи результати досліджень А.Ю. Полякова (Poliakov, 2005) та В.І. Троценко (Троценко, 2015, 2018) щодо особливостей сортової ідентифікації генотипів соняшнику в різних ґрунтово-кліматичних зонах України, можливим є припущення, що згадана точка зору була сформульована для культури соняшнику

в традиційній зоні його вирощування (Степ) в період домінування генотипів напів-інтенсивного типу.

Інформативними в аспекті прогнозу урожайності гібридів в різних умовах вирощування були дані щодо показників пластичності та стабільності. Варто зазначити, що розроблена в другій половині минулого століття методика розрахунку цих величин первинно була орієнтована на оцінювання екологічних умов середовища за рівнем мінливості морфопараметрів рослин у природних угрупованнях. Пізніше методика була адаптована та здобула поширення саме в програмах оцінювання фактичної та потенційної врожайності сортів сільськогосподарських культур в різних агрокліматичних умовах або в умовах попередньо сформованого екологічного градієнту. У нашому випадку градієнт мінливості екологічних умов формували варіанти фактору С.

Оптимізація умов мінерального живлення за рахунок збільшення норми мінеральних добрив супроводжувалася незначними змінами, а саме: зниженням показників пластичності гібридів Феномен, Набір, Ясон, та деяким зростанням цього ж показника у більш пізньостиглих генотипів. Однак, більш чітко ця залежність проявлялася між крайніми ділянками градієнту, тобто ділянками без внесення добрив та ділянками з дозою добрив $N_{90}P_{90}K_{90}$.

Таким чином, використання норми добрив $N_{45}P_{45}K_{45}$ як аналізуючого фону також може забезпечувати достовірний рівень оцінювання гібридів соняшнику за показниками стабільності та пластичності у діапазоні агроекологічних умов північно-східного Лісостепу України

Висновки. За результатами аналізу матеріалів досліджень встановлено, що найвищий рівень інформативності, щодо диференціації середньоранніх генотипів соняшнику за показником урожайності в умовах північно-східного Лісостепу забезпечує фон із внесенням мінеральних добрив нормою $N_{45}P_{45}K_{45}$. Використання норми добрив $N_{45}P_{45}K_{45}$ забезпечує зростання рівня урожайності, однак не має суттєвого впливу на зміну рівня внутрішньовидової конкуренції у посіві. Оптимальні умови для оцінювання гібридів соняшнику за показниками пластичності та стабільності створюються при використанні аналізуючого фону з нормою внесення мінеральних добрив $N_{45}P_{45}K_{45}$.

Бібліографічні посилання:

1. Ahmad, R, Saeed, M, Mahmood, T. & Ehsanullah, M. (2001). Yield potential and oil quality of two sunflower hybrids as affected by K application and growing seasons. *International Journal of Agriculture and Biology*, 3, 51–53.
2. Amanullah, & Khan, M.W. (2010). Interactive effects of potassium and phosphorus on phenology and grain yield of sunflower in northwest Pakistan. *Pedosphere*, 20, 674–680. doi: 10.1016/S1002-0160(10)60057-4
3. Carenko, O. M., Zlobin, Ju.A., Skljär, V. G. & Panchenko, S. M. (2000). *Kompjuterni metodi v silskom gospodarstvi ta biologii [Computer Methods in Agriculture and Biology]*. Universytetska knyga, Sumy (in Ukrainian).
4. Denisenko, L. (2013). The Analysis of World Dynamics of Sunflower Market. *The Journal of National Scientific Center "Kharkov Institute of Physics and Technology"*, 137, Kharkov, 308 (in Ukrainian).
5. Derzhavnyi Reiestr sortiv roslyn prydatnykh dlia poshyrennia v Ukraini (2018). *Ministerstvo aharnoї polityky Ukrainy, Derzhavna sluzhba z okhorony prav na sorty roslyn (Vytiah stanom na 07.09.2018 roku), Vydannia ofitsiine, Kyiv, 468 (in Ukrainian).*
6. Gonzalez-Barrios, P., Castro, M., Pérez, O., Vilaró, D., & Gutiérrez, L. (2018). Genotype by environment interaction in sunflower (*Helianthus annuus* L.) to optimize trial network efficiency. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 15(4), e0705. doi: 10.5424/sjar/2017154-11016
7. Eberhart, S. A. & Russel W. A. (1966). Stability parameters for comparing varieties. *Crop Sci.*, (6)1, 34–40. doi: 10.2135/cropsci1966.0011183X000600010011x
8. Fasahat, P., Rajabi, A., Mahmoudi, S. B., Noghabi, M. A. & Rad, J. M. (2015) An Overview on the Use of Stability Parameters in Plant Breeding. *Biometrics & Biostatistics International Journal*, 2(5), 11. doi: 10.15406/bbij.2015.02.0004

9. Handayati, W. & Sihombing, D. (2019) Study of NPK Fertilizer Effect on Sunflower Growth and Yield, AIP Conference Proceedings 2120, 030031, doi: 10.1063/1.5115635
10. Kandil A. A., A.E. Sharief, & Odam, A.M.A. (2017) Response of Some Sunflower Hybrids (*Helianthus annuus* L.) to Different Nitrogen Fertilizer Rates and Plant Densities". International Journal of Environment Agriculture and Biotechnology, 2(6), 2978–2994. doi: 10.22161/ijeab/2.6.26
11. Kyrychenko, V. V. (2002) Metodologicheskie problemy adaptivnoy selektsii rasteniy. Adaptivnaya selektsiya rasteniy. Teoriya i praktika, [Methodological problems of adaptive plant breeding. Adaptive plant breeding. Theory and practice] 3–5 (in Russian).
12. Kylchevskiy, A. V. & Khotyleva, L. V. (1985). Metod otsenki adaptivnoy sposobnosti i stabilnost genotipov, differentsiiruyushey sposobnosti sredy. [Method for assessing the adaptive ability and stability of genotypes, differentiating ability of the environment.] Soobschenie 1. Obosnovanie metoda. Genetika, 21(9), 1481–490 (in Russian).
13. Kokhan, A., Tkalych, Yu. & Hyrka, A.C (2013). Adaptatsiia roslyn soniashnyku ta kukurudzy v umovakh zminy klimatu. [Adaptation of sunflower and corn plants in conditions of climate change] Ahrarnyk, 8, 20–27 (in Ukrainian).
14. Marchuk, I., Makarenko, V., Rozstalnyi, V. & Savchuk, A. (2002). Dobryva ta yikh zastosuvannia. [Fertilizers and their Usage] Handbook, Kiev, 245 (in Ukrainian).
15. Melnyk, A. V., Trotsenko V. I. & Hovorun, S.O. (2013). Vplyv poperednykiv ta mineralnykh dobryv na yakist nasinnia soniashnyku v umovakh pivnichno-skhidnoho lisostepu Ukrainy [The influence of precursors and mineral fertilizers and the quality of sunflower seeds in the conditions of the northeastern forest-steppe of Ukraine] Visnyk Sumskoho natsionalnogo ahrarnoho universytetu, 11(26), 124–127 (in Ukrainian).
16. Melnik, A. V. (2004). Porivnjalnij analiz koreljacij morfologichnih oznak ta produktivnosti sonjashniku [Comparative analysis of correlations of morphological features and sunflower productivity]. Visnik Sumskogo NAU, 1 (8), 82–84 (in Ukrainian).
17. Mojiri, A. & Arzani, A. (2003). Effects of nitrogen rate and plant density on yield and yield components of sunflower. J. Sci. Tech. Agric. Nat. Res., 7, 115–125 Access mode: <http://jcpp.iut.ac.ir/article-1-468-en.html>
18. Nasim, W., A. Ahmad, S. Ahmad, M. Nadeem, N. Masood, M. Shahid, M. Mubeen, Hoogenboom, G. & S. Fahad (2017). Response of sunflower hybrids to nitrogen application grown under different agroenvironments. Journal of Plant Nutrition, 40(1), 82–92. doi: 10.1080/01904167.2016.1201492
19. Osman, E.B.A & Awed, M. M. M. (2010). Response of Sunflower (*Helianthus annuus* L.) to Phosphorus and Nitrogen Fertilization under Different Plant Spacing at New Valley. Ass. Univ. Bull. Environ. Res. 13 (1), 11–19. Access mode: http://www.aun.edu.eg/arabic/society/aubfer/res2_m_ar_2010.pdf
20. Schoeman, L. J. (2003.) Genotype × environment interaction in sunflower (*Helianthus annuus*) in South Africa. PhD Thesis. University of the Free State, Bloemfontein, South Africa.
21. Shu-tian, L. I., Duan, Yu, Guo, Tian-wen, Zhang Ping-liang, H.E. Pin & Kaushik, M. (2018) Sunflower response to potassium fertilization and nutrient requirement. Journal of Integrative Agriculture, 17(12), 2802–2812 doi: 10.1016/S2095-3119(18)62074-X
22. Süzer, S. (2010) Effects of nitrogen and plant density on dwarf sunflower hybrids. Helia, 33(53), 207–214. Access mode: <http://www.doiserbia.nb.rs/img/doi/1018-1806/2010/1018-18061053207S.pdf>
23. Poliakov, A. Y. Chekhov, A. V., & Nykytchyn, D. Y. (2005) Metodika polevyih opytov po izucheniyu arhotekhnicheskikh priemov vzdelyvaniya podsolnechnika [Methodology of field experiments on the study of arhotekhnicheskikh methods of sunflower cultivation] – Institut maslichnyih kultur Ukrainskoy akademii agrarnyih nauk, 22 (in Russian).
24. Trocenko, V. I. & Zhatova, G. O. (2015). Etapi formuvannja produktivnosti roslyn ta urozhajnist posviv sonjashniku [Stages of formation of plant productivity and yield of sunflower crops]. Visnik centru naukovogo zabezpechennja APV Harkivskoï oblasti, 18, 165–173 (in Ukrainian).
25. Trocenko, V. I. & Zhatova, G. O. (2018). Parametri fotosintetichnogo aparatu sonjashniku v modeljah sortiv dlja zoni pivnichno-shidnogo Lisostepu ta Polissja [Parameters of photosynthetic sunflower apparatus in varieties models for the area of the northeast Forest-Steppe and Polissja]. Visnik Sumskogo NAU, 8(35), 53–58 (in Ukrainian).
26. Shevchenko, S. M. (2012) Vplyv hustoty stoiannia roslyn soniashnyku na produktyvnist [The influence of the density of sunflower plants on productivity] Ahronom, 1(35), 72–73 (in Ukrainian).
27. Varenyk, B. F., Krutko, V. I., Karapira, S. I. & Hanzhelo, M. H. (2016) Osnovni napriamy ta rezultaty selektsii y nasinnytstva soniashnyku v SHI. [The main directions and results of breeding in sunflower seed production in the CIS] – NTsNS Nasinnytstvo, 1(3), 1–4.
28. Vyrobnnytstvo soniashnyku u 2021/2022 [Sunflower seed production in 2021/2022] MR. Access mode: <https://latifundist.com/rating/top-10-krayin-virobnnykiv-sonyashnyku-2021-22-m>
29. Volkodav V. V., Andrushchenko A.V. & Pilkevych A. V. (2000). Metodyka sortovyprobuvannia s.-h. kultur [Methodology of variety testing of agricultural crops], 100. (In Ukrainian).
30. Yun W. L.; Li, J. J. & Hou Q. (2014) Effect of soil moisture on the growth of sunflower. Agric. Res. Arid Areas, 32, 186–190. doi: 10.3390/w11040752
31. Zykin V. A., Belan I. A., & Usov V. S. (2005) Methodology for calculating and estimation of the parameters of the environmental adaptability of agricultural plants. Ufa: BashGAU, 2005, 100.

Kolosok I.O., Phd Student, Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine

Fu Yuanzhi, PhD student, Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine

Adaptability of early-middle ripening hybrids of sunflower in the conditions of the north-eastern forest steppe of Ukraine

A significant share of the world's cultivated area and gross sunflower production is concentrated in Ukraine. Against the background of the trend towards an increase the contrast between the weather conditions of individual years, there is a growing demand for unified genotypes with a higher level of adaptability to the complex of agro-ecological environmental

conditions. There is a need to improve the methods of identifying genotypes and justify the approaches to the selection of the analyzing background and trait evaluation. The purpose of the study was to develop approaches to the identification of sunflower hybrids, to assess the level of their adaptability to the agro-ecological conditions of the North-Eastern Forest Steppe of Ukraine. The material of the research was 9 sunflower hybrids of different maturity groups, selected based on the results of environmental tests at the demonstrative field of the Institute of Agriculture of North-East of Ukraine. Experimental studies were carried out according to the scheme of a 3-factor field experiment (variety, sowing density, fertilizer rate) on the experimental field of the Sumy National University (2019–2021). The dynamics of changes in the productivity parameter depending on the rate of mineral fertilizers were analyzed. The optimal parameters of the analyzing background (without fertilizers (background), $N_{45}P_{45}K_{45}$, $N_{90}P_{90}K_{90}$) to adaptability to the agro-ecological conditions of the region were considered. It was established that the highest level of informativeness regarding the differentiation of mid-early sunflower genotypes according to the productivity index in the conditions of the North-Eastern Forest Steppe is provided by the background with the application of mineral fertilizers at the rate of $N_{45}P_{45}K_{45}$. By using this analytical background, optimal conditions are created for evaluating sunflower hybrids according to plasticity and stability features. In the conditions of the North-Eastern Forest Steppe, application of this rate of mineral fertilizers makes it possible to effectively test sunflower hybrids according to the reaction to crop density and weather conditions. The results of variance analysis showed an approximately equal influence of factors of genotype (38.3%), sowing density (30.3%) and weather conditions (30.8%) on the change in yield indicators. It was established that the minimum level of stress resistance of hybrids was observed in variant with fertilizers application in the rate of $N_{45}P_{45}K_{45}$. Close values were noted in the variant without the fertilizers use. This rate of $N_{45}P_{45}K_{45}$ ensures an increase in the level of productivity, but does not affect the change in the level of intraspecific competition in crop.

Key words: sunflower, productivity, adaptability, analyzing background, plasticity.

ВПЛИВ ПЕРЕДПОСІВНОЇ ОБРОБКИ НАСІННЯ НА АМІЛАЗНУ АКТИВНІСТЬ, ВМІСТ ВУГЛЕВОДІВ І БІЛКІВ В ЗЕРНІ ЖИТА ОЗИМОГО

Куриленко Антон Олегович

аспірант

Ніжинський державний університет імені Миколи Гоголя,

м. Ніжин, Україна

ORCID: 0000-0001-7224-1581

anton.kurylenko112@gmail.com

Кучменко Олена Борисівна

доктор біологічних наук, професор

Ніжинський державний університет імені Миколи Гоголя,

м. Ніжин, Україна

ORCID: 0000-0002-3021-8583

kuchmeh@yahoo.com

*Жито озиме є традиційною культурою для зони Полісся України, тому пошук і розробка ефективних та безпечних підходів за засобів для стимуляції росту і розвитку цієї культури є актуальним. Матеріалом дослідження було насіння жита озимого (*Secale cereale* L.) сортів Синтетик 38 і Забава та композиції метаболічно активних речовин: вітамін E (10^{-8} M), параоксibenзойна кислота (ПОБК) (0,001%), метіонін (0,001%), убіхінон-10 (10^{-8} M) і $MgSO_4$ (0,001%), які використовувалися в наступних поєднаннях – вітамін E+ПОБК+метіонін, вітамін E+ПОБК+метіонін+ $MgSO_4$, вітамін E+убіхінон-10. Проводили передпосівну обробку насіння досліджуваними композиціями та дослідження вмісту білку, крохмалю та водорозчинних цукрів, а також активність амілаз в зерні жита озимого. За застосування досліджуваних композицій метаболічно активних сполук спостерігається збільшення вмісту білку в зерні жита озимого. Найбільше зростання порівняно з контрольним варіантом було продемонстровано за застосування композицій вітамін E+ПОБК+метіонін і E+ПОБК+метіонін+ $MgSO_4$. Також за передпосівної обробки насіння композиціями метаболічно активних сполук спостерігається зростання вмісту крохмалю у зерні. Найбільш ефективними виявились композиції E+ПОБК+метіонін+ $MgSO_4$ і вітамін E+убіхінон-10 для жита озимого обох досліджуваних сортів. Вміст розчинних моно- і дисахаридів в зерні жита озимого за умов передпосівної обробки насіння зменшується. Передпосівна обробка насіння досліджуваними композиціями метаболічно активних речовин не впливала на активність амілаз в зерні жита озимого обох сортів. Тільки в зерні жита озимого сорту Забава за передпосівної обробки насіння композицією E+ПОБК+метіонін спостерігається достовірне зниження сумарної амілазної активності за рахунок зниження активності β -амілази. Результати проведеного дослідження можуть мати практичне значення для подальшого вивчення впливу цих композицій на рослинні організми з метою обґрунтування їх використання в рослинництві.*

Ключові слова: жито озиме, передпосівна обробка, вітамін E, убіхінон-10, параоксibenзойна кислота, метіонін, $MgSO_4$.

DOI <https://doi.org/10.32845/agrobio.2022.2.15>

Вступ. Жито озиме є однією із найпоширеніших зернових культур в більшості країн Європи, зокрема і в Україні, завдяки своїм біологічним особливостям, зокрема, високій адаптивній здатності, морозостійкості, меншій вимогливості до вологості тощо (Kunah et al., 2018). Зерно жита широко використовується для виробництва хлібопекарського борошна. Продукти із зерна жита містять необхідні для організму людини поживні речовини – вуглеводи, білки, жири, вітаміни та мінеральні речовини. Вироби із житнього борошна мають високі харчові властивості, містять вітаміни групи B (вітамін B₁, B₂, PP), вітамін E. Крім цього, жито та продукти його переробки використовують у тваринництві, харчовій промисловості тощо (Hospodarenko & Ptashnyk, 2013; Kunkulberga et al., 2017; Demchuk, 2019). Якість зерна залежить від сукупного поєднання сортових особливостей, погодно-кліматичних, ґрунтових факторів та технології вирощування. Підвищення ефективності вирощування жита озимого

може вирішуватися як за рахунок підвищення врожайності нових сортів їх адаптивності до стресових факторів середовища, так і за рахунок використання сучасних технологічних заходів вирощування. Ці агрозаходи передбачають використання регуляторів росту рослин, що мають комплексний вплив на ріст і розвиток (Lobiuc et al., 2017; Antonenko et al., 2016; Antonets & Shramenko, 2021; Furanets & Piddubniak, 2019; Demchuk, 2019). Існують різні способи застосування регуляторів росту і розвитку рослин, зокрема передпосівна обробка насіння, бактеризація насіння, обприскування рослини на різних фазах її розвитку, позакореневе підживлення тощо, або поєднання декількох способів (Sharma et al., 2015).

Насіння є основною і життєво важливою складовою стійкого росту продуктивності сільського господарства, оскільки більше 90% продовольчих культур вирощуються із насіння (Sharma et al., 2015). Тому одним із ефективних способів впливу на процеси росту і розвитку рослини,

формуванню стійкості до різноманітних стресових факторів зовнішнього середовища, включаючи хімічні, фізичні та біологічні, є саме передпосівна обробка насіння препаратами біологічно активних речовин.

Одним із найбільш перспективних напрямків сучасних агротехнологій є використання біологічних препаратів та стимуляторів росту (Jiang & Asami, 2018; Kuzminyih & Pashkova, 2016; Szczepanek, 2018; Horobets et al., 2021). Серед цих препаратів належне місце займають стимулятори росту, ефект від дії яких був досліджений на багатьох культурах. В результаті їх застосування спостерігається модуляція процесу фотосинтезу, оптимізація транспорту поживних речовин, і, як наслідок, зростання біомаси та врожайності культур, а також вони здатні впливати на імунну систему рослин, відновлювати дефіцит корисних речовин та впливати на обмінні процеси в рослинному організмі (Zumarieva et al., 2019; Asami & Nakagawa, 2018; Korotkova et al., 2021).

Метою дослідження є оцінка впливу передпосівної обробки насіння жита озимого сортів Синтетик 38 і Забава композиціями метаболічно активних речовин на біохімічні показники зерна.

Матеріали і методи досліджень. Матеріалом дослідження було насіння жита озимого (*Secale cereale* L.) сортів Синтетик 38 і Забава та композиції метаболічно активних речовин: вітамін Е (10^{-8} М), параоксибензойна кислота (ПОБК) (0,001%), метіонін (0,001%), убіхінон-10 (10^{-8} М) і $MgSO_4$ (0,001%).

Сорт Синтетик 38 (заявник – Носівська селекційно-дослідна станція Чернігівського Інституту АПВ НААНУ, рік реєстрації – 2006) – зернового та кормового напрямку, озимий, стійкий до вилягання, засухи, осипання, зимостійкість вище середньої; має високий потенціал урожайності (максимальна врожайність – 79,8 ц/га), добре реагує на мінеральне живлення, високостійкий до грибкових захворювань, має крупне зерно, довгий колос та високе стебло (115–120 см), вегетаційний період складає 282–305 дб.

Сорт Забава (заявник – Носівська селекційно-дослідна станція Чернігівського Інституту АПВ НААНУ, рік реєстрації – 2010) – зернового та кормового напрямку, озимий, стійкий до вилягання, засухи, осипання, має високий потенціал урожайності (44,5 ц/га), добре реагує на мінеральне живлення, високостійкий до грибкових захворювань, має крупне зерно, колос напівпохилий, середньої довжини, нещільний, висота рослини 115–120 см.

Польові досліді проводили на території навчально-дослідної агробіостанції Ніжинського державного університету імені Миколи Гоголя впродовж 2019-2021 років.

Схема досліджень передбачала 4 варіанти:

- 1) контроль (насіння, оброблене водою);
- 2) насіння, оброблене композицією речовин: вітамін Е (10^{-8} М) + параоксибензойна кислота (0,001%) + метіонін (0,001%) (ЕПМ);
- 3) насіння, оброблене композицією речовин: вітамін Е (10^{-8} М) + параоксибензойна кислота (0,001%) + метіонін (0,001%) + $MgSO_4$ (0,001%) (ЕПММg);
- 4) насіння, оброблене композицією речовин: вітамін Е (10^{-8} М) + убіхінон-10 (10^{-8} М) (EQ).

Після обробки композиціями метаболічно активних речовин насіння жита озимого висівали широкорядним способом в ґрунт поля (ширина міжрядь – 45 см). Загальна площа поля становила 88 м². Ґрунтовий покрив дослідного поля – чорнозем опідзолений, малогумусний. За профілем характеризується відносною однорідністю гранулометричного і валового хімічного складу зі значним вмістом елементів живлення в гумусовому горизонті. Вміст гумусу в орному шарі ґрунту 3,5 %, ступінь насиченості основами – 90,8-91,1 %, реакція ґрунтового розчину слабкокисла (рН 6,0-6,3), гідролітична кислотність 2,42 мг -екв./100 г ґрунту, вміст рухомих сполук фосфору – 118 мг/кг та обмінного калію – 99 мг/кг (за Чириковим – забезпеченість підвищена), нітрогену – 64 мг/кг (за Корнфілдом – забезпеченість середня). Потреби у внесенні мінеральних добрив не було. Повторність досліду – триразова. Дослідження проводилися за (Grytsaenko et al., 2003).

Вміст моносахаридів та дисахаридів визначали спектрофотометрично за довжини хвилі 630 нм за зміною забарвлення розчину гліцерату міді при кип'ятінні його з витяжками цукрів (Kabashnikova et al., 2003). Вміст крохмалю визначали колориметрично за довжини хвилі 590 нм. Принцип методу заснований на гідролізі крохмалю при нагріванні в 80 %-му розчині азотнокислого кальцію і осадженні його із отриманого розчину йодом (Kabashnikova et al., 2003). Вміст білка визначали за Лоупі (Crusciol et al., 2018). Амілазну активність вимірювали йодометричним методом колориметрично за довжини хвилі 595 нм (Antonenko et al., 2016).

Статистичну обробку матеріалу проводили із застосуванням методів математичної статистики шляхом використання стандартних вбудованих редакцій пакета спеціалізованого програмного забезпечення MS Office Excel 2010. Для перевірки статистичних гіпотез використовували t-критерій Стьюдента. Числові дані представлені в формі середньої величини з стандартною помилкою ($M \pm m$). Достовірними вважали відмінності за рівня значущості $p < 0,05$.

Результати. Результати досліджень показників вмісту білку та вуглеводів в зерні жита озимого сортів Синтетик 38 і Забава наведено в таблиці 1. Так, вміст білку в зерні жита озимого сортів Синтетик 38 і Забава у варіантах передпосівної обробки досліджуваними композиціями метаболічно активних речовин дещо збільшувався порівняно з контрольним варіантом, проте достовірне зростання спостерігалось лише при обробці композиціями ЕПМ і ЕПММg відповідно на 10% і 14% в зерні жита озимого сорту Синтетик 38 і при обробці композицією ЕПМ на 12% в зерні жита озимого сорту Забава (табл. 1).

За передпосівної обробки насіння в зерні жита озимого також зростає вміст крохмалю. Так, в зерні жита озимого сорту Синтетик 38 достовірне зростання спостерігається у варіанті передпосівної обробки композицією ЕПММg на 11%. В зерні жита озимого сорту Забава достовірне зростання спостерігалось у всіх досліджуваних варіантах передпосівної обробки насіння композиціями метаболічно активних речовин: ЕПМ – на 8%, ЕПММg – на 12% і EQ – на 9% порівняно з контролем.

Вміст білка, крохмалю та моно-і дисахаридів в зерні жита озимого за передпосівної обробки насіння композиціями метаболічно активних речовин, 2019–2021 рр.

| Варіанти | Вміст білка, мг/г сирової маси | Вміст крохмалю, мг/г сирової маси | Вміст моно- і дисахаридів, мг/г сирової маси | Вміст моносахаридів, мг/г сирової маси | Вміст дисахаридів, мг/г сирової маси |
|------------------|--------------------------------|-----------------------------------|--|--|--------------------------------------|
| сорт Синтетик 38 | | | | | |
| Контроль | 3,75±0,11 | 295,67±7,99 | 238,40±12,94 | 79,60±8,28 | 150,86±9,92 |
| ЕПМ | 4,13±0,16* | 312,33±10,92 | 212,80±17,45 | 68,40±5,6 | 137,18±18,05 |
| ЕПММg | 4,28±0,11* | 327,07±18,03* | 195,20±14,22* | 76,80±8,61 | 112,48±13,57* |
| EQ | 4,07±0,19 | 319,67±8,00* | 207,20±15,77 | 78,00±7,24 | 122,74±15,94* |
| сорт Забава | | | | | |
| Контроль | 3,31±0,09 | 285,60±9,92 | 258,80±10,57 | 74,80±7,47 | 174,80±14,65 |
| ЕПМ | 3,71±0,09* | 309,60±4,84* | 202,40±23,95* | 56,00±6,29* | 139,08±18,16* |
| ЕПММg | 3,58±0,10 | 318,67±7,35* | 232,00±14,53* | 67,20±6,65 | 156,56±15,44 |
| EQ | 3,46±0,06 | 312,00±7,20* | 231,20±9,91* | 64,20±7,00 | 158,65±11,37 |

Примітка: * – різниця достовірна порівняно з контролем, $p < 0,05$.

Вміст водорозчинних цукрів в зерні жита озимого обох досліджуваних сортів за передпосівної обробки насіння композиціями метаболічно активних сполук зменшувався порівняно з контрольним варіантом. При цьому вміст суми моно- і дисахаридів в зерні жита озимого сорту Синтетик 38 достовірно зменшується у варіанті передпосівної обробки ЕПММg на 18%, в зерні жита озимого сорту Забава у варіантах передпосівної обробки ЕПМ, ЕПММg і EQ відповідно на 22%, 10% і 11% порівняно з контролем. Достовірні зміни у вмісті моносахаридів спостерігаються тільки в зерні жита озимого сорту Забава у варіанті передпосівної обробки ЕПМ на 25%. При цьому вміст дисахаридів достовірно зменшується в зерні жита озимого сорту Синтетик 38 у варіантах передпосівної обробки ЕПММg і EQ відповідно на 25% і 19%, а в зерні жита озимого сорту Забава у варіанті ЕПМ на 20% порівняно з контролем.

В таблиці 2 наведено результати дослідження сумарної амілазної активності в зерні жита озимого сортів Синтетик 38 і Забава.

Так, в зерні жита озимого сорту Синтетик 38 сумарна амілазна активність у варіантах передпосівної обробки

насіння достовірно не змінюється, хоча у варіанті ЕПММg спостерігається тенденція до її зменшення. В зерні жита озимого сорту Забава сумарна амілазна активність достовірно зменшується у варіанті передпосівної обробки ЕПМ на 4%. Активність α -амілази в зерні озимого жита обох сортів достовірно не змінюється у всіх варіантах передпосівної обробки. Активність β -амілази в зерні жита озимого обох сортів у варіантах передпосівної обробки має тенденцію до зменшення; достовірне зменшення спостерігається тільки в зерні жита озимого сорту Забава у варіанті передпосівної обробки ЕПМ на 11% порівняно з контролем.

Обговорення. На характеристики зерна значним чином можуть впливати різноманітні агрозаходи (Yakhin et al., 2017). Як продемонстровано в роботах (Yakhin et al., 2017; Korotkova et al., 2021), стимулятори росту здатні сприяти збільшенню біомаси, оптимізувати зростання рослин, скорочувати вегетаційний період, активізувати фотосинтетичні процеси тощо, що буде впливати на основні характеристики зерна. В даній роботі досліджуються композиції метаболічно активних сполук, які є природними метаболітами.

Таблиця 2

Активність амілаз в зерні жита озимого за передпосівної обробки насіння композиціями метаболічно активних речовин, 2019–2021 рр.

| Варіанти | Сумарна активність α - і β -амілаз, мг гідролізованого крохмалю / год. на 1 г | Активність α -амілази, мг гідролізованого крохмалю / год. на 1 г | Активність β -амілази, мг гідролізованого крохмалю / год. на 1 г |
|------------------|--|---|--|
| сорт Синтетик 38 | | | |
| Контроль | 53,53±2,82 | 19,49±0,37 | 34,04±3,46 |
| ЕПМ | 53,52±0,59 | 20,59±1,47 | 32,94±2,06 |
| ЕПММg | 51,47±1,47 | 19,85±0,73 | 31,62±0,73 |
| EQ | 51,47±2,94 | 21,17±2,35 | 30,29±0,59 |
| сорт Забава | | | |
| Контроль | 57,27±1,02 | 19,12±1,47 | 38,16±2,49 |
| ЕПМ | 54,80±1,11* | 20,74±0,15 | 34,07±0,96* |
| ЕПММg | 55,40±0,85 | 20,59±2,94 | 34,81±3,79 |
| EQ | 57,19±2,47 | 21,32±0,74 | 35,86±3,20 |

Примітка: * – різниця достовірна порівняно з контролем, $p < 0,05$.

В результаті власних попередніх досліджень було продемонстровано ефективність використання передпосівної обробки насіння композиціями метаболічно активних речовин, що складаються із вітаміну Е, убіхінону-10, параоксибензойної кислоти, метіоніну та $MgSO_4$, щодо стимуляції росту надземної та підземної частин рослин, збільшення вмісту загальних хлорофілів, хлорофілів *a* і *b* в листках рослин жита озимого сортів Синтетик 38 і Забава (Kurylenko et al., 2021; Kurylenko et al., 2021).

За застосування досліджуваних композицій метаболічно активних сполук спостерігається збільшення вмісту білку в зерні жита озимого. При цьому найбільше зростання порівняно з контрольним варіантом має місце за застосування композицій ЕПМ і ЕПММг. Відомо, що, на відміну від пшениці, зростання вмісту білка в зерні жита зазвичай не призводить до збільшення об'єму хліба. При зростанні вмісту білка зростає активність α -амілази (Hospodarenko & Ptashnyk, 2013).

Зерно жита характеризується досить високим вмістом крохмалю (Hospodarenko & Ptashnyk, 2013). В наших дослідженнях за передпосівної обробки насіння композиціями метаболічно активних сполук спостерігається зростання вмісту крохмалю. Найбільш ефективними при цьому виявились композиції ЕПММг і EQ у рослин жита озимого обох досліджуваних сортів. При цьому вміст розчинних моно- і дисахаридів в зерні жита озимого за умов передпосівної обробки насіння зменшується.

Біологічні та технологічні показники якості зерна жита озимого визначаються вмістом та співвідношенням в ньому запасних білків та вуглеводів, метаболізм яких при дозріванні та проростанні знаходиться під контролем відповідних ферментних систем. При цьому центральну роль у формуванні технологічних та посівних характеристик зерна відіграють амілолітичні ферменти (Stepniewska et al., 2021). Під дією цих ферментів відбувається гідроліз крохмалю з утворенням декстринів та мальтози. В зерні жита присутні обидва ферменти – α - і β -амілази, при проростанні кількість та активність α -амілази різко зростає (Muralikrishna & Nirmala, 2005). В наших дослідженнях α -амілазна активність практично не

змінювалась у всіх дослідних варіантах. Тільки в зерні жита озимого сорту Забава у групі передпосівної обробки композицією ЕПМ спостерігається достовірне зниження сумарної α -амілазної активності за рахунок зниження активності β -амілази. Отримані результати α -амілазної активності узгоджуються з отриманими результатами вмісту крохмалю та водорозчинних цукрів.

Треба відмітити, що ефекти даних композицій метаболічно активних сполук є маловивченим. Продемонстровані ефекти досліджуваних композицій можуть бути обумовлені ефектами окремих компонентів, їх взаємодією, а також способом обробки рослин. Оскільки застосовували саме передпосівну обробку насіння, то продемонстровані ефекти можуть визначатися впливом досліджуваних сполук на метаболізм насінини. Кожна із досліджуваних метаболічно активних речовин (параоксибензойна кислота, метіонін, вітамін Е, убіхінон-10 та сіль магнію сульфату) має свої властивості та здатна впливати на обмінні процеси в рослинному організмі та, відповідно, і на характеристики зерна (Куриленко та ін., 2021; Skrypnik et al., 2021; Miret & Munné-Bosch, 2015; Stahl et al., 2019; Liu & Lu, 2016; Hildebrandt, 2015; Maathuis, 2009; Mokrosnop, 2014).

Висновки. В роботі досліджено вплив передпосівної обробки насіння композиціями метаболічно активних сполук, а саме вітаміну Е, убіхінону, параоксибензойної кислоти, метіоніну та $MgSO_4$ на вміст білку, крохмалю та водорозчинних цукрів, а також на α -амілазну активність в зерні жита озимого сортів Синтетик 38 та Забава. Згідно проведених досліджень виявлено збільшення вмісту білка та крохмалю та зменшення вмісту водорозчинних цукрів в зерні жита озимого за передпосівної обробки композиціями ЕПМ та ЕПММг. При цьому передпосівна обробка насіння досліджуваними композиціями метаболічно активних речовин не впливала на активність α -амілаз в зерні жита озимого обох сортів. Результати проведеного дослідження можуть мати практичне значення для подальшого вивчення впливу цих композицій на рослинні організми з метою обґрунтування їх використання в рослинництві.

Бібліографічні посилання:

1. Antonenko, K., Duma, M., Kreicberg, V. & Kunkulberga, D. (2016). The influence of microelements selenium and copper on the rye malt amylase activity and flour technological properties. *Agronomy Research*, 14(S2), 1261–1270.
2. Antonets, O. A. & Shramenko, K. I. (2021). Vplyv mineralnykh dobyv na urozhainist zerna zhyta ozymoho [The influence of mineral fertilizers on the yield of winter rye grain]. *Materialy XI naukovo-praktychnoi internet-konferentsii «Aktualni napriamky ta problemy u tekhnolohiiakh vyroshchuvannia produktsii roslynnytstva» / Redkol.: V.V. Hanhur (vidp. red.) ta in. Poltavskyi derzhavnyi arharnyi universytet*, 131–133 (in Ukrainian).
3. Asami, T., & Nakagawa, Y. (2018). Preface to the Special Issue: Brief review of plant hormones and their utilization in agriculture. *Journal of Pesticide Science*, 43(3), 154–158. doi: 10.1584/jpestics.M18-02
4. Crusciol, C. A. C., Arruda, D. P., Fernandes, A. M., Antonangelo, J. A., Alleoni, L. R. F. & Nascimento, C. A. C. (2018). Methods and extractants to evaluate silicon availability for sugarcane. *Scientific Reports*, 8, 916. doi: 10.1038/s41598-018-19240-1 PMID: 29343823
5. Demchuk, N. (2019) Zhyto ozyme: tekhnolohiia vyroshchuvannia: obrobitorok gruntu, dobrovya, nasinnia, zakhyst ta zbyrannia [Winter rye: cultivation technology: tillage, fertilizers, seeds, protection and harvesting]. Access mode: <http://superagronom.com/articles/378-jito-ozyme-tehnologiya-viroshchuvannya-obrobitorok-gruntu-dobryva-nasinnia-zahist-ta-zbirannya> (in Ukrainian).
6. Furanets, O. A. & Pidubniak, V. A. (2019). Vplyv strokiv i doz azotnykh dobyv na vrozhaunist ozymoho zhyta v umovakh promyvnoho vodnoho rezhymu [The influence of periods and doses of nitrogen fertilizers on the yield of winter rye under the conditions of the washing water regime]. *Tavriyskyi naukovyi visnyk*, 110(1), 194–199 (in Ukrainian).

7. Grytsaenko, Z. M., Grytsaenko, A. O. & Karpenko, V. P. (2003) Metody biolohichnykh ta ahrokhimichnykh doslidzhen roslin i hruntiv [Methods of biological and agrochemical studies of plants and soils]. NICHLAWA, Kyiv, 320. (in Ukrainian).
8. Hildebrandt, T. M., Nunes Nesi, A., Araújo, W. L., & Braun, H.-P. (2015). Amino Acid Catabolism in Plants. *Molecular Plant*, 8(11), 1563–1579. doi: 10.1016/j.molp.2015.09.005
9. Horobets, M., Chaika, T. & Krykunova, V. (2021). Influence of growth stimulants on the ontogenesis of spring barley (*Hordeum Vulgare* L.). *Colloquium-journal*, (7(94)), 41–42. doi: 10.24412/2520-6990-2021-794-41-42
10. Hospodarenko, H. M. & Ptashnyk, M. M. (2013). Vmist bilka ta krokhmalu v zerni zhyta ozymoho zalezho vid vydiv, norm i strokiv vnesennia dobryv [The content of protein and starch in winter rye grains depending on the species, norms and terms of fertilization]. *Novitni ahrotekhnologii*, 1(1), 5–10 (in Ukrainian).
11. Jiang, K., & Asami, T. (2018). Chemical regulators of plant hormones and their applications in basic research and agriculture. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*, 82(8), 1265–1300. doi: 10.1080/09168451.2018.1462693
12. Kabashnikova, L. F., Kalituho, L. N. & Derevinskij, A. V. (2003). Kolichestvennyj analiz svobodnyh i svyazanyh uglevodov v odnoj naveske rastitel'noj tkani [Quantitative analysis of free and bound carbohydrates in one sample of plant tissue]. BGPU, Minsk, 22. (in Russian).
13. Korotkova, I. V., Horobets, M. V., & Chaika, T. O. (2021). Vplyv Stymulatoriv Rostu Na Produktivnist Sortiv Yachmeniu Yaroho [Influence of Growth Stimulators on Productivity of Spring Barley Varieties]. *Visnyk Poltavskoi Derzhavnoi Ahrarnoi Akademii*, 2, 20–30 (in Ukrainian). doi: 10.31210/visnyk2021.02.02
14. Kunah, O. M., Pakhomov, O. Y., Zymarioeva, A. A., Demchuk, N. I., Skupskiy, R. M., Bezuhla, L. S., & Vladyka, Y. P. (2018). Agroecologic and agroecological aspects of spatial variation of rye (*Secale cereale*) yields within Polesia and the Forest-Steppe zone of Ukraine: The usage of geographically weighted principal components analysis. *Biosystems Diversity*, 26(4), 276–285. doi: 10.15421/011842
15. Kunkulberga, D., Linina, A., Kronberga, A., Kokare, A. & Lenenkova, I. (2017). Grain quality of winter rye cultivars grown in Latvia. Conference Paper “Foodbalt 2017”. doi: 10.22616/foodbalt.2017.015.
16. Kurylenko, A. O., Kurylenko, O. V., Kuchmenko, O. B. & Havii, V. M. (2021). Vplyv peredposivnoi obrobky nasinnia kompozytsiinykh metabolichno aktyvnykh rehovyn na morfometrychni pokaznyky ozymoho zhyta v umovakh Polissia Ukrainy [The influence of pre-sowing treatment of seeds with the composition of metabolically active substances on the morphometric indicators of winter rye in the conditions of Polissia of Ukraine]. *Visnyk Sumskoho natsionalnoho ahrarnoho universytetu. Seriya: Ahronomiia i biolohiia*, 4, 25-32 doi: 10.32845/agrobio.2021.4.4. (in Ukrainian).
17. Kurylenko, A. O., Kurylenko, O. V., Kuchmenko, O. B. & Havii, V. M. (2021). Vplyv peredposivnoi obrobky nasinnia kompozytsiinykh metabolichno aktyvnykh rehovyn na vmist fotosyntetychnykh pihmentiv u lystkakh roslin ozymoho zhyta sortiv Syntetyk 38 i Zabava na riznykh etapakh ontogenezu [Vplyv peredposivnoi obrobky nasinnia kompozytsiinykh metabolichno aktivnykh rehovyn na vmist fotosyntetychnykh pihmentiv u lystkakh roslin ozymoho zhyta sortiv Syntetyk 38 i Zabava na riznykh etapakh ontogenezu]. *East European Scientific Journal*, 75(11), 11–16 doi: 10.31618/ESSA.2782-1994.2021.4.75.169. (in Ukrainian).
18. Kuzminyih, A.N. & Pashkova, G.I. (2016). Urozhaynost i kachestvo zerna ozimoy rzhi v zavisimosti ot primeneniya stimulyatorov rosta [Productivity and grain quality of winter rye depending on the use of growth stimulants]. *Vestnik Mariyskogo Gosudarstvennogo Universiteta. Seriya «Selskohozyaystvennyie Nauki. Ekonomicheskie Nauki»*, 1(5), 26–29 (in Russian).
19. Liu, M., & Lu, S. (2016). Plastoquinone and Ubiquinone in Plants: Biosynthesis, Physiological Function and Metabolic Engineering. *Frontiers in Plant Science*, 7. doi: 10.3389/fpls.2016.01898
20. Lobiuc, A., Damian, C., Costica, N. & Leahu, A. (2017). Morphological and biochemical parameters in chemically elicited rye sprouts. *Studia Universitatis “Vasile Goldiș”, Seria Științele Vieții*, 27(3), 157–162.
21. Maathuis, F. J. (2009). Physiological functions of mineral macronutrients. *Current Opinion in Plant Biology*, 12(3), 250–258. doi: 10.1016/j.pbi.2009.04.003
22. Miret, J. A., & Munné-Bosch, S. (2015). Redox signaling and stress tolerance in plants: a focus on vitamin E. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1340(1), 29–38. doi: 10.1111/nyas.12639
23. Mokrosnop, V. M. (2014). Functions of tocopherols in the cells of plants and other photosynthetic organisms. *The Ukrainian Biochemical Journal*, 86(5), 26–36. doi: 10.15407/ubj86.05.026.
24. Muralikrishna, G. & Nirmala, M. (2005). Cereal α -amylases – an overview. *Carbohydr*, 60(2), 163-173. doi: 10.1016/j.carbpol.2004.12.002.
25. Sharma, K., Singh, U., Sharma, P., Kumar, A. & Sharma, L. (2015). Seed treatments for sustainable agriculture – a review. *Journal of Applied and Natural Science*, 7(1), 521–539. doi: 10.31018/jans.v7i1.641
26. Skrypnik, L., Maslennikov, P., Novikova, A., & Kozhikin, M. (2021). Effect of Crude Oil on Growth, Oxidative Stress and Response of Antioxidative System of Two Rye (*Secale cereale* L.) Varieties. *Plants*, 10(1), 157. doi: 10.3390/plants10010157
27. Stahl, E., Hartmann, M., Scholten, N., & Zeier, J. (2019). A Role for Tocopherol Biosynthesis in Arabidopsis Basal Immunity to Bacterial Infection. *Plant Physiology*, 181(3), 1008–1028. doi: 10.1104/pp.19.00618
28. Stepniewska, S., Cacak-Pietrzak, G., Szafranska, A., Ostrowska-Ligeza, E. & Dziki, D. (2021). Assessment of the starch-amylolytic complex of rye flours by traditional methods and modern one. *Materials*, 14, 7603. doi: 10.3390/ma14247603
29. Szczepanek, M. (2018). Technology of maize with growth stimulants application. *Engineering for Rural Development*, 17, 483–490. doi: 10.22616/ERDev2018.17.N074
30. Yakhin, O. I., Lubyantsev, A. A., Yakhin, I. A., & Brown, P. H. (2017). Biostimulants in plant science: A global perspective. *Frontiers in Plant Science*, 7. doi: 10.3389/fpls.2016.02049
31. Zymarioeva, A., Zhukov, O., Romanchuk, L., & Pinkin, A. (2019). Spatiotemporal dynamics of cereals grains and grain legumes yield in Ukraine. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 25(6), 1107–1113.

Kurylenko A.O., PhD student, Nizhyn Gogol State University, Nizhyn, Ukraine

Kuchmenko O.B., Doctor of Biological Science, Professor, Nizhyn Gogol State University, Nizhyn, Ukraine

Effect of presowing treatment on amylase activity and carbohydrate and protein content in winter rye grain

Winter rye is a promising crop for the Polissya region of Ukraine, so the search for and development of effective and safe approaches to stimulate the growth and development of this crop is relevant. The material of the study was the seeds of winter rye (*Secale cereale* L.) varieties Synthetic 38 and Zabava, and compositions of metabolically active substances: vitamin E (10-8 M), paraoxybenzoic acid (POBA) (0,001%), methionine (0,001%), ubiquinone-10 (10-8 M) and MgSO₄ (0,001%), which were used in the following combinations – vitamin E+POBA+methionine, vitamin E+POBA+methionine+MgSO₄, vitamin E+ubiquinone-10. Presowing treatment of seeds with the studied compositions was performed and research was carried out on the content of protein, starch and water-soluble sugars, as well as the activity of amylases in winter rye grains. An increase in the protein content of winter rye grain is observed when the investigated compositions of metabolically active substances are used. At the same time, the greatest increase compared to the control group occurs with the use of vitamin E+POBA+methionine and E+POBA+methionine+MgSO₄ combinations. Also, under presowing treatment of seeds with combinations of metabolically active substances, an increase in starch content is observed. The compositions E+POBA+methionine+MgSO₄ and vitamin E+ubiquinone-10 in winter rye grains of both studied varieties turned out to be the most effective. At the same time, the content of soluble mono- and disaccharides in winter rye grains decreases under the conditions of presowing seed treatment. At the same time, presowing seed treatment with the studied combinations of metabolically active substances did not affect amylase activity in winter rye grains of both varieties. Only in the grain of winter rye of the Zabava variety in the group of presowing treatment with the E+POBA+methionine composition, a significant decrease in total amylase activity is observed due to a decrease in β -amylase activity. The results of the conducted research may be of practical importance for the further study of the influence of these compositions on plant organisms in order to justify their use in crop production.

Key words: winter rye, presowing treatment, vitamin E, ubiquinone-10, paraoxybenzoic acid, methionine, MgSO₄.

ТРОФІЧНІ ТА ФІТОГОРМОНАЛЬНІ ДЕТЕРМІНАНТИ ОНТОГЕНЕЗУ *IN VITRO***Мацкевич Оксана Вячеславівна**

магістрант

Національний університет біоресурсів і природокористування,

м. Київ, Україна

ORCID: 0000-0001-9079-2600

ok1matskevych@gmail.com

Кімейчук Іван Васильович

асистент

Білоцерківський національний аграрний університет,

м. Біла Церква, Україна

ORCID: 0000-0002-9100-1206

i_kimeichuk@nubip.edu.ua

Мацкевич Вячеслав Вікторович

доктор сільськогосподарських наук, доцент

Білоцерківський національний аграрний університет

м. Біла Церква, Україна

ORCID: 0000-0002-9314-8033

vitroplant56@gmail.com

Павліченко Андрій Андрійович

кандидат сільськогосподарських наук, доцент

Білоцерківський національний аграрний університет

м. Біла Церква, Україна

ORCID: 0000-0001-5576-9931

pavlichenkoa@ukr.net

Метою даної статті є встановлення трофічних та фітогормональних детермінантів онтогенезу *in vitro*. Мікроклональне розмноження як біотехнологічний процес передбачає використання рослинних об'єктів: експланти, регенеранти, рослини-донори. В кожному з таких об'єктів на рівні нуклеїнових кислот записана генетична інформація про онтогенез цілісного організму *in situ*. Для спрямування життєвого циклу об'єктів згідно технологічних або наукових потреб застосовують фізичні, трофічні та фітогормональні детермінанти. Під дією детермінант в меристемних та інших тканинах вибірково відбувається експресія генів. Завдяки цьому розвиток відбувається по визначеному шляху з обмеженням інших. Рослинні організми при розмноженні *in vitro* зазнають двічі переформатування детермінант. Перший раз це відбувається під час введення в асептичні умови, а другий – за постасептичної адаптації. Серед трофічних детермінант основними є мінеральні компоненти та синтетичні вуглеводи, що додаються у штучні живильні середовища. Вплив макро- та мікроелементів за мікроклонального розмноження як і у звичайних умовах підпорядковується законам живлення: автотрофності рослинних організмів; мінімуму; максимуму. На онтогенез регенерантів мінеральні елементи впливають не тільки через їх кількісний уміст, але і їх форму, кислотність розчину, взаємодію з іншими компонентами середовища. Екзогенні вуглеводи, процес синтезу ендогенних вуглеводів є також детермінуючим фактором. Зокрема, відбувається вплив на ризогенез та формування запасуючих органів. За високого вмісту вуглеводів у середовищі регенеранти розвиваються за міксотрофним типом живлення з домінуванням гетеротрофної долі. Саме гетеротрофне живлення сумісно з фітогормонами стимулюючої дії та малим умістом вуглекислого газу є основою ювенілізації рослинних об'єктів. Однією із візуальною ознак ювенільності є проста форма листових пластинок, хвої. Серед детермінант з фітогормональною активністю найбільш поширені синтетичні аналоги гормонів з переважанням за правилом Скуга і Мілера на різних етапах: на етапі мультиплікації цитокініни; на етапі ризогенезу – постасептичної адаптації ауксини. Цитокінінам властивий фітотоксичний ефект, який може накопичуватися і передаватися з покоління в покоління. Його прояв полягає в гіпергідратації тканин, слабкому або відсутньому ризогенезу, втраті протягом субкультувань регенераційного потенціалу. Для поліпшення перезавантаження системи детермінант ефективним є введення регенерантів в стан спокою. В такому випадку меристеми формують систему детермінант, яка є відповідною до нових, постасептичних умов.

Ключові слова: детермінанти, трофічна детермінація, фітогормони, закони живлення, мінеральні елементи живлення, цитокініни, ауксини.

DOI <https://doi.org/10.32845/agrobio.2022.2.16>

Вступ. Мікроклональне розмноження (МКР) як складова біотехнології передбачає технологічні процеси з біологічними організмами, зокрема рослинними об'єктами: експланти (меристеми, бруньки, живці); калюсні, ембріональні культури; регенеранти. Основний регуляторний механізм онтогенезу – реалізація генетичної програми (спадкової інформації) на різних стадіях розвитку організму, що є в кожній клітині. Ця програма здійснюється частково: розвиваються ознаки і властивості, для яких є сприятливі умови (Andrievsky, Vrublevsky, Filipova, Matskevych, Matskevych, 2019; Matskevych, 2020; Popov, Dolhova & Lymanska, 2020; Filipova, Matskevych, Matskevych, 2020).

В процесі росту і розвитку гени активуються один за одним у певній послідовності. Відбувається вибіркова експресія окремих груп генів. Завдяки регуляції експресії генів відбуваються такі складні явища, як клітинна диференціація та морфогенез (Melnychuk et al., 2003; Kunakh, 2005; Nakonechnaya et al., 2019).

Вважають, що найбільш активна детермінація екзогенної природи властива першим етапам процесу розвитку (Filipova et al., 2019). Подальший вплив детермінант відбувається на фоні зкоординованих внутрішніх механізмів (Terek & Patsula, 2011). В асептичних умовах, особливо за наявності джерел екзогенних гетеротрофного живлення, синтетичних фітогормонів регенеранти знаходяться переважно на початкових періодах онтогенезу: ембріональному і ювенільному (Matskevych, 2020; Matskevych et al., 2007). Генетична трансформація рослин *in vitro* зазвичай залежить від ефективних додаткових систем регенерації. При застосуванні відповідних екзогенних сигналів меристематичні та диференційовані рослинні клітини в культурі під дією детермінант здатні змінювати свій онтогенез (Matskevych, Taran, Reshetnyk, 2013; Pushkarova, Lakhneko, Belokurova, Morgun, B. V., Kuchuk, 2018; Chornobrov, Bilous, 2021). Наприклад, для експлантів мигдалю було встановлено, що: гени, які кодують білки, пов'язані з синтезом і процесингом білка, а також з метаболізмом азоту і вуглецю, були диференційовано експресовані на ранній стадії, тоді як гени які кодують білки, що беруть участь у порятунку і захисті рослинних клітин, а також взаємодії з навколишнім природним середовищем, були в основному знайдені на пізній стадії (Santos et al., 2009; Samarina, Malyarovskaya, Rogozhina, Malyukova, 2017; Pushkarova et al., 2019).

Важливим аспектом для спрямування онтогенезу рослинних об'єктів згідно їх генетичного потенціалу відповідно вимог виробництва або наукових досліджень є ефективне застосування детермінант. Детермінація шляхів розвитку кожної клітини, органу, цілого організму є основою фізіології розвитку (Terek & Patsula, 2011). Детермінація розвитку – набуття клітиною, органом або організмом стану готовності до розвитку по визначеному шляху, що одночасно супроводжується обмеженням можливостей розвитку в інших напрямках. У період детермінації онтогенезу створюються необхідні внутрішні умови для наступної морфологічної реалізації певного напрямку розвитку. Детермінант (*determinans, determinatio*) з латинської переводиться як «той, що визначає, обмежує»,

тобто чинник який визначає або обмежує. Детермінанти *in vitro* є найбільш дієвими чинниками спрямування життєвого циклу біологічних об'єктів і такими, які піддаються регулюванню згідно технологічних потреб. Це такі технологічно регульовані детермінанти: трофічні, гормональні, фізичні (Matskevych, Chechitko, 2003; Matskevych, 2020; Mikhovich, Teteryuk, 2020).

Мета статті – проаналізувати фітогормональну, трофічну детермінацію в технологіях МКР. З цією метою проведено аналітичний аналіз вітчизняних та закордонних вчених досліджень з питань технологічної детермінації рослинними об'єктами *in vitro*.

Результати. Трофічна регуляція досить часто носить не тільки якісний, але й кількісний характер. Співвідношення асимілятів, макро- і мікроелементів впливають на процеси росту і розвитку рослини. Важливими регулюючими факторами є не тільки вміст в середовищі тих чи інших компонентів, а й те наскільки вони доступні (Matskevych, 2020; Podhaietskyi et al., 2018). В природних умовах в організмі є дві взаємопов'язані ділянки живлення: повітряне пагона (фотосинтез) і мінеральне живлення кореня. Їх взаємодія координується кореляцією детермінант біполярної осі організму (Hand, Maki, Reed, 2014).

В умовах адаптації при переході з нативних умов *in vitro* змінюється активність трофічних детермінант. Змінюється алгоритм детермінації розвитку на етапі поста-септичної адаптації. Відбувається переформатування метаболічних процесів, змінюється морфологія і анатомія рослинних об'єктів. Зокрема рослинний об'єкт переходить із міксотрофного живлення з переважанням гетеротрофного до автотрофного (Matskevych, 2020), що впливає на його онтогенез (Petrova, Yatmanova, Mukhametshina, Musin, Akhmetov, 2021; Pianova, Salokhin, Sabutski, 2021).

Наприклад, при порівнянні регенерації експлантів павлонії за перших асептичних культивувань встановлено різну висоту пагону. Так за першого асептичного культивування вона на 15 день культивування становила лише 27 мм. А за шостого субкультивування живцюванням за такий же період регенеранти з живців мали більший ніж в два рази пагін (57 мм). За подальших субкультивувань (пасажів) цей показник був майже стабільним. Відхилення в більшу і меншу сторони знаходилося у межах 3–5 мм (Filipova, Matskevych, 2013; Fokina, Satarova, Smetanin, Kucenko, 2018; Podhaietskyi et al., 2020; Gafitskaya, Orlovskaya, Nakonechnaya, Nesterova, 2020; Gammoudi, Nagaz, Ferchichi, 2022).

Корелятивні зв'язки за мікроклонального розмноження умовах *in vitro* піддаються впливу ряду факторів, це зокрема:

– в результаті поділу рослини на експланти для живцювання та інших операцій руйнується співвідношення між частинами організму (корінь може в експлантах бути відсутнім);

– поглинання «замінників фотоасимілятів», наприклад, екзогенної сахарози відбувається або всією поверхнею об'єкта, або базальною частиною пагона, чи кореня. Тобто, в природних умовах переважає базалітальний рух по флоемі, а *in vitro* він може мати акропетальний чи дифузний напрям. Тому, через особливості асептичних

культур, і першу чергу гетеротрофного живлення трофічні детермінанти, порівняно із умовами *in vivo*, мають свої особливості впливу як на метаболізм, так і життєвий цикл рослинного організму. Завдяки штучним живильним середовищам *in vitro* поєднується мінеральне, гетеротрофне та автотрофне живлення (Matskevych, 2020).

Трофічні детермінанти *in vitro* з точки зору керування онтогенезом рослинних об'єктів доцільно поділити на такі групи:

- мінеральні компоненти живильних середовищ;
- доступність та взаємодія елементів згідно законів живлення;
- органічні компоненти середовища.

Рослинні об'єкти, будучи ізольованими поглинають із живильного середовища як мінеральні так і органічні речовини. Надходження відбувається у вигляді водного розчину мінеральних солей, у вигляді обмінних процесів в клітинах, що контактують з штучним живильним середовищем. В рослинний об'єкт елементи мінерального живлення надходять одні у вигляді іонів, інші зв'язуються з органічними сполуками, або включаються в ці сполуки лише після ряду окисно-відновних перетворень (Melnychuk et al., 2003).

Мікроклональне розмноження є вегетативним способом розмноження в специфічних умовах живлення. Не зважаючи на особливість умов *in vitro* закони живлення які властиві в нативних умовах (Horodnii, Bikin & Nahaievskaya, 2003; Tkachenko et al., 2015) актуальні і для асептичного культивування. Зокрема, не зважаючи на наявність в середовищі екзогенних синтетичних джерел вуглеводнів (найчастіше це сахароза в кількостях 10–60 г/л) актуальним є закон автотрофності зелених рослин. Рослинні об'єкти поглинаючи мінеральні елементи залучають їх в синтез органічних речовин лиш з тією різницею що первинна органічна речовина майже не утворюються ними, а є екзогенного походження. Тобто первинною органічною речовиною є не глюкоза яку рослина отримала в результаті фотосинтезу а екзогенний вуглевод (Matskevych, Filipova & Andriievskiy, 2015; Matskevych, Filipova, Karpuk & Titarenko, 2022).

Закон повернення речовин у ґрунт в умовах *in vitro* можна трактувати наступним чином: вміст в середовищі мінеральних елементів в живильному середовищі повинен бути максимально близьким складу регенерантів. Наприклад, гіпотеза запропонована турецькими вченими (Nas et al., 2013; Khoma, Khudolieieva, Rashydov, Kutsokon, 2022; Kim et al., 2020; Kim, Mahoney, Chan, Molyneux, Campbell, 2006), яка передбачає формування пропису живильного середовища на основі кількісного вмісту елементів живлення в насінні біологічного виду, сорту під який розробляється пропис. Ними розроблено за цієї гіпотези середовище для мигдалю [Nas Almond Medium (NAM)] на основі вмісту елементів живлення в ядрі. Підтвердженням цієї гіпотези є дослідження (Matskevych, 2020; Podhaietskiy et al., 2018), які вказують на значну подібність між гетеротрофним живленням рослин (проростання бульб, насіння) в умовах відкритого ґрунту і міксотрофного живлення з переважанням гетеротрофного в умовах *in vitro*.

Закон мінімуму однаково проявляється як для польових культур так і для рослин в пробірках. Напри-

клад, Fe входячи в ряд ферментних систем, впливає на низку метаболітичних процесів. Це, зокрема, синтез хлорофілів, відновлення нітратів. Іон феруму не підлягає реутилізації. Тому хлороз здебільшого властивий листкам верхніх ярусів. Хлорози однаково проявляються як в рослин *in vivo* так й *in vitro* (Matskevych, 2020; Podhaietskiy et al., 2018; Musiienko, 2005; Vlasenko et al., 2006). В складі середовищ Fe найчастіше міститься у хелатній формі ($\text{FeSO}_4 \times 7\text{H}_2\text{O}$ з динатрієвою сіллю етилендіамінтетраоцтової кислоти ($\text{EDTA C}_{10}\text{H}_{14}\text{N}_2\text{Na}_2\text{O}_8$)). В живильному середовищі за прописом Мурасіге і Скуга та низки інших поширених середовищ додають $\text{FeSO}_4 \times 7\text{H}_2\text{O}$ – 27,80 мг/л (0,1 М) сумісно з 37,30 мг/л хелатного агента Na_2EDTA (Nas et al., 2013; Podhaietskiy et al., 2020). Для одних культур такий уміст достатній, а в інших спостерігаються хлороз. Зокрема і для ожини. Як збільшення вмісту заліза у вказаній формі хелату так і в більш доступній формі в добриві Ferrilene 4.8 Orto – Orto (хелатуючий агент EDDHA, або етилендіамін-N, N'-біс (2-гідроксіфенілоцтової кислоти) і стандартний Na_2EDTA) усувало хлоротичні симптоми (Batukaev, Bamatov, Khadzhimuradova, 2018; Batukaev, Kornatskiy, Minkina, Barbashev, & Sushkova, 2019; Matskevych, 2020; Batukaev, Sobralieva, Palaeva, Batukaev, 2021).

Збільшення кількості феруму або покращення його доступності шляхом зміни хелетауючих агентів викликало ефект, що частково подібний цитокіновому, а саме:

- збільшення кількості мікропагонів у конгломераті;
- в надлишкових кількостях – гіпергідратація та інгібування ризогенезу.

Закон максимуму: надлишок доступного елемента живлення в ґрунті зменшує ефективність інших елементів. Відомі випадки блокування одних елементів живлення надлишком інших. Зокрема, за дослідженнями надлишок феруму, нітрогену призводили до ознак недостатнього засвоєння кальцію (Matskevych, 2020; Podhaietskiy et al., 2020). В результаті цього пагін мав потовщене стебло, вкорочені міжвузля, крихке листя та відмерлу верхівку. Відмирання верхівки провокувало пробудження нище розміщених пазушних бруньок. З них утворювалися короткі пагони в яких з часом також відмирили верхівки.

Як за введення в асептичні умови (Podhaietskiy et al., 2020), так і випадку зміни складу елементів живлення в середовищі найчастіше повний прояв трофічного детермінування онтогенезу регенерантів з експлантів відбувається за 4–5 субкультивування. Реакція рослинних об'єктів на трофічні детермінанти зміненого штучного живильного середовища може відбуватися як за першого культивування за зміни пропису так і протягом низки субкультивувань. Тобто реакція регенерантів на не збалансоване середовище і відновлення нормального стану відбувається не відразу після пересадки на нове середовище. Це зокрема проявляється і в таких показниках як у висоті пагону і кількості міжвузлів, які при живцюванні одноузловими живцями можна вважати, як коефіцієнт розмноження. Ці показники є важливими на етапі мультиплікації (Podhaietskiy et al., 2018).

Наприклад, для рослин ківі чіткі ознаки зниження висоти регенерантів на середовищі з високим умістом

нітрогену (за прописом Мурасіге і Скуга) за 4–5 пасажу. Це такі ознаки: вкорочене і потовщене стебло; надмірно інтенсивне зелене забарвлення листків; збільшення відсотку регенерантів з гіпергідратованими тканинами; відмирання верхівки пагона; майже відсутній ризогенез; після 3–4 субкультивування зменшення як кількості міжвузлів так і мікропагонів в конгломераті, що зменшує і коефіцієнт розмноження (Matskevych, 2020; Podhaietskyi et al., 2018; Podhaietskyi et al., 2020). Враховуючи фітотоксичність високих концентрації макроелементів, в тому числі нітрогену середовище за умістом макросолей модифікували за таким прописом: в мг/л. Макросолі: NH_4NO_3 – 170; KNO_3 – 367; KH_2PO_4 – 324; $\text{MgSO}_4 \times 7\text{H}_2\text{O}$ – 257; Мікросолі за прописом Мурасіге і Скуга; уміст $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \times 4\text{H}_2\text{O}$ і хелату заліза ($\text{FeSO}_4 \times 7\text{H}_2\text{O}$ в суміші з $\text{Na}_2\text{EDTA} \times 2\text{H}_2\text{O}$) зменшено на 1/3 (Podhaietskyi et al., 2020).

За мультиплікації методом стеблового живцювання *in vitro* на середовищі зі зменшеним умістом нітрогену відмічено наступне: «протягом перших субкультивувань відбуваються поступові зміни у висоті пагону та кількості міжвузлів. Так, рослини сорту Ківі Карпат Стратона Валентайн висота пагона зросла з 37 мм до 78–81 мм при четвертому-шостому субкультивуваннях. По інших досліджуваних сортозразках стабілізація висоти пагону і кількості міжвузлів також відбулася відбувалася після 3–4 субкультивування» (Podhaietskyi et al., 2020).

На етапі постасептичної адаптації павловнії за збільшення вмісту іонів Р і Mg шляхом збільшення концентрації солей KH_2PO_4 , і $\text{MgSO}_4 \times 7\text{H}_2\text{O}$ в живильний розчин перлітового субстрату у процесі висаджування об'єктів у касети і спочатку спостерігалися не значні різниці між рослинами в перші 5–10 діб культивування. Але, з 15 доби після проявлялися ознаки нестачі кальцію. Завершувалось це появою некрозів на старих листках та їх опаданням, гальмуванням розвитку кореневої системи (Matskevych et al., 2019).

Вплив трофічних елементів середовища залежить не тільки від кількісного умісту, їх співвідношення а й від доступності. В культурі *in vitro* мінеральні елементи знаходяться у вигляді суміші іонів. Їх кількісний уміст, співвідношення та доступність постійно змінюються. *In vitro* за контрольованих умов, доступність регулюється температурою, освітленням, газовим складом повітря та кислотністю живильного середовища (Matskevych, 2020; Matskevych, Kimeichuk, Matskevych, Karpuk, 2022). Кожний елемент живлення має різні значення оптимального діапазону рН як у відкритому ґрунті (Filipova, Matskevych, Karpuk, & Pavlichenko, 2021), так і в живильному середовищі. Більшість середовищ становить в рекомендованих прописах містить рН в межах 5,6. Однак для родини верескових кращим показником кислотності є 5,3 а для рослин які природно ростуть на нейтральних ґрунтах (фундук, мигдаль, кизил) кращим є рН близьке до 5,8–6,0 (Shyta, Filipova & Matskevych, 2021; Karpuk, Vrublevskiy, Matskevych, Filipova, & Pavlichenko, 2022; Matskevych, Prykhoda, Mykhailiuk, Matskevych, 2022).

За зміни в лужну сторону погіршується засвоєння феруму, нітрогену. За підкислення середовищ прояв-

ляються ознаки які властиві при дефіциті (незадовільній доступності) фосфору, калію, кальцію (Bacchetta, Aramini, Bernardini, Rugini, 2008; Bacchetta, et al., 2015).

Кислотність середовища впливає на залучення нітрогену в різних формах: нітратній, амонійній. Так за підкисленого середовища першою засвоюється нітратна форма цього елента живлення. Значна доступна кількість нітрогену затримує диференціацію меристем, морфогенез (Kushnir & Sarnatska, 2005). Амонійна форма в надлишкових кількостях завдяки швидкій метаболізації в амінокислоти є однією з причин гіпергідратації клітин, тканин та рослинних об'єктів.

Дослідник встановив, що нітрат стимулює морфогенез у меншій концентрації порівняно з амонієм або амінокислотою глутамін (Caboche, 1987). Водночас надлишок амонію інгібує фермент в ланцюгу перетворень нітратів нітратредуктазу. Збільшення вмісту нітратів є причиною збільшення кількості цитокінінів спочатку в кореневій системі, а потім і в усій рослині (Vedenychova & Kosakivska, 2017). Водночас цитокініни індують синтез ферменту нітратредуктази (Terek & Patsula, 2011).

На токсичність надлишку амонію впливає температура. Так Kester та ін. (Kester et al., 1977) встановили, що за температури 35 °С пошкоджувалися бруньки мигдалю *in vitro*, тоді як при 25 °С пошкоджень не було.

Змінюючи кількість елементів живлення, їх доступність змінюють шляхи та швидкість періодів життєвого циклу. Реакція рослин на вміст і форми елементів сформувалася еволюційно під час виникнення біологічних видів. Наприклад, *Eucalyptus marginata* має більші прирости пагона і кореня на збідненому на амонійний азот живильному Мурасіге і Скуга порівняно з базовим (повним) умістом (Woodward, 1995; Legkobit, Khadeeva, 2004; Legkobit, Khadeeva, 2004; Maistrenko, Krasnoborov, 2009; Lomtadze, Alasania, Gorgiladze, Meladze, 2018; Levchyk et al., 2022). Також за вмістом нітрогену, хлору MS не було оптимальним для регенерантів картоплі. Зменшення вмісту цього елемента (19–23 мекв.л⁻¹) забезпечувало кращі результати по розвитку пагона: збільшувалася кількість міжвузлів, довжина міжвузлів; збільшення умісту хлорофілу та збільшення розмірів листків. За малої кількості загального азоту, його амонійна форма мало впливала на мікроклональне розмноження (Podhaietskyi et al., 2018; Zarrabeitia et al., 1997).

Встановлено, що у рослинах авокадо, дуба, та полуниці під час культивування *in vitro* співвідношення C/N значно зростає (Premkumar et al., 2001).

Якщо нітроген називають елементом росту то фосфор елементом розвитку. Р це елемент, що входить в склад сполук які приймають участь в трасфері енергії, входить в склад нуклеїнових кислот та інших важливих сполук. До нестачі фосфору регенеранти особливо чутливі на початку онтогенезу. Велике споживання цього елемента спостерігається в тканинах, що інтенсивно діляться (Matskevych et al., 2022). В умовах фосфорного голодування зменшується синтез ендогенних цитокінінів (Lan et al., 2006).

Досліджуючи вплив концентрацій фосфору 0,15, 0,30, 0,60, 1,25 та 2,50 мМ Р (у вигляді фосфату) із коле-

гами у в середовищі *Muracire* і *Скуга* встановили, що при збільшенні концентрацій кращими були розвиток листків та коренів (Erst, Zheleznichenko, Novikova, Dorogina, Banaev, 2014; Tavares et al., 2015; Drobyk, et al., 2015; Dzerina, Sisenis, Neimane, Baumanis, Kapostins, 2017; Dubetska, 2020). Також, збільшення вмісту P призводило збільшення цього елемента та сірки в листках (Tavares et al., 2015).

Branzanti та ін. встановили на етапі постсептичного вирощування, що фосфорне підживлення, яке містить високий рівень P (40 ppm) в розчині, не впливає на ріст рослин яблуні *ex vitro* мікоризованої на початку адаптації (Branzanti et al., 1992). У випадку використання розчинів з нижчими рівнями P (8 і 4 ppm) завдяки мікоризи рослини мали таку саму швидкість росту як на варіанті з високим рівнем P. Добриво з фосфатом не впливало ендомікоризні мікроорганізми (Branzanti et al., 1992).

В живильних середовищах фосфор представлений у вигляді солей одно- та двозаміщених фосфатів ($H_2PO_4^-$, HPO_4^{2-}) (Kushnir & Sarnatska, 2005). В середовищі MS це 170 мг/л однозаміщеного калій фосфату (KH_2PO_4). Така кількість є і в більшості прописів. Проте для ряду культур вміст збільшено. Зокрема в середовищі Куаріна Лепувра – 270 мг/л. В середовищах для горіхоплідних кількість солей фосфору становить DKW (Driver and Kuniyuki Walnut) – 250 мг/л; NRM (Nas Read Medium) – 1300 мг/л; NAM (Nas Almond Medium) – 1550 мг/л (Nas et al., 2013; Ivashchuk, Fedorov, Shcherbinina, Maslova, Shamraeva, Zhuravlev, 2018; Inisheva, Rozhanskaya, Larina, 2019; International Forestry Forum, 2020; Ishchuk, Shlapak, Ishchuk, Bayura, Kurka, 2021).

Калій впливає на метаболізм і онтогенез регулюючи активність понад 60 ферментів, регулює поглинання і транспорт води. Впливає на рух фотоасимілятів, поглинання фосфору. Гальмування поділу та розтягування клітин відбувається за нестачі K. Також дефіцит або ускладнене поглинання калію зменшує апікальне домінування із-за вповільнення відтоку продуктів фотосинтезу. Калійний дефіцит є однією з причин розеточності (Matskevych et al., 2022).

По відношенню до кальцію варто враховувати еволюційне походження видів, які умовно ділять на три групи: кальцієфіли, кальцієфоби і нейтральні види. Дводольні види порівняно з однодольними більше споживають кальцію.

Магній входить в склад порфіринового ядра хлорофілу. Саме електрони магнію в цій молекулі вловлюють та передають в синтетичні процеси світлову енергію. Магній, як кофактор впливає на інтенсивність ферментів синтезу ДНК і РНК, АТФ, ферментів фосфаттрансфераз та необхідний для діяльності ферментів гліколізу, циклу Кребса. Дефіцит магнію проявляється у зміні забарвлення (міжжилковий хлороз листків) із-за зміни структури хлорофілу, порушенні енергетичного обміну (Kushnir & Sarnatska, 2005; Shmykova, Suprunova, Pivovarov, 2015; Matskevych et al., 2022).

Встановлено, що кратне зменшення вмісту усіх мінеральних елементів індукує ризогенез але регенеранти повільніше ростуть (Kushnir & Sarnatska, 2005). Викори-

стання таких рослин в якості донорів експлантів є однією з причин зменшення біометричних розмірів регенерованого потомства (Stadnyk et al., 2014).

Окрім мінеральних елементів детермінуючий вплив мають і органогенні елементи, зокрема надходження та фотоасиміляція карбону (Kozai, 1988; Desjardins & Hider, Riek, 1995; Afreen-Zobayed, Zobayed, Kubota, Kozai & Hasegawa, 1999; Erturk & Walker, 2000; Kozai, Kubota, 2005). За технологій фотоавтотрофного мікроклонального розмноження без екзогенних вуглеводів вплив площі фотоасимілюючих органів, вуглекислого газу як джерела для синтезу ендогенних вуглеводів визначальними для утворення коренів та інших органів. Так, для сорту фундука Трапезунд встановлено, що регенеранти за фотоавтотрофного живлення при інтенсивному освітленні і збільшеному вмісті CO_2 формували на 18 день корені тоді як регенеранти за таких умов але із 1/3 листової пластинки утворювали корені (Damiano, Caternaro, Giovanazzi, Fratarelli, Caboni, 2005; Danilova, Medvedeva, Efimova, 2018; Demidenko, Gukov, Berseneva, 2019; Demidenko, Egorova, Gafitskaya, Nakonechnaya, 2019).

За такого способу розмноження є синергічним із одночасним збільшенням:

- 1) площі фотосинтезуючих органів;
- 2) вмісту вуглекислого газу;
- 3) інтенсивності освітлення. Недостатня кількість одного з перелічених чинників знижує ефект інших.

Наприклад, регенеранти ожини за збільшення лише вмісту вуглекислого газу без збільшення інтенсивності освітлення збільшували свою масу із 12,83 г на контролі (інтенсивність освітлення 2,2 kLux і без збагачення CO_2) до 14,86 г. У випадку збільшення інтенсивності освітлення до 11,00 kLux маса регенеранта зростала до 22,17 г. Окрім збільшення маси регенерантів ожини прискорювалося і їх коренеутворення (Matskevych, 2020; Podhaietskyi et al., 2018).

Компоненти середовища органічного походження окрім того що є джерелом енергії або будівельним матеріалом проявляють себе як детермінанти онтогенезу *in vitro* (Kushnir & Sarnatska, 2005; Podhaietskyi et al., 2018; Christofi et al., 2022). Більшість технологій культивування рослинних об'єктів *in vitro* передбачає відсутність фотосинтезу або мінімальну його роль в створенні первинної органічної речовини – глюкози. Натомість в склад живильних середовищ додаються екзогенні вуглеводи. Це найчастіше дисахарид сахароза, що складається з фруктози і глюкози. Рідше застосовують екзогенний моносахарид глюкозу (Matskevych, 2020; Kushnir & Sarnatska, 2005). В окремих випадках, наприклад, є дослідження стосовно культивування картоплі, однодольних, де отримано позитивні результати додавання в якості джерела вуглеводів екзогенного полісахариду крохмалю, який в клітинах гідролізується до глюкози (Zhang et al., 2013; Kushnir & Sarnatska, 2005).

При порівнянні листків регенерантів картоплі, хости які виростили на середовищах з додаванням екзогенної сахарози і без неї встановлено менші розміри всієї рослини що не мали в середовищі джерело вуглеводів. Рослини мали коротше стебло, корінь. Листків було менше

але вони мали порівняно більші за площею темно зелені листові пластинки (Stadnyk et al., 2014). Подібна тенденція встановлена і на регенерантах гвоздики. Також встановлено, що на середовищах без джерела вуглеводів з кожним наступним субкультивуванням знижувався регенераційний потенціал (Matskevych, 2020).

За гетеротрофного живлення *in vitro* майже відсутній стимул росту фотоасимілюючих органів. Порівнюючи розміри листків картоплі на середовищах із одним, двома, трьома, чотирма, п'ятьма і шістьма відсотками сахарози встановлено суттєве зменшення площі листя на варіантах із чотирма і більше листками. На варіанті із 60 г/л сахарози починалося формування запасуючих органів – мікробульб, водночас за умісту 10–30 г/л бульбоутворення в більшості сортів відсутнє (Podhaietskyi et al., 2018).

Окрім впливу на морфогенез вегетативних органів вуглеводи спільно із фітогормонами зумовлюють ювенілізацію рослинних експлантів. Як візуальний доказ ювенілізації *in vitro* є формування ювенільних листків з простою листовою пластинкою в суниці, картоплею, ювенільною хвоєю в туї (Matskevych, 2020). Встановлено можливість збереження протягом тривалого часу ювенільного стану в умовах *in vitro* з екзогенними вуглеводами та гормонами. Так в туї понад десять років, а картоплі більше двадцяти (Podhaietskyi et al., 2018).

Серед вторинних метаболітів які мають детермінуючий вплив є групи фітогормонів: «класичні» (ауксини, цитокініни, гібереліни, абсцизини, етилен) та «нововідкриті» (жасмонати, брасиностероїди, саліцилова кислота). Фітогормони, їх синтетичні аналоги та прогормональні сполуки ефективні в малих кількостях (від сотих до декількох міліграм на літр живильного середовища) для керування онтогенезом біологічних об'єктів у біотехнологічних процесах як з науковою так і комерційною метою. Додаючи в живильне середовище екзогенних гормонів, необхідно враховувати багатовекторність їх взаємодії щодо впливу на онтогенез рослинних об'єктів.

В складі живильних середовищах найбільш поширені групи гормонів стимулюючої дії: ауксини, цитокініни та менш поширені гібереліни. Гормони інгібітори (абсцизини, етилен) рідко застосовують. Синтез регенерантами етилену може бути навіть шкодити технологічному процесу.

З відкриттям цитокінінів пов'язують початок розробки технологій масового культивування рослинних об'єктів *in vitro* (Terek & Patsula, 2011; Vedenychova & Kosakivska, 2017). Цитокініни індукують мітоз. Вони присутні в усіх мітотично активних тканинах. Хлоропласти мають власні не залежні від цитоплазми механізми синтезу ендогенних цитокінінів (Hirose et al., 2008).

Як похідні аденіну різні цитокініни близькі за структурою але їм властива нерівнозначна детермінуюча дія. Припускають, що це пов'язано з відмінностями бічного ланцюга їх молекул (Vedenychova & Kosakivska, 2017).

Після надходження в клітину цитокініни у складі гормонрецепторного комплексу проникають в ядро і стимулюють синтез РНК. Також цитокініни індукують збільшення кількості полірибосом (Terek & Patsula, 2011).

Характерною властивістю цитокінінів є проліферація значної кількості бруньок на пагоні, що є причиною зняття

апикального домінування. За переважання цитокінінів кількісно замість одного чи декількох пагонів з експланта *in vitro* з пазушних, адвентивних бруньок утворюється конгломерат порівняно з тими що утворилися за апикального домінування, дещо менших пагонів (Matskevych, 2020). Із-за зміни донорноакцепторних відносин в конгломераті коренева система або слабо розвинута або взагалі відсутня (Matskevych et al., 2018; Matskevych, 2020). Однією з причин цього є те, що цитокініни знижують активність ауксинів в коренях зокрема інгібуючи активність білків транспортерів ауксинів (Zhang et al., 2013).

Також досить важливим технологічним ефектом цитокінінів є ювенілізація експлантів, регенерантів. Завдяки цьому ювенільні рослинні об'єкти мають вищий регенераційний потенціал. Однак на етапі постсептичної адаптації ювенільні рослини із-за особливостей метаболізму, анатомічної будови, особливостей підтримання водного балансу є сприйнятливими до факторонестатичних умов (низька вологість повітря, автотрофне живлення, коливання температури тощо) (Matskevych, 2020).

Найбільші серед оптимальних концентрацій застосовують на другому етапі мікроклонального розмноження – мультиплікації. В селекційних цілях для індукції калусогенезу також застосовують високі концентрації цитокінінів сумісно з високими концентраціями ауксинів.

В технологіях розмноження *in vitro* цитокініни додають в живильні середовища в першу чергу для збільшення коефіцієнта розмноження. Однак, слід враховувати, що інтервал концентрацій між ефективним впливом і фітоксичністю є вузьким. За малої концентрації цитокініниновий ефект може бути відсутнім, а підвищення концентрації у два рази вже викликає такі ознаки як вітрифікація тканин, деформацію пагонів, відсутність ризогенезу (Matskevych, 2020; Podhaietskyi et al., 2018). На підбір оптимальної технологічно ефективної концентрації впливають окрім генотипу, фізіологічного стану рослини донорів експлантів, їх вік та кількість субкультивувань. Наприклад, концентрації які є мало-ефективними за перших субкультивувань можуть бути фітотоксичними після п'ятого-сьомого субкультивування (Matskevych, 2020). Пояснюється це здатністю цитокінінів відкладатися в рослинах про запас (Terek & Patsula, 2011). Їх уміст в донорних рослинах за вегетативного розмноження зростає з кожним наступним поколінням (Matskevych, 2020). Найбільш поширеною запасуючою формою є зв'язування цитокінінів, наприклад зеатину, з глікозидами (Vedenychova & Kosakivska, 2017). В природних умовах частина надлишку цитокінінів руйнується ферментом цитокінініоксидазою (Terek & Patsula, 2011; Vedenychova & Kosakivska, 2017).

Одним з ефективних шляхів зменшення накопичення фітотоксичності цитокінінів *in vitro* є заміна в живильному середовищі частини необхідної кількості прогормональною речовиною, наприклад аденіном (Podhaietskyi et al., 2018). Зменшується негативний вплив і заміною одного цитокініну на комбінацію з декількох представників цього класу гормонів. Так, заміна одного БАП на композицію «кінетин 20–25 % + БАП 50–75 %» забезпечувало по ряду культур вищі коефіцієнти розмноження та міні-

мальну кількість вітрифікованих культур (Matskevych, 2020; Podhaietskyi et al., 2018).

Також практичним методом зменшення фітотоксичності є підбір комбінацій червоних та синіх фотодіодів, додавання в невеликих кількостях гіберелінів. Натомість негативний вплив зростає у таких видах: підкислення середовища; використання не визрілих донорів експлантів; збільшення вище оптимальної концентрації заліза, нітрогену; дефіцит кальцію; недостатнє освітлення; скорочення фотоперіоду з 16 до 8 годин на добу; поява в культуральних ємностях в наслідок слабкої аерації етилену; загущена посадка; висока температура (Matskevych, 2020).

Серед ауксинів в природі найбільш поширена індоліл-3-оцтова кислота. Реакція рослин на ауксини залежить від хімічної будови сполуки, будови акцептора, особливостями поглинання і метаболізації (Hamburh et al., 1990). Ендогенна ІОК *in vitro* синтезується рослинними об'єктами із її екзогенних синтетичних кон'югатів та з синтетичного ауксину індол-3-масляної кислоти (ІМК) в пероксисомах в процесі окиснення (Korasick et al., 2013). Одним з шляхів синтезу ендогенної ІОК є низка перетворень амінокислоти триптофану (Terek & Patsula, 2011).

Найбільший уміст ауксинів в живильних середовищах за мікроклонального розмноження є в третьому етапі – індукція ризогенезу в регенерантів. Ауксини індують ксилемо- та коренеутворення. Переважання ауксинів над цитокинінами викликає апікальне домінування.

Підбираючи концентрації і співвідношення цитокинінів та ауксинів (цитокінінін-ауксиновий індекс) враховують правило Скуга і Мілера (Skoog & Miller, 1957). Згідно з ним за співвідношення різних концентрацій, тобто кількісним переважанням однієї групи гормонів над іншою детермінуються різні напрями детермінації рослинного організму (рис. 1):

1) у випадку відсутності обох гормонів або присутності їх в малих концентраціях відбувається утворення ембріонів;

2) калюсогенез відбувається, якщо ж концентрації гормонів обох груп є високими;

3) за переважання цитокинінів над ауксинами відбувається утворення конгломерату дрібних пагонів з одночасним пригніченням коренеутворення;

4) більша кількість ауксинів порівняно з цитокинінами стимулює коренеутворення, апікальне домінування (Terek & Patsula, 2011; Matskevych, 2020; Podhaietskyi et al., 2018; Skoog & Miller, 1957).

Порівняно з цитокинінами і ауксинами гібереліни менше застосовуються для детермінації в технологіях мікроклонального розмноження (Subin, 2015). Це такі напрями онтогенезу рослинних об'єктів:

- стимулювання видовження стебла;
- пробудження насіння, бруньок;
- індукція морфогенезу в калюсних тканинах;
- нейтралізація фітотоксичного надлишку цитокинінів

(Matskevych, 2020).

Залежно від концентрації гіберелінів в поєднанні з фітотоксичним надлишком вплив на рослину вплив буде різним. За додавання порівняно невеликих концентрацій (0,1–1,0 мг/л) фітотоксичність усунуватиметься, а у випадку більших – посилюватиметься (Podhaietskyi et al., 2018; Matskevych, 2020).

Застосування газоподібного фітогормону етилену в технологіях мікроклонального розмноження як правило не передбачається. Навпаки він детермінує процеси які не бажаними за культивування рослинних об'єктів *in vitro*. Рослинні тканини, особливо ті які старіють самі синтезують цей гормон. Властивість етилену, що він важчий за повітря в умовах складної аерації призводить до накопичення в культуральних ємностях. Він прискорює старіння організму в цілому, зокрема зупиняє ріст стебла. За не великих концентрацій стебло потовщується, бруньки входять в стан спокою. При видаленні етилену, як правило шляхом аерації, який був в не зворотно токсичних концентраціях рослини відновлювали ріст (Podhaietskyi et al., 2018; Kushnir & Sarnatska, 2005).

Також накопичення етилену є причиною зменшення в рослині гормонів стимулюючої дії: ауксинів та гіберелінів. Етилен збільшує проникність клітинних стінок і сумісно з високими концентраціями цитокинінів

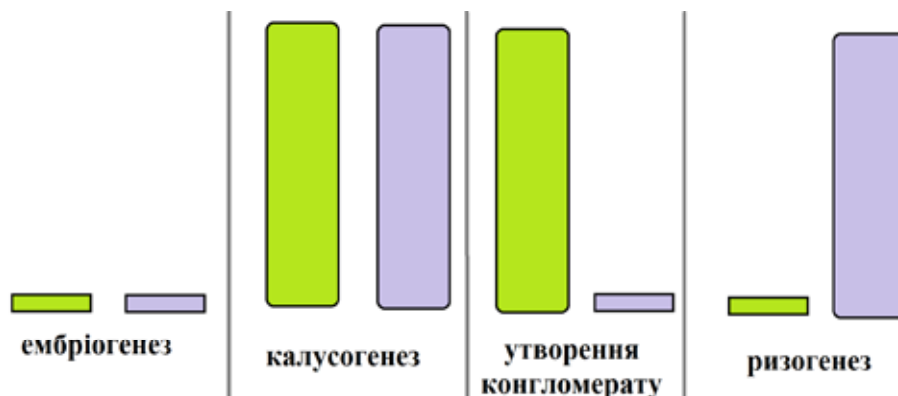


Рис. 1. Графічне зображення впливу комбінацій цитокинінів і ауксинів за Скугом і Міллером

Сформовано авторами на основі джерела (Skoog & Miller, 1957)

спричинює гіпергідратацію (Podhaietskyi et al., 2018; Matskevych, 2020; Matskevych, 2022).

Додавання етилен продуцентів в живильне середовище прискорює розвиток рослин. Так, регенеранти картоплі *in vitro* швидше формували мікробульби та завершували ріст. Проте, такі рослини, зокрема мікробульби поступалися контрольним (Podhaietskyi et al., 2018; Matskevych, 2020).

Найбільш типові прояви фітотоксичності етилену: передчасне старіння листків починаючи з базальної частини пагону. Колір листя змінюється в наступній послідовності – світло зелені хлорозні, зелено жовті, жовті, між жилками з'являються напівпрозорі ділянки; світло коричневі. Можливий листопад *in vitro*. Якщо вплив етилену на рослини донори не тривалий в їх живцегового потомства можливе регенерація цілісного але вкороченого, потовщеного організму (Matskevych, 2020).

Щоб запобігти утворенню етилену, або дезактивувати його застосовують наступні заходи: аерація культуральних ємностей та приміщень; додавання в живильне середовище інгібіторів етилену CoCl_2 та AgNO_3 , збільшення освітлювального періоду; уникання загущеної посадки (Kozai et al., 2005; Medvedieva et al., 2012; Podhaietskyi et al., 2018; Matskevych, 2020).

Склад повітря в культуральних ємностях впливає не лише синтез етилену, а й на співвідношення таких напрямів життєдіяльності рослини як типи живлення: автотрофне, гетеротрофне та міксотрофне. Зокрема, для рослин картоплі під час мікроклонального розмноження з ендогенною сахарозою і слабким газообміном встановлено, що в них наявні ювенільні листки. В рослин із достатнім без вуглеводів або з малим умістом сумісно з газообміном відбувалася втрата ювенільності. Таким чином дефіцит вихідної речовини для фотосинтезу (CO_2) із-за слабого газообміну на фоні наявності екзогенних

вуглеводів є одним із факторів підтримання ювенільності (Matskevych, 2020).

Протягом всього процесу МКР відбувається двічі адаптація та зміна детермінант рослинних об'єктів відповідно до нових умов існування:

- на етапі введення адаптація *in situ* – *in vitro*;
- постасептична адаптація *in vitro* – *ex vitro* – *in situ*.

В обох випадках змінюється фітогормональна і трофічна детермінація. В першому випадку задля ювенілізації та швидкого розмноження в пріоритеті є гормони стилуючої дії та перехід на гетеротрофне живлення. Це впливає на експресію генів перших періодів онтогенезу. Як наслідок в рослинних об'єктах життєвий цикл йде особливим шляхом з багатьма метаболічними, морфологічними та іншими відмінностями від *in situ*.

Рослини які пристосувалися до цих змін перед висадкою в закритий ґрунт, *in situ* потребують переходу на автотрофне живлення та зміни гормонального балансу (Matskevych, 2020; Podhaietskyi et al., 2020).

Для постасептичної адаптації багаторічних рослин (павловнія) (Matskevych et al., 2019) і рослин які розмножуються вегетативно запасуючими органами (наприклад, картопля, хоста) (Matskevych, 2020) успішним шляхом є «перезавантаження» гормональних та трофічних детермінант при введенні в стан спокою. Після пробудження в меристемах запускаються заново генетичні програми в яких експресія генів йде згідно нових умов.

Висновки. Для успішного проходження онтогенезу рослинних об'єктів згідно технологічних потреб мікроклонального розмноження обов'язковою є вибіркова експресія необхідних генів. Екзогенні елементи живлення та синтетичні аналоги фітогормонів є трофічними, гормональними детермінантами, що впливаючи на експресію спрямовують життєвий цикл регенерантів технологічно доцільним шляхом розвитку із низки можливих.

Бібліографічні посилання:

1. Afreen-Zobayed, F., Zobayed, S. M. A., Kubota, C., Kozai, T., & Hasegawa, O. (1999). Supporting material affects the growth and development of *in vitro* sweet potato plantlets cultured photoautotrophically. *In Vitro Cell. Dev. Biol. Plant*, 35, 470–474.
2. Andrievsky, V., Vrublevsky, A., Filipova, L., Matskevych, V., & Matskevych, O. (2019). The problems of hazelnut microclonal propagation. *Agrobiology*, 1 (149), 74–84. Access mode: <https://agrobiologiya.btsau.edu.ua/en/content/problems-hazelnut-microclonal-propagation> (in Ukrainian).
3. Bacchetta, L., Aramini, M., Bernardini, C., & Rugini, E. (2008). *In vitro* propagation of traditional Italian hazelnut cultivars as a tool for the valorization and conservation of local genetic resources. *Hortscience*, 43(2), 562–566. doi: 10.21273/HORTSCI.43.2.562
4. Bacchetta, L., Rovira, M., Tronci, C., Aramini, M., Drogoudi, P., & Silva, A. et al. (2015). A multidisciplinary approach to enhance the conservation and use of hazelnut *Corylus avellana* L. *Genet. Resour. Crop Evol.* 62, 649–663. doi: 10.1007/s10722-014-0173-7
5. Baimukhametova, E.A., & Kuluev, B.R. (2020). Darkening of plant tissues during *in vitro* cultivation and methods for its prevention. *Biotekhnologiya*, 36 (2), 26–42. doi: 10.21519/0234-2758-2020-36-2-26-42
6. Bakhtaulova, A. S., & Karipbayeva, R. K. (2020). Cytostructure of the radial parenchyma of annual shoots of wild species of Meyer's currant (*Ribes Meyeri* Maxim.). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 548 (7), art. no. 072021. doi: 10.1088/1755-1315/548/7/072021
7. Batukaev, A., Kornatskiy, S., Minkina, T., Barbashev, A., & Sushkova, S. (2019). *In vitro* microclonal propagation of strawberries and *ex vitro* adaptation. *International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM*, 19 (6.1), 737–746. Access mode: doi: 10.5593/sgem2019/6.1/S25.095
8. Batukaev, A. A., Bamatov, I. M., & Khadzhimuradova, E. A. (2018). The system of production of healthy planting material for potato under the conditions of the Chechen Republic *Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*, 10 (1), 106–109.
9. Batukaev, A. A., Sobralieva, E. A., Palaeva, D. O., & Batukaev, M. S. (2021). Improvement of the hormonal and mineral composition of nutrient media used for *in vitro* regeneration of grape plants *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 659 (1), art. no. 012086. doi: 10.1088/1755-1315/659/1/012086

10. Branzanti, B., Gianinazzi-Pearson, V., & Gianinazzi, S. (1992). Influence of phosphate fertilization on the growth and nutrient status of micropropagated apple infected with endomycorrhizal fungi during the weaning stage. *Agronomie, EDP Sciences*, 12(10), 841–845.
11. Caboche, M. (1987). Nitrogen, carbohydrate and zinc requirements for the efficient induction of shoot morphogenesis from protoplast-derived colonies of *Nicotiana glauca*. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 8, 197–206.
12. Chornobrov, O., & Bilous, S. (2021). In vitro plant regeneration of Christmas cactus (*Schlumbergera truncata* (Haw.) Moran) by indirect morphogenesis. *Folia Forestalia Polonica, Series A*, 63 (1), 68–73. doi: 10.2478/ffp-2021-0007
13. Christofi, M., Pavlou, A., Lantzouraki, D., Tsiaka, T., Myrssi, E., Zoumpoulakis, P., Haroutounian, S., Mauromoustakos, A., Biliaderis, C., & Manganaris G. (2022). Profiling carotenoid and phenolic compounds in fresh and canned fruit of peach cultivars: Impact of genotype and canning on their concentration. *Journal of Food Composition and Analysis*. 114. doi: 10.1016/j.jfca.2022.104734
14. Damiano, C., Caternaro, J., Giovanazzi, J., Fratarelli, A., & Caboni, E. (2005). Micropropagation of hazelnut (*Corylus avellana* L.). *Acta Hort.* 686(1): 221–226.
15. Danilova, E. D., Medvedeva, Y. V., & Efimova, M. V. (2018). The effect of chloride salinity on growth and physiological processes in mid-ripening varieties of *Solanum tuberosum* plants. *Vestnik Tomskogo Gosudarstvennogo Universiteta, Biologiya*, (44), pp. 158–171. doi: 10.17223/19988591/44/9
16. Demidenko, E., Gukov, G., & Berseneva, S. (2019). Phytopathogenic mycobiota of the Far Eastern species of the genus *Aristolochia* L. in the culture in vitro. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 395 (1), art. no. 012030. doi: 10.1088/1755-1315/395/1/012030.
17. Demidenko, E.N., Egorova, L.N., Gafitskaya, I.V., & Nakonechnaya, O.V. (2019). Phytopathogenic micromycetes on the explants of the *aristolochia manshuriensis*, *A. contorta*, and *A. clematitis* in vitro. *Mikologiya i Fitopatologiya*, 53 (6), 379–383. doi: 10.1134/S0026364819060059
18. Desjardins, Y., Hdider C., & Riek, J. (1995). Carbon nutrient in vitro regulation and manipulation of carbon assimilation in micropropagation system. In: Aitken-Christie, J.; Kozai, T.; Smith, & M. A. L., eds. *Automation and environmental control in plant tissue*. Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 441–465.
19. Drobyk, N. M., Hrytsak, L. R., Mel'Nyk, V. M., Kravets, N. B., Konvalyuk, I. I., Twardovska, M. O., & Kunakh, V. A. (2015). In vitro manipulation and propagation of gentiana I. Species from the ukrainian flora. *The Gentianaceae*. Vol. 2: *Biotechnology and Applications*, 45–79. doi: 10.1007/978-3-642-54102-5_2
20. Dubetska, M. (2020). Almond : restoration of powerful roots. *Horticulture and viticulture. Technologies and innovations*. 3 (22), 90–93. (in Ukrainian).
21. Dzerina, B., Sisenis, L., Neimane, U., Baumanis, I., & Kapostins, R. (2017). Intra-annual height growth of silver birch (*Betula pendula*) in latvia. *International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining. Ecology Management, SGEM*, 17 (33), pp. 593-600. doi: 10.5593/sgem2017H/33/S14.074
22. Erst, A. A., Zhelezniuchenko, T. V., Novikova, T. I., Dorogina, O. V., & Banaev, E.V. (2014). Ecological and geographic variability of *Hedysarum theinum* and features of its propagation in vitro. *Contemporary Problems of Ecology*, 7 (1), 67. doi: 10.1134/S1995425514010053
23. Erturk, H., & Walker, P. N. (2000). Effect of light, carbon dioxide, and hormone levels on transformation to photoautotrophic of sugarcane shoots in micropropagation. *Trans*, 43, 147–151.
24. Filipova, L. M., Matskevych, V. V., Karpuk, L. M., & Pavlichenko, A. A. (2021). Peculiarities of assimilation of macroelements on acidic soil [Osoblyvosti zasvoiennia makroelementiv na kyslomu grunti]. «Innovative technologies in agronomy, land management, electric power, forestry and horticulture»: materials of the international scientific and practical conference, October 21, 2021. Bila Tserkva National University of Science and Technology. 16–18 (in Ukrainian).
25. Filipova, L. M., Matskevych, V. V., & Matskevych, O. V. (2020). Prospects of almond reproduction in vitro. *Agrarian education and science: achievements and development prospects: «Innovative technologies in agronomy, land management, forestry and horticulture»* (Bila Tserkva, October 30, 2020). Bila Tserkva: BNAU, 26–28.
26. Filipova, L. M., Matskevych, V.V., Karpuk, L.M., Stadnyk, A.P., Andriievsky, V.V., Vrublevsky, A.T., Krupa, N.M. & Pavlichenko, A.A. (2019). Features of Rooting *Paulownia* in vitro. *Egypt.J.Chem.* 72nd. 57–63 (in Ukrainian).
27. Filipova, L., & Matskevych, V. (2013). Formation of phenolic substances by regenerants during the first subcultivations concerning the conditions and plant species. *Journal of Lviv National Environmental University: agronomy*. 17(2), 233–239 (in Ukrainian).
28. Fokina, A.V., Satarova, T.M., Smetanin, V.T., & Kucenko, N.I. (2018). Optimization of microclonal propagation in vitro of oregano (*Origanum vulgare*) [Оптимізація мікроклонального розмноження in vitro материнки звичайної (*Origanum vulgare*)]. *Biosystems Diversity*, 26 (2), 98–102. doi: 10.15421/011815
29. Gafitskaya, I.V., Orlovskaya, I.Y., Nakonechnaya, O.V., & Nesterova, S.V. (2020). Microclonal propagation of *dasiphora fruticosa* (Rosaceae). *Botanica Pacifica*, 9 (1), 85–90. doi: 10.17581/BP.2020.09112
30. Gammoudi, N., Nagaz, K., & Ferchichi, A. (2022). Establishment of optimized in vitro disinfection protocol of *Pistacia vera* L. explants mediated a computational approach: multilayer perceptron–multi-objective genetic algorithm. *BMC Plant Biol.* 22, 324 (2022). doi: 10.1186/s12870-022-03674-x
31. Hamburh, K. Z., Rekoslavskaja, N. Y., & Shvetsov, S. H. (1990). *Auksiny v kulturah tkanej i kletok rastenij Auksiny v kulturah tkanej i kletok rastenij: [Auxins in plant tissue and cell cultures Auxins in plant tissue and cell cultures]* monograph. USSR Academy of Sciences. Siberian Branch, Siberian Institute of Plant Physiology and Biochemistry. Novosibirsk: Science, Siberian Branch, 243 (in Russian).
32. Hand C., Maki, S., & Reed B. (2014). Modeling optimal mineral nutrition for hazelnut micropropagation. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*. 119, 411–425. doi: 10.1007/s11240-014-0544-y
33. Hirose, N., Takei, K., & Kuroha, T. et al. (2008). Regulation of cytokinin biosynthesis, compartmentalization and translocation. *J. Exp. Bot.* 59 (1), 75–83.

34. Horodnii, M. M., Bikin, O. V., & Nahaiivska, L. M. (2003). *Agrochemistry: textbook [Ahrokhimiia : pidruchnyk]*. Kyiv, Aleph. 786 (in Ukrainian).
35. Inisheva, L. I., Rozhanskaya, O. A., & Larina, G. V. (2019). Characteristics of horny alтай peats and their biological activity in plant tissue culture *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, (3), 261–268. Access mode: doi: 10.14258/jcpm.2019035132
36. International Forestry Forum «Forest Ecosystems as Global Resource of the Biosphere: Calls, Threats, Solutions». (2020). IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 595 (1), 580.
37. Ishchuk, H., Shlapak, V., Ishchuk, L., Bayura, O., & Kurka, S. (2021). The introduced North American species of the genus *Juglans* L. in the Right-bank forest-steppe of Ukraine and their use. *Trakya University Journal of Natural Sciences*. 22(1), 77–92. Access mode: <http://lib.udau.edu.ua/handle/123456789/8090>
38. Ivashchuk, O. A., Fedorov, V. I., Shcherbinina, N. V., Maslova, E. V., Shamraeva, E. O., & Zhuravlev, M. D. (2018). Microclonal propagation of plant process modeling and optimization of its parameters based on neural network. *Drug Invention Today*, 10 (Special Issue 3), 3170–3175.
39. Karpuk, L. M., Vrublevskiy, A. T., Matskevych, V. V., Filipova, L. M., & Pavlichenko, A. A. (2022). Features of cultivation of cell suspensions of different hazelnut and walnut genotypes [Osoblyvosti kultyvuvannia klitynnykh suspenzii riznykh henotypiv funduka ta horikha hretskoho]. Breeding, genetics and technologies of growing agricultural crops: materials of the 10th international scientific and practical conference of young scientists and specialists (Tsentralne village, April 29, 2022). NAAS, MIP named after V.M. Crafts, Ministry of Agrarian Policy and Food of Ukraine, Institute of Expertise of Plant Varieties. 48. (in Ukrainian).
40. Kester, D.E., Tabachnik, L. & Negueroles, J. (1977). Use of micropropagation and tissue culture to investigate genetic disorders in almond cultivars. *Acta Hortic*, 78, 95–102. doi: 10.17660/ActaHortic.1977.78.10
41. Khoma, Y., Khudolieieva, L., Rasydov, N., & Kutsokon, N. (2022). In vitro culture initiation and regeneration of two highly productive clones of poplar. *Nova Biotechnologica et Chimica*, 21 (1), art. no. e1089. doi: 10.36547/nbc.1089.
42. Kim, I., Barsukova, E., Fisenko, P., Chekushkina, T., Chibizova, A., Volkov, D., & Klykov, A. (2020). Applying methods of replication and recovery of potato microplants (*Solanum tuberosum* L.) in seed production. *E3S Web of Conferences*, 203, art. no. 02003. doi: 10.1051/e3sconf/202020302003
43. Kim, J., Mahoney, N., Chan, K., Molyneux, R., & Campbell, B. (2006). Controlling food-contaminating fungi by targeting their antioxidative stress-response system with natural phenolic compounds. *Appl Microbiol Biotechnol*. 70(6): 735–739. Access mode: <https://doi.org/10.1007/s00253-005-0123-6>
44. Korasick, David, A., Tara, A. Enders, & Lucia C. Strader. (2013). Auxin biosynthesis and storage forms. *Journal of experimental botany* 64.9, 2541–2555.
45. Kozai, T. (1988). Multiplication of potato plantlets in vitro with sugar free medium under high photosynthetic photon flux. *Acta Horticulturae*. 230, 121–127. doi: 10.17660/ActaHortic.1988.230.12
46. Kozai, T., Afreen, F., & Zobayed, S.M.A. (2005). Photoautotrophic (sugar-free medium) Micropropagation as a New Micropropagation and Transplant Production System, 316.
47. Kozai, T., & Kubota, C. (2005). In vitro aerial environmental and their effects on growth and development of plants. In proceedings "Photoautotrophic (sugar-free medium) Micropropagation as a New Micropropagation and Transplant Production System", 31–52. doi: 10.1007/1-4020-3126-2
48. Kunakh V. A. (2005). *Biotechnology of medicinal plants. Genetic and physiological and biochemical bases [Biotekhnolohiia likarskykh roslyn. Henetychni ta fiziolohe-biokhimichni osnovy]*. Kyiv, Logos. 730 p. (in Ukrainian).
49. Kushnir, H. P., & Sarnatska, V. V. (2005). *Mikroklonalne rozmnozhenia roslyn, teoriia i praktyka [Microclonal propagation of plants, theory and practice]*. K., Scientific opinion, 270 (in Ukrainian).
50. Lan, P., Li, W., & Fischer, R. (2006). *Arabidopsis thaliana* wild type, *pho1*, and *pho2* mutant plants different responses to exogenous cytokinins. *Plant Physiol. Biochem*. 44, 343–350.
51. Legkobit, M. P., & Khadeeva, N.V. (2004). Variation and morphogenetic characteristics of different *Stachys* species during microclonal propagation. *Genetika*, 40 (7), 916–924.
52. Legkobit, M. P., & Khadeeva, N. V. (2004). Variation and morphogenetic characteristics of different *stachys* species during microclonal propagation. *Russian Journal of Genetics*, 40 (7), 743–750. doi: 10.1023/B
53. Levchyk, N., Skrypchenko, N., Dziuba, O., Gajdosova, A., Liubinska, A., & Zaimenko, N. (2022). Features of morphogenesis of *Actinidia arguta* leaf tissues at microclonal propagation. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*, 12(1), e4667. doi: 10.55251/jmbfs.4667
54. Lomtadze, N., Alasania, N., Gorgiladze, L., Meladze, R. (2018). Production of sapling material of blueberry in in vitro culture. *Bulletin of the Georgian National Academy of Sciences*, 12 (2), 138–144.
55. Maistrenko, G. G., & Krasnoborov, I. M. (2009). Microclonal propagation and biological features of *Scrophularia umbrosa* dumort. Cultured in vitro. *Contemporary Problems of Ecology*, 2 (6), 501–505. doi: 10.1134/S1995425509060010.
56. Matskevych, N. O., Pustovit, O. S., Vlasenko, M. Yu., & Matskevych, V. V. (2007). Peculiarities of individual potato development during clonal micropropagation [Osoblyvosti individualnoho rozvytku kartopli pry klonalnomu mikrorozmnozheni]. *Bulletin of Bila Tserkva State Agrarian University*. 46. 27–31 (in Ukrainian).
57. Matskevych, O. V., Filipova, L. M., Matskevych, V. V., & Andriievskiy, V. V. (2019). *Pavlovniiia [Paulownia]: scientific and practical manual*. Bila Tserkva: Bila Tserkva National Agrarian University, 80 (in Ukrainian).
58. Matskevych, O. V., Prykhoda, N. Iu., Mykhailiuk, N. Iu., Matskevych, V. V. (2022). Features of mineral and air nutrition of hazelnuts. *Agrarian education and science: achievements and development prospects: materials of the 3rd International Scientific and Practical Conference (Bila Tserkva, March 30–31, 2022)*. Bila Tserkva: BNAU, 65–67.
59. Matskevych, O., Kimeichuk, I., Matskevych, V., Karpuk, L. (2022). Microclonal propagation of hazelnuts. *Bulletine of Uman NUH*. 1: 105–114. doi: 10.31395/2310-0478-2022-1-105-114 (in Ukrainian).

60. Matskevych, V. V. (2020). Mikroklonalne rozmnozhenia vydiv roslyn in vitro ta yikh postaseptychna adaptatsiia. Kvalifikatsiina naukova pratsia na pravakh rukopysu. Dysertatsiia na zdobuttia naukovoho stupenia doktora silskohospodarskykh nauk za spetsialnistiu 06.01.05 – «seleksiia i nasinnytstvo [Microclonal propagation of plant species in vitro and their post-septic adaptation. Qualifying scientific work on the rights of the manuscript. The dissertation on competition of a scientific degree of the doctor of agricultural sciences on a specialty 06.01.05 – «selection and seed production]. Sumy National Agrarian University of the Ministry of Education and Science of Ukraine, Sumy, 478 (in Ukrainian).
61. Matskevych, V. V., & Chechitko, I. P. (2003). Application of «one-node culture» as an element of resource-saving technology for obtaining microtubers in vitro [Zastosuvannia «kultury odnogo vuzla» yak elementu resursozberihaiuchoi tekhnologii oderzhannia mikrobulb in vitro]. *Potato farming*. 32, 113–117. (in Ukrainian).
62. Matskevych, V. V., Filipova, L. M., & Andriievskiy, V. V. (2015). Photoautotrophic method of microclonal propagation of blackberry [Fotoavtotrofnyi metod mikroklonalnogo rozmnozhenia ozhyiny]. Abstracts of reports of the State scientific and practical conference «Modern agrobiotechnologies and land management in Ukraine» on November 19, 2015 (Bila Tserkva), 8–9 (in Ukrainian).
63. Matskevych, V. V., Filipova, L. M., & Oleshko, O. H. (2022). Fiziologhiia i biotekhnologhiia roslyn [Physiology and biotechnology of plants]. Bila Tserkva, BNAU, 602 (in Ukrainian).
64. Matskevych, V. V., Filipova, L. M., Karpuk, L. M., & Titarenko, V. O. (2022). Biotechnological methods in nursery and breeding of paulownia [Biotekhnologichni metody u rozsadnytstvi ta selektsii pavlovnii]. *The Scientific Heritage*. 83-2. Access mode: <https://cyberleninka.ru/article/n/biotekhnologichni-metodi-u-rozsadnytstvi-ta-selektsiyi-pavlovniiyi> (date of application: 26.08.2022). (in Ukrainian).
65. Matskevych, V.V., Taran O. P., & Reshetnyk H. V. (2013). Polymorphism of leaves and the formation of assimilating organs in potato plants in vitro depending on the content of carbohydrates in the nutrient medium [Polimorfizm lystkiv ta formuvannia asimiluiuchykh orhaniv u roslyn kartopli in vitro v zalezhnosti vid vmistu vuhlevodiv u pozhyvnomu seredovyshchi]. *Potato production of Ukraine: Scientific and production journal*. 3/4, 17–26 (in Ukrainian).
66. Medvedieva, T. V., Triapitsyna, N. V., & Riabyi, V. Ia. (2012). Vplyv heleutovoriuvachiv ta inhibitoriv etylenu na kultyvuvannia pidshchepy vyshni Hizela 5 v umovakh in vitro [The effect of gelling agents and ethylene inhibitors on the cultivation of Gisela 5 cherry rootstock in vitro]. *Bulletin of agricultural science*, 43–45.
67. Melnychuk, M. D., Novak, T. V., & Kunakh, V. A. (2003). *Biotechnologhiia roslyn [Biotechnology of plants] : textbook*. K., Poligrafconsulting, 520 (in Ukrainian).
68. Mikhovich, Zh. E., & Teteryuk, L. V. (2020). In vitro culture of the ural endemic gypsophila uralensis less. (Caryophyllaceae) [Введення в культуру in vitro ендеміка урала gypsophila uralensis less. (Caryophyllaceae)]. *Turczaninowia*, 23 (3), 29–35. doi: 10.14258/TURCZANINOWIA.23.3.4
69. Musiienko, M. M. (2005). *Fiziologhiia roslyn [Physiology of plants]: textbook*. K., Lybid, 808 (in Ukrainian).
70. Nakonechnaya, O. V., Gafitskaya, I. V., Burkovskaya, E. V., Khrolenko, Y. A., Grishchenko, O. V., Zhuravlev, Y. N., Subbotin, E. P., & Kulchin, Y. N. (2019). Effect of Light Intensity on the Morphogenesis of Stevia rebaudiana under In Vitro Conditions. *Russian Journal of Plant Physiology*, 66 (4), 656–663. doi: 10.1134/S1021443719040095
71. Nas, M. N., Yüksel, B. & Sevgin, N. (2013). Shortcut to long-distance developing of a tissue culture medium: micropropagation of mature almond cultivars as a case study. *Turkish Journal of Botany*. 37(6), 1134–1144.
72. Petrova, G. A., Yatmanova, N. M., Mukhametshina, A.R., Musin, H. G., & Akhmetov, A. Y. (2021). Microclonal reproduction of common aspen (*Populus tremula* L.) genotypes in the Republic of Tatarstan IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 935 (1), art. no. 012003. doi: 10.1088/1755-1315/935/1/012003
73. Pianova, A. S., Salokhin, A. V., & Sabutski, Yu. E. (2021). In vitro propagation and conservation of *Leontopodium palibinianum* Beauverd (Asteraceae), endemic species of Primorye Territory *Turczaninowia*, 24 (4), 108–113. doi: 10.14258/TURCZANINOWIA.24.4.10
74. Podhaietskiy, A. A., Matskevych, V. V., Filipova, L. M., & Kravchenko, N. V. (2020). Exogenous determinants of growth of Pavlovnia regenerant in vitro. *The scientific heritage*. 2. 53 (53), 5–15.
75. Podhaietskiy, A. A., Matskevych, V. V., Filipova, L. M., Skripchenko, N. V., & Kravchenko, N. V. (2020). Trophic and hormonal determinants of ontogenesis *Actinia chenensis* var. *deliciosa* (A. Chev.) in vitro at the cultivation stage: *East European Science Journal*. 10(62), 17–24.
76. Podhaietskiy, A. A., Matskevych, V. V., Filipova, L. M., & Kravchenko, N. V. (2020). Problemy postaseptychnoi adaptatsii roslyn [Problems of postaseptic adaptation of plants]. VII International Scientific and Practical Conference «Dynamics of the development of word Science». 18–20 March, Wankuwer, Kanada, 662–675.
77. Podhaietskiy, A. A., Matskevych, V. V., & Podhaietskiy, A. An. (2018). Osoblyvosti mikroklonalnogo rozmnozhenia vydiv roslyn [Peculiarities of microclonal reproduction of plant species]: monohrafiia. Bila Tserkva : BNAU, 209 (in Ukrainian).
78. Podhaietskiy, A. A., Matskevych, V. V., Filipova, L. M., Kravchenko, N. V., & Hnitetskiy M. O. (2020). Adaptivnist roslyn na etapi in vitro-ex vitro [Adaptability of plants at the in vitro-ex vitro stage]. *East European Science Journal*. 4(56). Part 2, 25–33.
79. Podhaietskiy, A. A., Matskevych, V. V., Filipova, L. M., Skrypchenko, N. V., & Kravchenko, N. V. (2020). Trofichni ta hormonalni determnanty ontogenezu *Actinidia chinensis* var. *deliciosa* (a.Chev.) in vitro na etapi multiplykatsii [Trophic and hormonal determinants of the ontogenesis of *Actinidia chinensis* var. *deliciosa* (a.Chev.) in vitro at the stage of multiplication]. *East European Scientific Journal* 10(62), part 1, 17–24 (in Ukrainian).
80. Popov, V. M., Dolhova, T. A., & Lymanska, S. V. (2020). *Genomics: education. manual etc.* [Henomika: navch. posib. ta in.]. Kharkiv. 104. (in Ukrainian).
81. Premkumar, A., Mercado, J. A., & Quesada, M. A. (2001). Effects of in vitro tissue culture conditions and acclimatization on the contents of Rubisco, leaf soluble proteins, photosynthetic pigments, and C/N ratio, *Journal of Plant Physiology*, 158, 7, 835–840. doi: 10.1078/0176-1617-00214

82. Pushkarova, N. O., Lakhneko, O. R., Belokurova, V. B., Morgun, B. V., & Kuchuk, M. V. (2018). Peculiarities of Regeneration and Genetic Variability of *Crambe koktebelica* and *Crambe tataria*. *Plants in vitro. Cytology and Genetics*, 52 (4), 269–275. doi: 10.3103/S0095452718040096
83. Pushkarova, N. O., Lakhneko, O. R., Morgun, B. V., Kuchuk, M. V., Blume, Y. B., & Yemets, A. I. (2019). *Crambe aspera* plants in vitro propagation and its effect on fatty acids and phenolic compounds content and genome stability. *Biopolymers and Cell*, 35(2), 118–128. doi: 10.7124/bc.00099D
84. Samarina, L.S., Malyarovskaya, V.I., Rogozhina, E.V., & Malyukova, L.S. (2017). Endophytes, as promoters of in vitro plant growth. *Sel'skokhozyaistvennaya Biologiya*, 52 (5), 917–927. doi: 10.15389/agrobiology.2017.5.917eng.
85. Santos, A. M., Oliver, M. J., Sánchez, A. M., Payton, P. R., Gomes, J. P., Miguel, C., & Oliveira, M. M. (2009). An integrated strategy to identify key genes in almond adventitious shoot regeneration, *Journal of Experimental Botany*, Volume 60, Issue 14, October 2009, 4159–4173, doi: 10.1093/jxb/erp250
86. Shmykova, N. A., Suprunova, T. P., & Pivovarov, V. F. (2015). Biotechnologies and molecular methods in vegetable crop breeding (to 95th Anniversary of VNIISOK). *Sel'skokhozyaistvennaya Biologiya*, 50 (5), 561–570. doi: 10.15389/agrobiology.2015.5.561eng
87. Shyta, O. P., Filipova, L. M., & Matskevych, V. V. (2021). Determinants of ontogeny of *Prunus Dulcis* in vitro [Determinanty ontogenezu *Prunus Dulcis* in vitro]. Actual problems, ways and prospects of the development of landscape architecture, horticulture, urban ecology and phytoremediation: materials of the international scientific and practical conference (Bila Tserkva, September 16–17, 2021). BNAU, Bila Tserkva, 2021, 69–71 (in Ukrainian).
88. Skoog, F., & Miller, C.O. (1957). Chemical regulation of growth and organ formation plant tissues cultured *in vitro*. *Symp. Soc. Exp. Biol.* 11, 118–130.
89. Stadnyk, A. P., Filipova, L. M., & Matskevych, V. V. (2014). Ekologichni osoblyvosti trofichnoi ta hormonalnoi determinatsii ryzohenezu in vitro rehenerantiv khosty [Ecological features of trophic and hormonal determination of rhizogenesis in vitro of hosta regenerants]. *Agroecological journal*, 3, 75–80 (in Ukrainian).
90. Subin, O. V. (2015). Microclonal propagation of strawberry (*Fragaria Ananassa* Duch.) Alina sort in culture *in vitro*. *Scientific journal «Biological systems: theory and innovations», [S.I.]*, n. 214, 281–288.
91. Tavares, A. R., Kanashiro, S., Ribeiro, R. C. S., Gonçalves, A. N. & Jocy, T. (2015). Effect of phosphorus on *in vitro* growth and development of *Bromeliad aechmea blanchetiana*. *Acta Hortic.* 1083, 241–248. doi: 10.17660/ActaHortic.2015.1083.29
92. Terek, O. I., & Patsula, O. I. (2011). Rist i rozvytok roslyn: [Growth and development of plants] navch. posibnyk. Lviv : LNU imeni Ivana Franka, 328. (in Ukrainian).
93. Tkachenko, O. V., Evseeva, N. V., Boikova, N. V., Matora, L. Y., Burygin, G. L., Lobachev, Y. V., & Shchyogolev, S.Y. (2015). Improved potato microclonal reproduction with the plant growth-promoting rhizobacteria *Azospirillum*. *Agronomy for Sustainable Development*, 35 (3), 1167–1174. Access mode: doi: 10.1007/s13593-015-0304-3
94. Vedenychova, N. P., & Kosakivska, I. V. (2017). Tsytokininy yak rehuliatory ontogenezu roslyn za riznykh umov zrostannia [Cytokinins as regulators of plant ontogenesis under different growth conditions]. *Our format*, Kyiv, 200 (in Ukrainian).
95. Vlasenko, M. Iu., Veliaminova-Zernova, L. D., & Matskevych, V. V. (2006). *Fiziologhiia roslyn z osnovamy biotekhnologii: [Physiology of plants with the basics of biotechnology] textbook*. Bila Tserkva, 504 (in Ukrainian).
96. Woodward, A. J. (1995). The optimisation of nitrogen content for micropropagation of *eucalyptus marginata*. Access mode: https://ro.ecu.edu.au/theses_hons/286
97. Zakharova, O., Kolesnikova, E., Kolesnikov, E., Yevtushenko, N., Morkovin, V., & Gusev, A. (2020). CuO nanoparticles effects on poplar*aspen hybrid clones at various stages of microclonal propagation. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 595 (1), art. no. 012001. doi: 10.1088/1755-1315/595/1/012001
98. Zakharova, O., Vasyukova, I., Strekalova, N., & Gusev, A. (2019). Effects of silver nanoparticles on morphometric parameters of hairy birch (*Betula pubescens*) at various stages of micro cloning. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 392 (1), art. no. 012024. doi: 10.1088/1755-1315/392/1/012024
99. Zarrabeitia, Aintzane & Lejarcegui, Xabier & Veramendi, Jon & Mingo-Castel, Angel. (1997). Influence of nitrogen supply on micropropagation and subsequent microtuberization of four potato cullwars. *American Potato Journal*. 74, 369–378. doi: 10.1007/BF02852776
100. Zhang, W., Swarup, R., Bennet, M., Schaller, G. E., & Kieber, J. J. (2013). Cytokinin induces cell division in the quiescent center of the *Arabidopsis* root apical meristem. *Curr. Biol.* 23, 19779–1989.
101. Zhuzhzhhalova, T. P., Kolesnikova, E. O., Vasilchenko, E. N., & Cherkasova, N. N. (2020). Biotechnological methods as a tool for efficient sugar beet breeding. *Vavilovskii Zhurnal Genetiki i Selektcii*, 24 (1), 40–47. doi: 10.18699/VJ20.593

Matskevych O.V., Master's student National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

Kimeichuk I.V., Assistant, Bila Tserkva National Agrarian University, Bila Tserkva, Ukraine

Matskevych V.V., Doctor (Agricultural Sciences), Associate Professor, Bila Tserkva National Agrarian University, Bila Tserkva, Ukraine

Pavlichenko A.A. PhD (Agricultural Sciences), Associate Professor, Bila Tserkva National Agrarian University, Bila Tserkva, Ukraine

Trophic and phytohormonal determinants of ontogenesis in vitro

The purpose of this article is to establish trophic and phytohormonal determinants of ontogenesis in vitro. Microclonal reproduction as a biotechnological process involves the use of plant objects: explants, regenerants, donor plants. In each of these objects, at the level of nucleic acids, genetic information about the ontogenesis of a whole organism is recorded in situ. To direct the life cycle of objects according to technological or scientific needs, physical, trophic and phytohormonal determinants are used. Under the influence of determinants, gene expression occurs selectively in meristem and other tissues. Thanks to this, development takes place along a certain path with the limitation of others. During in vitro reproduction, plant organisms undergo double reformatting of determinants. The first time, it happens during introduction to aseptic conditions, and the second – during post-aseptic adaptation. Among the trophic determinants, the main ones are mineral components and synthetic carbohydrates added to artificial nutrient media. The influence of macro- and microelements during microclonal reproduction, as well as under normal conditions, is subject to the laws of nutrition: autotrophy of plant organisms; the minimum; the maximum. Mineral elements affect the ontogenesis of regenerants not only through their quantitative content, but also their form, acidity of the solution, interaction with other components of the environment. Exogenous carbohydrates, the process of synthesis of endogenous carbohydrates is also a determining factor. In particular, there is an effect on rhizogenesis and the formation of storage organs. With a high content of carbohydrates in the environment, regenerants develop according to the mixotrophic type of nutrition with the dominance of the heterotrophic fate. It is heterotrophic nutrition in combination with stimulating phytohormones and a low carbon dioxide content that is the basis of the rejuvenation of plant objects. One of the visual signs of youth is the simple shape of leaf plates, needles. Among the determinants with phytohormonal activity, synthetic analogues of hormones are the most common, with predominance according to the Skoog and Miller rule at different stages: at the stage of cytokinin multiplication; at the stage of rhizogenesis – postaseptic adaptation of auxin. Cytokinins have a phytotoxic effect that can accumulate and be transmitted from generation to generation. Its manifestation consists in hyperhydration of tissues, weak or absent rhizogenesis, loss during subcultivation of regeneration potential. To improve the restart of the determinant system, it is effective to introduce regenerants into a state of rest. In this case, meristems form a system of determinants that is appropriate for new, postaseptic conditions.

Key words: *determinants, trophic determination, phytohormones, nutrients, mineral nutrients, cytokinins, auxins.*

АНАЛІЗ ВМІСТУ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ У ВОДІ ТА М'ЯЗАХ КАРАСЯ СРІБЛЯСТОГО (*CARASSIUS GIBELIO*) РІЧКИ САМАРА ДНІПРОПЕТРОВСЬКОЇ ОБЛАСТІ

Машкова Кристина Андріївна

аспірант

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара,

м. Дніпро, Україна

ORCID: 0000-0002-2986-4895

Tonks1511@gmail.com

Шарамок Тетяна Сергіївна

кандидат сільськогосподарських наук, доцент

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара,

м. Дніпро, Україна

ORCID: 0000-0003-3523-5283

sharamok@i.ua

В роботі висвітлено результати дослідження вмісту важких металів у воді р. Самара та у м'язах карася сріблястого як індикатора придатності водойми для рибогосподарської діяльності. Метою роботи було порівняти вміст важких металів у м'язах шестирічних особин карася сріблястого р. Самара та проаналізувати його взаємозв'язок з рівнем вмісту даних металів у воді.

Басейн р. Самара екологічно є одним з найбільш напружених районів Дніпропетровської області. Високий рівень техногенного навантаження протягом тривалого часу викликав виснаження екосистеми водойми. Дослідження проводили в межах трьох точок з різним типом антропогенного навантаження. Перша точка – с. Хащове, де основним забруднювачем є сільськогосподарське підприємство. Друга точка – в межах м. Новомосковськ, де окрім житлово-комунальних служб забруднювачами є промислові підприємства та заклади відпочинку. В якості третьої дослідної точки було обрано ділянку поблизу с. Новоселівка, де розташовано два рекреаційні заклади.

*Влітку 2019 року проводиться синхронний відбір проб води та риб. Об'єктом дослідження були шестирічні особини обох статей карася сріблястого (*Carassius gibelio*). Показники вмісту важких металів (свинцю, кадмію, цинку, міді, марганцю, нікелю та заліза) у воді р. Самара та м'язах карася сріблястого визначалися в акредитованих лабораторіях відповідно до загальноприйнятих методик методом атомно-абсорбційної спектрофотометрії на спектрофотометрі С 115 М1. Для визначення рівня біоаккумуляції досліджуваних елементів обчислювали коефіцієнт накопичення важких металів в організмі риби. Аналіз результатів дослідження показав, що вода р. Самара відповідає СОУ-2006 для води рибогосподарського призначення майже за всіма показниками, окрім вмісту кадмію, міді та нікелю. За показником вмісту у воді цинку перевищення ГДК спостерігається лише у межах м. Новомосковськ, що можна пояснити інтенсивним розвитком промислової інфраструктури. Вміст важких металів у м'язах карася не виходив за межі норми.*

Ключові слова: важкі метали, карась сріблястий, коефіцієнт накопичення важких металів.

DOI <https://doi.org/10.32845/agrobio.2022.2.17>

Вступ. Сьогодні в Україні ми спостерігаємо за скороченням кількості річок та руйнуванням їх екосистем внаслідок антропогенного впливу. Малі річки є початковою ланкою річкової мережі, і всі зміни у їх режимі відображаються на водних організмах не лише вихідної гідроєкосистеми, але й на водоймах, які вони живлять. Серед забруднюючих речовин техногенної природи особливо виділяються важкі метали, кількість яких у водних екосистемах постійно зростає через нераціональне природокористування (Halina et al., 2021).

Деякі важкі метали в організмі риб є регуляторами багатьох фізіологічних та біохімічних процесів. Проте, певні елементи при потрапленні у водойми, є дуже токсичними для гідробіонтів (Khomenchuk et al., 2021). Відомо, що важким металам властива здатність до акумуляції в організмі риб (Syniaieva, 2016). Підвищення концентрації металів у водоймі призводить до високого рівня їх накопичення в організмі гідробіонтів. Збільшення ступеня

концентрації металів в органах та тканинах призводить до зміни процесів синтезу макромолекул, функціонування ферментативних систем (Khomenchuk et al., 2021).

Оскільки риби займають верхній рівень у ланцюгу живлення водних екосистем, вони здатні накопичувати важкі метали. Про екологічний стан водойми та її придатність до рибогосподарської діяльності можна судити за вмістом важких металів у тканинах та органах риб, адже відомо, що дані показники залежать від їх вмісту у воді. Окрім того, зниження якості води у водоймі негативно впливає на вгодованість, розмноження та чисельність популяції (Melnyk, 2012).

Метою нашої роботи було порівняти рівень вмісту важких металів у тканинах шестирічних особин карася сріблястого р. Самара Дніпропетровської області та проаналізувати його взаємозв'язок з рівнем вмісту даних металів у воді.

Матеріали і методи досліджень. Річка Самара є лівим притоком головної водної артерії України – річки Дніпро. В межах Дніпропетровської області вона має сильно роз-

галужене русло із численними заплавами та старицями. У нижній частині своєї течії річка переходить в Самарську затоку, що є частиною Дніпровського водосховища і пов'язує її з р. Дніпро (Mashkova & Sharamok, 2019).

Басейн Самари екологічно є одним з найбільш напружених районів області (рис. 1). Високий рівень техногенного навантаження протягом тривалого часу викликав виснаження екосистеми водойми. Вздовж всієї течії річки у неї скидають зворотні води численні підприємства різних напрямків промисловості, в тому числі гірничо-добувної, металургійної та сільськогосподарської галузей. В результаті, для Самари характерними є високий рівень мінералізації, а також перевищення ГДК за такими показниками як вміст хлоридів, сульфатів, зв'язаних речовин, заліза (Maksymova & Shevchenko, 2020).

Для дослідження було обрано три точки з різним рівнем антропогенного навантаження. Перша точка – с. Хащове, де основним забруднювачем є сільськогосподарське підприємство. Друга точка – в межах м. Новомосковськ, де окрім житлово-комунальних служб забруднювачами є промислові підприємства та заклади відпочинку. В якості третьої дослідної точки було обрано ділянку поблизу с. Новоселівка, де розташовано два рекреаційні заклади.

Влітку 2019 року проводився синхронний відбір проб води та риби. Об'єктом дослідження були шестирічні особини обох статей карася сріблястого (*Carassius gibelio*). Показники вмісту важких металів (свинцю, кадмію, цинку, міді, марганцю, нікелю та заліза) у воді р. Самара та м'язах карася сріблястого визначалися в акредитованих лабораторіях відповідно до загальноприйнятих методик (Puryshev, 2014) методом атомно-абсорбційної спектрофотометрії на спектрофотометрі С 115 М1. Для визначення рівня біоаккумуляції досліджуваних елементів обчислювали коефіцієнт накопичення важких металів в організмі риби (Khaustov, 2018). Для визначення достовірності різниці даних між окремими дослідними точками використовували критерій Стьюдента (Chmylenko et al., 2012). Обробка результатів здійснювалася за допомогою програми Excel.

Результати. Продуктивність та фізіологічний стан кожного окремого виду залежать від якості середовища існування. Забруднювачі, які потрапляють у водойми, створюють серйозні проблеми, призводячи до значної шкоди життєдіяльності водних організмів і навіть їх масо-

вій загибелі (Sytnyk, 2009). Важкі метали стають токсичними, якщо вони не виводяться організмом і накопичуються в м'яких тканинах (Baby, 2010).

Свинець та його сполуки є обов'язковими компонентами поверхневих вод і значною мірою впливають на якість та функціонування водойми. Більшість цих сполук виявляють мутагенні та канцерогенні властивості (Humeniuk, 2002). Свинець потрапляє у річки зі стічними водами металургійних та хімічних підприємств, а також внаслідок спалювання вугілля (Stanko, 2012). Концентрація свинцю у воді р. Самара знаходилася у межах норми (рис. 2). Проте поблизу с. Хащове вона була на 9,1 % вищою за даний показник поблизу с. Новоселівка та на 2,3 % вище за показник поблизу м. Новомосковськ ($p \geq 0,05$).

У природі кадмії зустрічається переважно у цинкових та свинцевих рудах. У водойми він часто потрапляє у складі промислових стоків свинцево-цинкових заводів, підприємств хімічної промисловості, рудозбагачувальних фабрик, металургійних заводів (Stanko, 2012). У водах р. Самара вміст кадмію перевищував ГДК у досліджуваних точках на 80 % у с. Хащове та м. Новомосковськ, та на 60 % у селі Новоселівка. Достовірної різниці між показниками виявлено не було.

За рівнем концентрації у поверхневих прісних водах цинк посідає друге місце після мангану. Основним джерелом надходження цинку у водойми є процеси руйнування гірських порід. Оскільки цинк – біогенний метал, він активно засвоюється водними рослинами, беручи участь у процесах фотосинтезу (Prokorchuk & Hrubinko, 2016). Максимальний вміст цинку спостерігався поблизу міста Новомосковськ (0,016 мг/л), що перевищувало ГДК для води рибогосподарських водойм в 1,6 разів. Концентрація цинку у воді р. Самара в інших дослідних ділянках була у межах граничних концентрацій (с. Новоселівка) та перевищувала ГДК в 1,1 рази (с. Хащове). Спостерігалась достовірна різниця між вмістом цинку у воді р. Самара в різних точках спостереження. Так, концентрація цього елементу була значно меншою на 31 % та 43 % відповідно поблизу с. Хащове та с. Новоселівка порівняно з ділянкою біля м. Новомосковськ.

Мідь, як метал, що є природною складовою водного середовища, завжди присутня в малих концентраціях у воді (Prokorchuk & Hrubinko, 2016). Концентрація міді



Рис. 1. Акваторія р. Самара, Дніпропетровська область

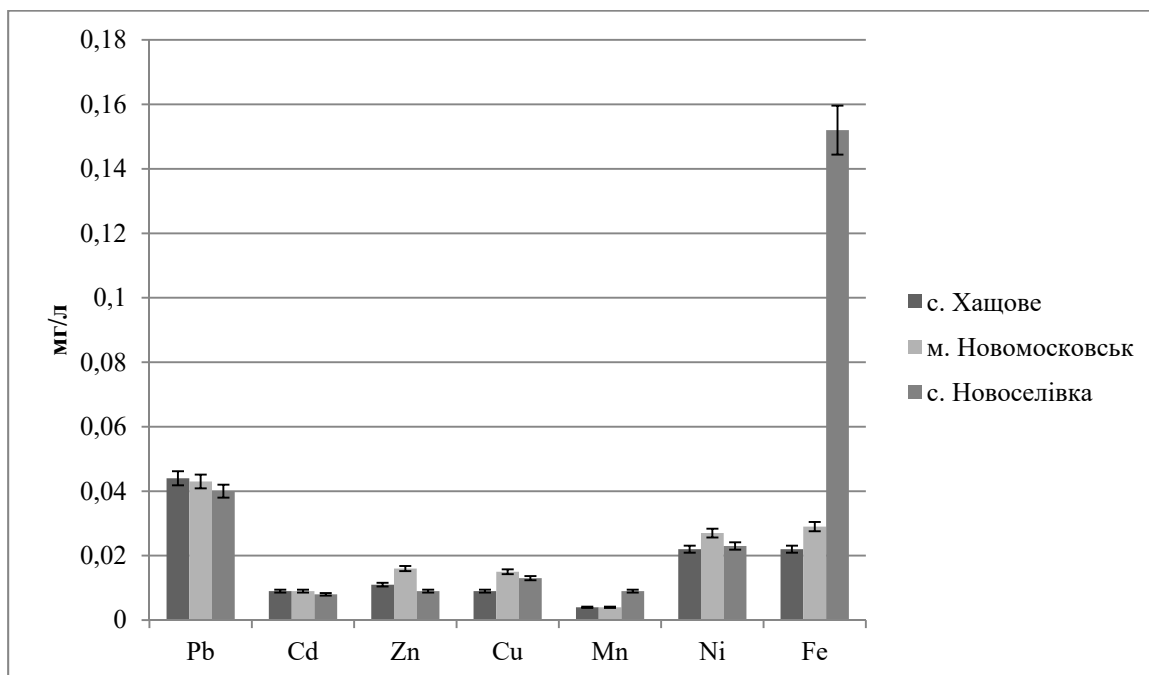


Рис. 2. Вміст важких металів у воді р. Самара, $M \pm m$, $n = 5$

у досліджуваній водоймі перевищувала ГДК по всім дослідним точкам: у с. Хащове в 9 разів, у м. Новомосковськ в 15 разів і у с. Новоселівка в 13 разів. Мінімальний вміст міді спостерігався у воді р. Самара поблизу с. Хащове та був нижчим на 31–40 % порівняно з іншими точками ($p \leq 0,05$).

Манган належить до біологічно активних металів. Він бере участь у реакціях фотолізу води а також у процесах фотосинтезу. Основними джерелами надходження мангану у водойму є залізомарганцеві руди, стічні води металургійних заводів, підприємств хімічної промисловості, шахтні води тощо. Також одним із джерел надходження мангану виступають органічні рештки, що залишаються після відмирання водних організмів та вищих водних рослин (Kolesnyk, 2012). Вміст мангану у воді р. Самара знаходився у межах ГДК. Максимальна концентрація його спостерігалася поблизу м. Новомосковськ та була достовірно вищою (в 2,25 рази) порівняно з іншими ділянками.

Нікель у природних умовах є малопоширеним металом і зустрічається здебільшого у вигляді сполук з арсеном і сіркою. Основним джерелом надходження нікелю у природні води є спалювання дизельного пального, стічні води цехів нікелювання, заводів синтетичного каучуку, підприємств хімічної і вугільної промисловості. За рахунок споживання даного металу водними організмами та включення його в колообіг речовин, концентрація нікелю може знижуватися при збільшенні рівня рН в результаті випадання в осад ціанідів, сульфідів, карбонатів або гідроксидів (Prokorchuk, Hrubinko, 2016). Концентрація нікелю у воді р. Самара перевищувала ГДК в 2,2 рази у с. Хащове, у 2,7 рази у м. Новомосковськ та у 2,3 рази у с. Новоселівка (0,023 мг/л). Різниця між точками не була достовірною.

Ферум є одним з найбільш поширених елементів, але через низьку міграційну здатність концентрація даного

металу в природних водах надзвичайно мала. Він відіграє важливу роль у життєдіяльності гідробіонтів, значною мірою засвоюється ними. Нестача заліза може викликати ряд захворювань або призвести до смерті (Rabcheniuk, 2016). До природних процесів надходження сполук феруму в поверхневій воді належить, в першу чергу, хімічне вивітрювання гірських порід. Значна його кількість надходить у водойми з підземним стоком, із виробничими та сільськогосподарськими стічними водами (Prokorchuk & Hrubinko, 2016). Вміст заліза у воді в досліджуваних точках не перевищував ГДК. Проте найбільшим даний показник був у с. Новоселівка і становив 0,15 мг/л. в інших точках цей показник був нижчим на 81–86 %.

Значний антропогенний вплив на водне середовище сьогодні актуалізує проблему виживання гідробіонтів в умовах стресу, що викликані накопиченням токсичних речовин в організмі риби (Khomenchuk et al., 2020).

До токсичних елементів, концентрація яких у рибі підлягає контролю, відноситься свинець та кадмій, через свою високу токсичну дію на організм (Kolesnyk, 2012). Вміст свинцю у м'язах карася сріблястого не перевищував гранично допустиму концентрацію для продукту харчування (табл. 1). Але зазначимо, що найвищою концентрація свинцю була у м'язах риби з с. Хащове, у риб з інших досліджуваних ділянок концентрація цього елемента була значно нижчою на 21–36 %.

Вміст кадмію у досліджуваних точках знаходився у межах норми та був майже однаковим у одновікових особин карася з різних ділянок р. Самара ($p \geq 0,05$).

Концентрація цинку у м'язах карася сріблястого р. Самара не перевищувала ГДК. Найменшим вміст цинку був у м'язах карася з с. Хащове. У рибі, що вилучена поблизу м. Новомосковськ та с. Новоселівка даний показник був, відповідно, на 12,6 % та 23 % більше.

Вміст важких металів у м'язах карася сріблястого р. Самара, мг/кг, $M \pm m$, $n = 5$

| Метал | с. Хащове | м. Новомосковськ | с. Новоселівка |
|-------|---------------|------------------|----------------|
| Pb | 0,47 ± 0,01 | 0,30 ± 0,01 | 0,37 ± 0,004 |
| Cd | 0,04 ± 0,002 | 0,037 ± 0,0 | 0,04 ± 0,001 |
| Zn | 11,27 ± 0,05 | 12,69 ± 0,03 | 13,86 ± 0,02 |
| Cu | 0,82 ± 0,01* | 0,71 ± 0,01 | 0,65 ± 0,02* |
| Mn | 0,38 ± 0,01* | 0,20 ± 0,01* | 0,22 ± 0,01* |
| Ni | 0,11 ± 0,01* | 3,08 ± 0,03* | 0,18 ± 0,01* |
| Fe | 15,98 ± 0,02* | 19,73 ± 0,01* | 7,09 ± 0,02* |

* – різниця між показниками достовірна при $p \leq 0,05$

Концентрація міді у м'язах карася сріблястого р. Самара знаходилася у межах допустимої норми. Найменшим даний показник був у риб, що вилучені поблизу с. Хащове. У м'язах карася сріблястого з м. Новомосковськ та с. Новоселівка даний показник був нижчим, відповідно, на 13,4 % та 20,7 %.

Вміст мангану у м'язах карася сріблястого р. Самара в усіх досліджуваних точках знаходився у межах фізіологічних норм. При цьому спостерігалась достовірна різниця між показниками концентрації цього елемента в м'язах риб, які були вилучені з різних ділянок річки та становила 42–47 %.

Концентрація нікелю у м'язах досліджуваної риби була найвищою у м. Новомосковськ. У двох інших дослідних точках вміст його був нижчим на 94–96 %.

Концентрація заліза у м'язах риби також не перевищувала норму і була максимальною у риб з точки м. Новомосковськ. Трохи нижча його концентрація спостерігалась у риб, що вилучені поблизу с. Хащове та значно нижче порівняно з цими точками у межах с. Новоселівка на 64 % та 56 % відповідно.

У зв'язку з тим, що іони важких металів не руйнуються в природних умовах, а мають здатність до накопичення в складових екосистемі, особливою уваги потребує вивчення акумуляції цих токсикантів водними організмами та їх вплив на процеси метаболізму риб (Kurant et al., 2011).

Для оцінки рівня біоаккумуляції важких металів (табл. 2) у м'язах карася сріблястого використовували коефіцієнт біологічного накопичення (Kolesnyk, 2011).

Згідно досліджень, слабкий ступінь накопичення в усіх дослідних точках мають свинець та кадмій. Також слабкий ступінь накопичення в межах м. Новомосковськ та с. Новоселівка було виявлено для міді. Поблизу м. Новомосковськ показник накопичення мангану становив

помірний рівень. В межах с. Хащове даний показник для зазначених металів був на помірному рівні. Для нікелю ступінь накопичення металу в м'язах риби знаходився на низькому рівні у с. Хащове та с. Новоселівка. В межах с. Хащове даний показник був на 35 % нижчим ніж у с. Новоселівка. Поблизу м. Новомосковськ ступінь накопичення нікелю знаходився на помірному рівні.

За вмістом заліза слабкий рівень накопичення спостерігався у межах с. Новоселівка. В інших точках даний показник у м'язах карася сріблястого знаходився на високому рівні і у с. Хащове був на 5,8 % вищим, ніж у м. Новомосковськ. Надвисокий ступінь накопичення спостерігався за цинком у межах с. Хащове та с. Новоселівка. У межах м. Новомосковськ рівень концентрації даного металу в організмі риби знаходився на високому рівні.

Для свинцю різниця була достовірною між показником коефіцієнта накопичення у с. Хащове – м. Новомосковськ та м. Новомосковськ – с. Новоселівка. Для кадмію у с. Хащове – с. Новоселівка та м. Новомосковськ – с. Новоселівка. За показником коефіцієнта накопичення міді різниця була достовірною у точках с. Хащове – м. Новомосковськ та с. Хащове – с. Новоселівка. Для заліза в межах с. Хащове – с. Новоселівка та м. Новомосковськ – с. Новоселівка. Для цинку, нікелю та мангану різниця була достовірною в усіх дослідних точках.

Обговорення. Відомо, що риби чутливо реагують на зміну умов існування. Тому вони є гарним тестовим об'єктом для визначення зміни біологічних, екологічних та фізіологічних параметрів екосистемі (Sytnyk et al., 2009).

Більшість корокових риб, в тому числі і карась сріблястий, є надзвичайно розповсюдженими у прісних водоймах регіону. Завдяки своїй здатності пристосовуватися до екологічних умов середовища, даний вид має

Таблиця 2

Коефіцієнт накопичення важких металів у м'язах карася сріблястого р. Самара

| Метал | с. Хащове | м. Новомосковськ | с. Новоселівка |
|-------|------------------|------------------|------------------|
| Pb | 10,73 ± 0,53* | 6,90 ± 0,26** | 9,42 ± 0,61* |
| Cd | 4,42 ± 0,2* | 4,10 ± 0,11* | 5,26 ± 0,19** |
| Zn | 1024,81 ± 18,95* | 815,44 ± 19,38* | 1547,78 ± 52,56* |
| Cu | 89,19 ± 3,08** | 46,57 ± 2,91* | 48,84 ± 1,25* |
| Mn | 100,55 ± 1,00* | 51,46 ± 2,70* | 22,34 ± 1,56* |
| Ni | 5,24 ± 0,21* | 120,49 ± 2,51* | 8,06 ± 0,21* |
| Fe | 718,02 ± 29,17* | 676,47 ± 10,74* | 46,73 ± 1,06** |

* – різниця між показниками достовірна при $p \leq 0,05$

високу стійкість до впливу пригнічуючих факторів. Проте зазначимо, що за умови постійного забруднення водойми, карась сріблястий піддається хронічній інтоксикації. Це, в свою чергу, впливає на його фізіологічний стан (Yesipova & Sharamok, 2022).

Рівень накопичення важких металів в органах та тканинах риб залежить від таких факторів, як геохімічні параметри середовища, функціональний стан організму, джерела харчування тощо. При підвищенні концентрації важких металів ріст та розвиток організму спочатку зростає, але з часом знижується рівень синтезу біологічно-активних речовин, продуктивність, здатність до розмноження (Sytnyk et al., 2009).

Кадмій є одним з найбільш токсичних металів для гідробіонтів. Його нагромадження в організмі негативно впливає на репродуктивну та кровотворну функції (Kurant, 2006). Сполуки свинцю при потрапленні в організм корошових видів зміщують азотистий обмін риб у бік посилення катаболізму білків, що спричиняє зниження маси тіла, загальне виснаження (Dudnyk & Yevtushenko, 2013). Аналізуючи результати дослідження бачимо, що вміст кадмію та свинцю є досить високим, хоч і знаходиться у межах норми. Оскільки карась сріблястий займає одне з провідних місць у промислових виловах водойм регіону (Fedonenko et al., 2015), дана тенденція викликала б певні занепокоєння. Проте дані дослідників свідчать, що саме в м'язах і гонадах відкладається найменша кількість даних важких металів, тому вони не є небезпечними для людини (Olifirenko, 2012).

Відомо, що нікель бере активну участь у біологічних процесах. Згідно досліджень, тривале надходження нікелю в організми риби може призвести до несприятливих біологічних наслідків (Hrytsyniak et al., 2009). Зокрема, в межах дослідних точок спостерігалися високі показники вмісту нікеля в м'язах риби, що може мати такі наслідки як затримка у рості, збільшення рівня смертності, виникнення патологій.

В живих організмах вміст цинку є досить високим. У тканинах риб він утворює комплекси з білками, амінокислотами, пуриновими основами та нуклеїновими кислотами. Велика кількість білків, що містять цинк, є ферментами, наприклад протеаза, глутаматдегідрогеназа, протеїназа (Kurant, 2011). Іони цинку, діючи на ферменти прямо або опосередковано, можуть змінювати процес метаболізму та його інтенсивність. У випадку нестачі цинку в організмі риб відбувається порушення синтезу білків, мінерального обміну, росту та життєдіяльності певних органів та тканин (Kurant & Khomenchuk, 2019). В умовах р. Самара концентрація цинку в м'язах карася сріблястого не виходила за межі граничних значень.

Мідь бере участь у біохімічних реакціях в організмі риб. Зокрема, стимулює синтез гемоглобіну, прискорює дозрівання ретикулоцитів, бере участь в окисно – відновних процесах та газообміні (Kurant, 2006). Надмірна її концентрація в організмі веде до патологічних змін у гепатопанкреасі корошових риб (Stoliar, 2001). Манган потрапляє в організм риб через зябра і кишківник, а рівень абсорбції його з води є достатньо високим. Він значною мірою впливає на функціонування печінки і в основному

відкладається саме там, тому у м'язах його концентрація зазвичай невисока (Oleksiienko et al., 2008). Аналізуючи результати досліджень можна зазначити, що концентрація міді та мангану у м'язах карася сріблястого з усіх дослідних точок не перевищувала норми.

Інтенсивне акумулювання заліза у тканинах може становити потенційну небезпеку навіть за незначного зростання концентрації металу у воді. Це пояснюється тим, що біологічна функція металів в організмі риб здійснюється при низьких концентраціях, а зависоке їх акумулювання може призвести до отруєння і смерті (Rabcheniuk, 2016). Перевищення гранично допустимих значень концентрації заліза у м'язах досліджуваної риби в межах р. Самара не спостерігали.

В умовах інтенсивного антропогенного впливу на екосистему річки актуальним та таким, що має велике практичне значення, є питання надходження важких металів у водойму та їх накопичення гідробіонтами (Dvoretzkyi, 2021). З цією метою застосовували коефіцієнт біологічного накопичення, що показує співвідношення між концентрацією токсичних речовин у воді та організмі риби. Отримані дані показали задовільний результат майже по всім досліджуваним показникам, окрім цинку та заліза. Результатом цього є перспектива подальшого накопичення даних металів в організмі риби, що може призвести до порушення процесів метаболізму, інтоксикації, патологій розвитку та роботи певних органів.

Висновки. Аналізуючи результати дослідження вмісту важких металів у воді р. Самара можна зазначити, що концентрація свинцю, мангану та заліза у воді р. Самара знаходилася у межах норми. Проте найвищими показником вмісту свинцю був поблизу с. Хащове, мангану у м. Новомосковськ, а заліза у с. Новоселівка. Вміст кадмію у воді р. Самара перевищував ГДК у досліджуваних точках на 80 % у с. Хащове та м. Новомосковськ, та на 60 % у с. Новоселівка. Концентрація міді у досліджуваній водоймі перевищувала ГДК по всім дослідним точкам: у с. Хащове в 9 разів, у м. Новомосковськ в 15 разів і у с. Новоселівка в 13 разів. Концентрація нікелю у воді р. Самара перевищувала ГДК у 2,2 рази у с. Хащове, у 2,7 рази у м. Новомосковськ та у 2,3 рази у с. Новоселівка.

Вміст цинку поблизу м. Новомосковськ та с. Хащове був вищим за ГДК для води рибогосподарських водойм в 1,6 та 1,1 разів відповідно. Концентрація цинку у воді р. Самара в с. Новоселівка була у межах граничних концентрацій. Аналіз вмісту важких металів у м'язах карася сріблястого показав, що концентрація свинцю, кадмію, цинку, міді, мангану та заліза не перевищувала гранично допустиму концентрацію для продукту харчування. Відомо, що нікель бере активну участь у біологічних процесах. Концентрація нікелю у м'язах досліджуваної риби була найвищою у м. Новомосковськ. У двох інших дослідних точках вміст його був нижчим на 94–96 %, що може призвести до несприятливих біологічних наслідків, таких як затримка у рості, збільшення рівня смертності, виникненню патологій. Згідно досліджень, слабкий ступінь накопичення в усіх дослідних точках мають свинець, мідь та кадмій. Також слабкий ступінь накопичення було вияв-

лено для заліза у межах с. Новоселівка. В інших точках даний показник у м'язах карася сріблястого знаходився на високому рівні. Надвисокий ступінь накопичення спостерігався за цинком у межах с. Хащове та с. Новоселівка. Аналізуючи результати дослідження бачимо, що вода р. Самара відповідає СОУ-2006 для води рибогосподар-

ського призначення майже за всіма показниками, окрім вмісту кадмію, міді та нікелю. За показником вмісту у воді цинку перевищення ГДК спостерігається лише у межах м. Новомосковськ, що можна пояснити інтенсивним розвитком промислової інфраструктури. Вміст важких металів у м'язах карася не виходив за межі норми.

Бібліографічні посилання:

1. Chmylenko F. O., Smitiuk N. M., Chmylenko T. S. (2012). *Metodychni vказivky do statystychnoi obrobky rezultativ eksperymentu v analitychnii khimii* [Methodical guidelines for statistical processing of experimental results in analytical chemistry]. Dnipropetrovsk RVV DNU. Templan (in Ukrainian). 27 (in Ukrainian)
2. Dudnyk S.V., Yevtushenko M.I. (2013) *Vodna toksykologhiia: osnovni teoretychni polozhennia ta yikhnie praktychne zastosuvannia* [Aquatic toxicology: basic theoretical provisions and their practical application]. K.: Publication of the Ukrainian phytosociological center, 40–41 (in Ukrainian).
3. Dvoretzkyi A.I., Rozhkov V.V., Baidak L.A. (2021). *Nakopychennia radionuklidiv prysnovodnymy roslynamy i tvarynamy* [Accumulation of radionuclides by freshwater plants and animals]. Dnipro DAEU, Dnipro, 250–253 (in Ukrainian)
4. Fedonenko O.V., Yesipova N.B., Marenkov O.M., Sharamok T.S. *Kontsepsiia rozvytku rybnoho hospodarstva Dnipropetrovskoi oblasti na nastupni piat rokiv* [The concept of the development of fisheries in the Dnipropetrovsk region for the next five years]. Fisheries Science of Ukraine, 1, 16–25 (in Ukrainian).
5. Hrytsyniak, I. I., Lytvynova, T. H., & Kolesnyk, N. L. (2009). *Sposib prohnozuvannia kontsentratsii Fe, Mn, Ni, Co u orhanakh i tkanynakh koropa ta tovtoloba* [Method for predicting concentrations of Fe, Mn, Ni, Co in organs and tissues of carp and silver carp]. Kiev. Rybohospodarska nauka Ukrainy, 11–14 (in Ukrainian).
6. Humeniuk H, Khomenchuk V, Harmatiy N, Chen I. (2021). *Complex Assessment and Forecasting of Chemical Pollution of Small Rivers by Economic and Mathematical Modelling Methods*. *Chen. Geol. Geograph. Geoecology*, 30(3), 460–469.
7. Humeniuk, H. B. (2002). *Rozpodil svyntsiu v biotychnykh ta abiotychnykh komponentakh hidroekosystemy* [Distribution of lead in biotic and abiotic components of the hydroecosystem]. *Zaporizhzhia. Aktualni pytannia biolohii, ekolohii ta khimii*, 206–211 (in Ukrainian).
8. Joseph Baby, Justin S. Ray, Edwin T. Biby, P. Sankarganesh, M. V. Jeevitha, S. U. Ajisha and Sheeja S. Rajan (2010). *Toxic effect of heavy metals on aquatic environment*. *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 4(4), 939–952. Access mode: <http://ajol.info/index.php/ijbcs>
9. Khaustov A. P. (2018). *Ekolohichniy monitorynh* [Environmental monitoring]. Access mode: <https://stud.com.ua/135928/ekologiya/bioakumulyatsiya> (in Ukrainian).
10. Khomenchuk V. O., Liavrin B. Z., Rabcheniuk O. O., Kurant V. Z. (2020). *Lipidnyi obmin v orhanizmi ryb za dii chynnykiv otokhuiuchoho vodnoho seredovyscha* [Lipid metabolism in the body of fish under the influence of factors of the surrounding water environment]. *Scientific notes of the Ternopil National Pedagogical University named after Volodymyr Hnatyuk. Ser. Biology*, 126–139 (in Ukrainian).
11. Khomenchuk, V. O., Rabcheniuk, O. O., Lohinov, S. O., & Kurant, V. Z. (2021). *Osoblyvosti nakopychennia ta rozpodilu okremykh metaliv u tkanynakh ryb za umov pidvyshchenoho vmistu ioniv Fe³⁺ u vodnomu seredovyschi* [Features of accumulation and distribution of individual metals in fish tissues under conditions of high content of Fe³⁺-ions in the aquatic environment]. *Ternopil. Biology series*, 175–178 (in Ukrainian).
12. Khomenchuk, V. O., Senyk, Yu. I., & Kurant, V. Z. (2021). *Osoblyvosti transportuvannia tsynku i kadmiu cherez membrany erytrotsyiv za dii pidvyshchenykh kontsentratsii yikh ioniv u vodi* [Features of zinc and cadmium transport through erythrocyte membranes under the action of high concentrations of their ions in water]. *Ternopil. Biology series*, 31–38 (in Ukrainian).
13. Kolesnyk, N. L. (2011). *Rozpodil vazhkykh metaliv u lankakh hidro ekosystemy staviv za intensyvnoi tekhnolohii vyroshchuvannia ryby* [Distribution of heavy metals in the hydro ecosystem of ponds by intensive technology of fish farming]. *Kiev. Rybohospodarska nauka Ukrainy*, 105–111 (in Ukrainian).
14. Kolesnyk, N. L. (2012). *Vplyv vazhkykh metaliv na kharchovu tsinnist koropa i tovtolobyka v umovakh intensyvnoho vyroshchuvannia* [Influence of heavy metals on the nutritional value of carp and silver carp in conditions of intensive cultivation]. *Kiev. Rybohospodarska nauka Ukrainy*, 100–104 (in Ukrainian).
15. Kurant, V. Z. (2006). *Uchast aminokyslot ta bilkiv u formuvanni stiikosti ryb do dii vazhkykh metaliv* [Participation of amino acids and proteins in the formation of fish resistance to heavy metals]. *Ternopil. Biology series*, 128–138 (in Ukrainian).
16. Kurant, V. Z. (2011). *Shliakhy pronyknennia ta vmist vazhkykh metaliv v orhanizmi ryb (ohliad)* [Ways of penetration and content of heavy metals in the body of fish (review)]. *Science zap Ternopil national ped. university Ser. Biol.*, 2 (47), 263–269 (in Ukrainian).
17. Kurant, V. Z., Khomenchuk V. O. (2019). *Vplyv ioniv manhanu, tsynku kuprumu ta plumbumu na vmist vilnykh aminokyslot v orhanizmi koropa* [The effect of manganese, zinc, copper, and lead ions on the content of free amino acids in the body of carp]. *Science zap Ternopil national ped. university Ser. Biol.*, 1, 28–42 (in Ukrainian).
18. Maksymova, N. M. & Shevchenko, I. O. (2020). *Ekolohichna otsinka vody richky Samara za katehoriiami* [Ecological assessment of Samara river water by categories]. *Dnipro. DDAEU* (in Ukrainian), 53–55.
19. Mashkova, K. A., & Sharamok, T. S. (2019). *Morfometrychni pokaznyky karasia sribliastoho (Carassius Gibelio (Bloch, 1782) r. Samara Dnipropetrovskoi oblasti v umovakh antropohennoho navantazhennia* [Morphometric parameters

of silver carp (*Carassius gibelio* (Bloch, 1782) by Samara river in Dnipropetrovsk region under anthropogenic pressure]. Dnipro. Aktsent PP, 138–141 (in Ukrainian).

20. Melnyk, A. P., Vlasova, N. M., Mykhailenko, N. H. & Hurbyk, O. B. (2012). Vydovi osoblyvosti rozpodilu ta nakopychennia vazhkykh metaliv v orhanakh i tkanyakh liashcha (*Abramis Brama* L.) ta karasia sribliastoho (*Carassius Auratus* L.) Kanivskoho vodoshkovyshcha [Species features of distribution and accumulation of heavy metals in the organs and tissues of bream (*Abramis Brama* L.) and silver carp (*Carassius Auratus* L.) of Kaniv Reservoir]. Kiev. Rybohospodarska nauka Ukrainy, 22–26 (in Ukrainian).

21. Oleksienko, N. V., Melnyk, A. P. & Sydorov, M. A. (2008). Vmist vazhkykh metaliv u tkanyakh ta orhanakh kanalnoho soma [The content of heavy metals in the tissues and organs of the channel catfish]. Kiev. Rybohospodarska nauka Ukrainy, 15–18 (in Ukrainian).

22. Olifirenko V.V., Rachkovskiy A.V. & Volichenko Yu.M. (2012). Osoblyvosti rozpodilu vazhkykh metaliv u orhanizmi koropovykh ryb Dniprovsko-Buzkoho estuariu [Peculiarities of the distribution of heavy metals in the body of carp fish of the Dnieper-Buzka estuary]. Taurian scientific bulletin No. 81, 341–343 (in Ukrainian).

23. Prokopchuk, O. I. & Hrubinko, V. V. (2016). Vazhki metaly u malykh richkakh Ternopilshchyny z riznym rivnem antropichnoho navantazhennia [Heavy metals in small rivers of Ternopil region with different levels of anthropic load]. Dnipro. Aktsent PP. Bioloheia, ekoloheia, 173–181 (in Ukrainian).

24. Pupyshev A. A. (2014) Atomno-absorbtsiyni spektralnyi analiz [Atomic absorption spectral analysis]. M. : Technosphere, 75 (in Ukrainian).

25. Rabcheniuk, O. O. (2016). Ferum u vodnykh ekosystemakh: formy nadkhodzhennia, biolohichne znachennia ta toksychnist dlia ryb [Iron in aquatic ecosystems: forms of entry, biological significance and toxicity to fish]. Ternopil, Biology series, 77–89 (in Ukrainian).

26. Stanko, O. M. (2012). Vazhki metaly u vodi: zabrudnennia richky Dnister za ostanni 10 rokov (terytorii Lvivskoi oblasti) [Heavy metals in water: pollution of the Dniester River over the past 10 years (Lviv region)]. Kyiv. Medicine of Ukraine. Ukrainian journal of modern toxicological aspects (in Ukrainian).

27. Stoliar, O.B. (2001) Okysniuvalna modyfikatsiia bilkiv hepatopankreasu i plazmy krovi koropa za intoksykatsii vazhkymy metalamy [Oxidative modification of carp hepatopancreas and blood plasma proteins following heavy metal intoxication]. Science zap Ternopil national ped. university Ser. Biol., 44–49 (in Ukrainian).

28. Syniaieva, N. P., Dudarieva, H. F. & Khimii, A. O. (2016). Doslidzhennia vmistu vazhkykh metaliv u zlyvovykh vodakh [Study of heavy metals in stormwater]. Zaporizhzhia: Aktualni pytannia biolohii, ekolohii ta khimii, 82–89 (in Ukrainian).

29. Sytnyk, Yu. M., Shevchenko, P. H. & Oleksienko, N. V. (2009). Ekoloho-toksykologichni doslidzhennia ozernykh ekosystem Shatskoho natsionalnoho pryrodnoho parku. Vazhki metaly v orhanakh ta tkanyakh ryb (molod ryby riznykh vydiv) [Ecological and toxicological studies of lake ecosystems of Shatsk National Nature Park. Heavy metals in the organs and tissues of fish (young fish of different species)]. Notes in Current Biology, Lutsk, 325–328 (in Ukrainian).

30. Yesipova N. B., Sharamok T. S. (2022). Adaptatyvni zminy v klitynakh krovi ryb v umovakh khronichnoi intoksykatsii [Adaptive changes in fish blood cells under conditions of chronic intoxication]. Sumy National Agrarian University, 58–65 (in Ukrainian).

Mashkova K.A., PhD student, Dnipro National University named after Oles Honchar, Dnipro, Ukraine

Sharamok T.S., PhD (Agricultural Sciences), Associate Professor, Oles Honchar Dnipro National University, Dnipro, Ukraine

Analysis of heavy metal content in water and muscles of crucian carp (*Carassius gibelio*) in the Samara river of the Dnipropetrovsk region

The paper highlights the results of the study of the content of heavy metals in the water of the Samara River and in the muscles of the silver carp as an indicator of the suitability of the reservoir for fishery activities.

The aim of the study was to compare the level of heavy metals in the muscles of six-year-old crucian carp in the Samara River and to analyze its relationship with the level of these metals in water.

The Samara River Basin is ecologically one of the most stressful areas in the Dnipropetrovsk region. The high level of man-made load for a long time caused the depletion of the reservoir ecosystem.

The research was conducted within three points with different types of anthropogenic load. The first point – village Khashcheve, where the main polluter is an agricultural enterprise. The second point is within the city of Novomoskovsk, where in addition to housing and communal services, the pollutants are industrial enterprises and recreation facilities. The area near the village Novoselivka was chosen as the third research point. Novoselivka, where two recreational facilities are located.

*In the summer of 2019, synchronous sampling of water and fish was conducted. The object of the study were six-year-old individuals of both sexes of the silver carp (*Carassius gibelio*). Indicators of heavy metals (lead, cadmium, zinc, copper, manganese, nickel and iron) in the water of the Samara River and silver carp muscles were determined in accredited laboratories in accordance with generally accepted methods by atomic absorption spectrophotometry C 115 spectrophotometry. To determine the level of bioaccumulation of the studied elements, was calculated the coefficient of accumulation of heavy metals in the body of fish.*

Analysis of the results of the study showed that the water of the Samara River corresponds to the SOU-2006 for fishery water in almost all indicators, except for the content of cadmium, copper and nickel. According to the indicator of zinc content in water, the maximum concentration limit is observed only near the city of Novomoskovsk, which can be explained by the intensive development of industrial infrastructure. The content of heavy metals in the muscles of crucian carp did not exceed the norm.

Key words: heavy metals, silver crucian, the coefficient of accumulation of heavy metals.

ПРОСТОРОВА НЕОДНОРІДНІСТЬ СТРУКТУРНО-АГРЕГАТНОГО СКЛАДУ ҐРУНТІВ В МЕЖАХ ОКРЕМИХ АГРОЦЕНОЗІВ ЛІВОБЕРЕЖНОГО ЛІСОСТЕПУ УКРАЇНИ

Пліско Ірина Владленівна

доктор сільськогосподарських наук, старший науковий співробітник
Національний науковий центр «Інститут ґрунтознавства та агрохімії
імені О.Н. Соколовського»,
м. Харків, Україна
ORCID: 0000-0001-8111-7662
irinachujan@gmail.com

Куцова Карина Миколаївна

аспірант
Національний науковий центр «Інститут ґрунтознавства та агрохімії
імені О.Н. Соколовського»,
м. Харків, Україна
ORCID: 0000-0002-7130-2343
karikuts96@gmail.com

Висвітлено результати дослідження структурно-агрегатного складу неоднорідних за формою рельєфу земельних ділянок окремих агроценозів Лівобережного Лісостепу України. Посилення антропогенного впливу на ґрунти призводить до деформації, руйнування мікро- і макроагрегатів та відображається на ефективності землеробської діяльності, що актуалізує дослідження структурно-агрегатного складу орних ґрунтів та оцінки неоднорідності їх основних показників. Неоднорідність вмісту структурних фракцій агрегатів, в тому числі водостійких, досліджено ситовим методом у модифікації Н.І. Саввінова (ДСТУ 4744:2007) з використанням методів статистичного та геостатистичного аналізу даних. Проаналізовано вплив складових рельєфу та генетичної природи ґрунтів на неоднорідність структурно-агрегатного складу та водостійкість ґрунтових агрегатів. Виявлено, що у структурному складі ґрунтів Лівобережного Лісостепу України спостерігається переважання агрономічно цінних агрегатів. Мінливість висот місцевості, експозиція схилів і кутів їх нахилу характеризується тісними зв'язками із формуванням брилистої фракції, збільшення якої спостерігається разом із підвищенням висоти поверхні. Орографічна неоднорідність у просторі обумовлює диференціацію за стійкістю ґрунтових агрегатів дослідних агроценозів на різних глибинах. Збільшення крутизни схилу негативно відображається на формуванні та розподілі структурних елементів: у підніжжях та на увігнутих частинах схилу збільшується вміст водостійких агрегатів через акумуляцію раніше еродованого ґрунтового матеріалу. На відносно вирівняних частинах досліджених об'єктів зосереджені добре оструктурені ґрунти. Видовий склад ґрунтів є змінним на відносно невеликій відстані завдяки різній інтенсивності процесів акумуляції, що зумовлює територіальну мозаїку за структурно-агрегатним складом та вмістом водостійких агрегатів. Встановлено, що темно-сірі опідзолені ґрунти визначаються надмірною водостійкістю ґрунтів та, в деяких випадках, переважанням брилистої фракції, на відміну від чорноземів опідзолених зі сприятливими умовами та кращими показниками структурно-агрегатного складу.

Ключові слова: агроценоз, водостійкість, ґрунтові агрегати, структурно-агрегатний склад, просторова неоднорідність.

DOI <https://doi.org/10.32845/agrobio.2022.2.18>

Вступ. Структура ґрунту є однією з головних факторів, що визначають умови росту й розвитку сільськогосподарських культур та величину їх продуктивності, оскільки обумовлює формування водно-повітряного та теплового режимів. Цей показник змінюється в часі і просторі залежно від властивостей ґрунту, кліматичних умов і методів управління земельними ресурсами. Тривалий надмірний обробіток ґрунтів за відсутності регулярної сівозміни в системі традиційного землеробства призводять до надмірного погіршення структурно-агрегатного складу орних (0-10 і 10-20 см) та підорних (20-30 см) шарів ґрунту: вміст брилистих слабoporистих агрегатів (розміром > 10 мм) збільшується приблизно у два рази, вміст агрономічно-цінних агрегатів (розміром 0,25–10 мм) значно знижується (Gajic et al., 2006).

На кількість, розмір та стабільність ґрунтових агрегатів впливають ряд властивостей ґрунту, що визначає результативність землеробської діяльності. Зокрема, структурно-агрегатний склад відображає особливості ґрунтоутворення окремого агроценозу, який відрізняється за ознаками (розміром, формою, щільністю укладання структурних агрегатів, зовнішніми та внутрішніми особливостями) та, разом з тим, специфічною динамікою, яка знаходить відображення у коливаннях факторів агрегації (Medvedev, 2008).

У сучасних умовах антропогенного навантаження на орні ґрунти, в тому числі й у зоні Лівобережного Лісостепу України, відбуваються зміни агрофізичних властивостей агроценозів, що відображається у посиленні розвитку деградаційних процесів, зокрема, у деформації та руйнуванні мікро-(часточок розміром < 0,25 мм)

і макроагрегатів (часточок розміром $> 0,25$ мм) (Shevchenko, 2019). Проведення заходів з обробітку ґрунту, прямим чином, впливає на структурні агрегати ґрунту, окрім їх дроблення спостерігається порушення структурних агрегатів. Тому, оцінка, моніторинг та підтримання оптимального структурно-агрегатного складу має бути обов'язковою умовою ефективного, ґрунтозберігаючого та ґрунтоохоронного ведення сучасного сільськогосподарського виробництва.

Виняткову роль структури ґрунту, як одного з основних факторів його родючості, висвітлено у багатьох наукових працях, де акцентовано увагу на те, що лише у структурному ґрунті створюються оптимальні умови для росту та розвитку рослин (Nedvyha & Halasun, 2012). Як відомо, ґрунтові агрегати є основними структурними елементами ґрунту і являють собою кластери мінеральних і органічних компонентів ґрунтового середовища (Brady & Weil, 2016). Сумарний об'єм усіх пор і проміжків між структурними агрегатами, в основному, регулює інфільтрацію вологи в ґрунті (Patra et al., 2019), тим самим, впливаючи на стійкість ґрунту до проявів водної ерозії. Ці процеси безпосередньо пов'язані зі змінами гідрологічної функції ґрунтів та умов їх абіотично-біотичного середовища (Coleman et al., 2018).

Закордонні вчені зазначають, що стабільність і кількість ґрунтових агрегатів агрономічно-цінної фракції мають значний вплив на фізичні властивості ґрунту, запаси поживних речовин ґрунту та ступінь їх конверсії (Gholoubi et al., 2019, Slimani et al., 2010). Ці дві складові в оптимумі можуть не тільки підтримувати структуру ґрунтів у стабільному стані і зменшити прояв ерозійних процесів, але й зберігати органічну речовину в ґрунтовому середовищі та підвищувати, в цілому, рівень родючості орних ґрунтів.

Соколовським О.Н. доведено, що мікроагрегати є більш стабільними і мають більш тривалий час до видозмін, тому розміри агрегатів відіграють важливу роль у тривалості використання ґрунтових ресурсів (Sokolovsky, 1971).

Стабільність ґрунтових агрегатів залежить, головним чином, від декількох хімічних властивостей ґрунту, таких як: вміст і наявність глинистої фракції, показник рН та вміст органічної речовини, а також біологічна активності ґрунту. На утворення мікроагрегатів значно впливає наявність глинистих колоїдів, їх заряд та концентрація полівалентних катіонів (Bronick & Lal, 2005).

На більшості ґрунтів інтенсивний обробіток сільськогосподарськими засобами призводить до погіршення структури ґрунту, що відбивається у послабленні стабільності ґрунтових агрегатів. Низька агрегатна стабільність, зазвичай, пов'язана зі зниженням вмісту органічної речовини, що істотно впливає на зріст та розвиток більшості вирощуваних сільськогосподарських культур. Стабільність агрегатів значною мірою корелює із вмістом органічної речовини саме через зв'язуючу дію гумінових речовин та інших побічних продуктів мікробіології (Shepherd et al., 2001, Naveed et al., 2014).

Агрегативна стійкість змінених ґрунтів покращується за рахунок внесення добрив, збільшуючи обсяг агрономічно-цінної структури та зменшуючи відсоток руйнування

агрегатів в результаті ведення землеробської діяльності. Зокрема, внесення органічних добрив розглядається як засіб поліпшення структури ґрунту та покращення гідрологічних функцій, підвищення активності мікробної мікрофлори, зв'язування органічної речовини та пом'якшення наслідків змін клімату (Schlueter et al., 2020) та, в цілому, позитивно відображається на рівні родючості ґрунтів та врожайності сільськогосподарських культур.

Як відомо, структурно-агрегатний склад ґрунту та якісні характеристики агрегатів, такі як, вміст агрономічно-цінних та водостійких агрегатів (розміром $> 0,25$ мм), механічна міцність агрегатів в значній мірі залежать від гранулометричного складу ґрунтів, обсягу та особливостей органічної речовини, складу поглинутих катіонів, розвитку кореневих систем рослин та діяльності ґрунтових мікроорганізмів та мезофауни (Tsapko et al., 2014).

Топографія визначається ключовим фактором у створенні змінного ґрунтового покриву у кліматично і геологічно однорідних районах. Таким чином, на розподіл структуроутворюючих складових: вмісту фізичної глини (часточок розміром $< 0,01$ мм), іонів кальцію та гумусу в межах певної області може значно впливати рельєф місцевості (Zhang et al., 2021). Основними атрибутами, що описують форму місцевості та впливають на розподіл властивостей ґрунту і, отже, на формування ґрунтових агрегатів, є нахил і кривизна поверхні. Наприклад, Canton et al. (2009) відмічають нижчу стабільність ґрунтових агрегатів у більш похилих частинах схилу, які піддавалися водній ерозії. Більш висока стійкість ґрунтових агрегатів спостерігається в увігнутих частинах земної поверхні, де накопичується ґрунтова органічна речовина. Найвищу стабільність агрегатів виявлено на вершині схилу пагорба.

Землекористування, тип рослинності та обробіток ґрунту відіграють важливу роль у формуванні стійкості структурних агрегатів ґрунту (Duan et al., 2021), саме рослинний покрив певним чином визначає стабільність структури ґрунту порівняно з дією різних геологічних субстратів.

Існує гіпотеза, що багаторічні культури покращують структуру ґрунту, в той час як щорічний обробіток міжрядь найчастіше призводить до структурної деградації, головним чином, в результаті втрат органічної речовини через порушення ґрунтового покриву (Magdoff et al., 2000).

Поєднання параметрів рельєфу і рослинного покриву багато в чому визначає розподіл органічної речовини в ґрунті (Singh & Benbi, 2018), яке, зрештою, слугує ключовим параметром для формування стабільних ґрунтових агрегатів.

Цінна в агрономічному аспекті структура ґрунту визначається на основі розміру, форми, стабільності ґрунтових агрегатів за даними сухого та мокрого просіювання (Tirgarsoltani et al., 2014). Дані щодо вмісту агрономічно-цінних агрегатів свідчать про якість здійснення управлінських рішень, зокрема, проведення механічного обробітку ґрунту та його фізичної стиглості. Вміст водостійких агрегатів (розміром $> 0,25$ мм) дозволяє проаналізувати наявність у ґрунті органічної речовини та, разом з тим, оцінити ефективність внесення добрив та хімічних меліорантів.

Стабільність водостійкості агрегатів ґрунту вказує на здатність чинити опір впливу опадів, потокам повітря

та води. За надмірної і недостатньої водопроникності ґрунт має низьку водостійку і високу випарну здатність, у той час як низька водопроникність створює ризик утворення поверхневого стоку, що сприяє розвитку водної ерозії (Mammadov et al., 2021).

Стійкість структурних агрегатів ґрунту відноситься до здатності агрегатів чинити опір руйнуванню, через механічний вплив обробітку ґрунту, вплив водної та вітрової ерозії. Отже, розподіл розмірів агрегатів за сухого просіювання можна використовувати для прогнозування стійкості до механічних впливів та вітрової ерозії. Зниження стійкості ґрунтових агрегатів може слугувати причиною розвитку негативних процесів, в тому числі ерозії ґрунту та інших форм деградації земель (Rabot et al., 2018).

Посилення антропогенного впливу на ґрунти призводить до деформації, руйнування мікро- і макроагрегатів та відображається на ефективності землеробської діяльності, що актуалізує дослідження структурно-агрегатного складу орних ґрунтів та оцінки неоднорідності їх основних показників. Свого часу питання було досить ретельно проаналізовано на прикладі орних ґрунтів різних природно-кліматичних зон України (Neodnorodnost pochv i tochnoe zemledelie..., 2009). Однак аналогічних досліджень проведено вкрай мало. Недостатньо також інформації щодо детального дослідження різних показників структурно-агрегатного складу в межах окремих агроценозів, їхньої неоднорідності залежно від генетичних особливостей ґрунтів, різних форм рельєфу та інших факторів, що визначає актуальність розглянутої у статті теми.

Матеріали і методи досліджень. Дослідження проведено на двох територіальних об'єктах (земельних ділянках), розташованих в межах окремих агроценозів зони Лівобережного Лісостепу України (Харківський район Харківської області). Головними ґрунтотвірними породами для дослідних агроценозів є леси та лесоподібні суглинки. Характерною особливістю території дослідження є наявність неоднорідних форм рельєфу.

Дослідний об'єкт № 1 представлений земельною ділянкою на території державного підприємства дослідного господарства «Граківське» (с. Новий Коротич), площею 31,7 га. За різновидами ґрунтів зустрічаються чорноземи опідзолені (в тому числі й намиті), темно-сірі опідзолені слабксероморфні ґрунти у комплексі з його еродованими аналогами. Гранулометричний склад досліджених ґрунтів, визначений за класифікацією Н.А. Качинського (DSTU 4730:2007, 2009), є важкосуглинковим, за виключенням незначної площі легкоглинистих ґрунтів. Територія дослідження видозмінюється у просторі, ухил поверхні становить від 1,5 до 2,5 градусів, перепад висот – від 120 до 145 м (Publichna kadastrava karta Ukrainy, 2022).

Дослідний об'єкт № 2 – земельна ділянка (частина поля) площею 21 га (за межами смт. Буди), ґрунтовий покрив якої представлено, в основному, сірими та темно-сірими опідзоленими ґрунтами та їх змитими різновидами. Має місце перепад висот, де переважають ерозійно-аккумулятивні форми рельєфу – ухил поверхні варіює від 2 до 6 градусів, перепад висот – від 135 до 173 м (Publichna kadastrava karta Ukrainy, 2022). Грану-

лометричний склад досліджених ґрунтів є легко- і середньосуглинковим у підніжжі схилу, та важкосуглинковим і легкоглинистим – на верхніх частинах схилу.

На дослідних об'єктах відібрано ґрунтові зразки (DSTU 4287:2004, 2005) за регулярною сіткою (1 точка на 1 га) з використанням приладу GPS «Garmin 9». Конфігурація елементарних ділянок із співвідношенням сторін не більше 2:1. Відбір зразків ґрунту проведено з глибин 0–10, 10–20 та 20–30 см. Строки відбору зразків на визначення структурно-агрегатного складу ґрунту відповідають періоду із максимально вираженими процесами агрегації, а саме, із середини травня до кінця серпня із показовою площею ділянки (не менше 20 га).

В аналітичних умовах лабораторії геоєкофізики ґрунтів ННЦ «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О.Н. Соколовського» проведено визначення структурно-агрегатного складу ситовим методом у модифікації Н.І. Саввінова (DSTU 4744:2007, 2008). Оцінку структурного стану ґрунту за вмістом повітряно-сухих агрономічно-цінних агрегатів здійснено за шкалою С.І. Долгова та П.У. Бахтіна (Ahrfyzicheskye yssledovanyia v opitakh..., 1977).

Розрахунковим способом визначено значення коефіцієнту структурності (Кстр) як співвідношення суми фракцій 0,25–10 мм до суми фракцій розміром < 0,25 мм та > 10 мм за сухого просіювання та коефіцієнту водостійкості (Квод) як співвідношення суми агрегатів розміром > 0,25 мм за мокрого просіювання до суми агрегатів розміром > 0,25 мм за сухого просіювання.

Статистичний та геостатистичний аналіз одержаних результатів проведено із використанням даних стандартних комп'ютерних програм Excel, Statistica 10 та ArcGIS 10.4.1.

Результати. В ході досліджень підтверджено існування неоднорідності деяких показників структурно-агрегатного складу ґрунтів дослідних об'єктів.

Неоднорідність структурно-агрегатного складу (за даними повітряно-сухого просіювання). В процесі досліджень проведено оцінку структурного стану ґрунтів завдяки використанню таких індикаторів, як співвідношення агрегатів із виділенням брилистої (> 10 мм), агрономічно-цінної (0,25–10 мм) фракцій та фракції пилу (< 0,25 мм) (Chornyi, 2018).

Встановлено, що на дослідному об'єкті № 1 ґрунти, які займають 16,7 % від загальної площі характеризуються відмінним структурним станом ґрунту за вмістом агрономічно-цінних агрегатів (> 80 %); 73,3 % ґрунтів мають добрий структурний стан (80–60 %) та лише 10 % досліджених ґрунтів характеризуються задовільною (60–40 %) структурою.

Аналізування статистичних та геостатистичних даних дозволяє зробити висновок про існування неоднорідності показників структурно-агрегатного складу досліджених ґрунтів: найбільшою варіабельністю характеризується Кстр (коефіцієнт варіації (Kv) дорівнює 0,38, вміст пилуватої (Kv=0,37) та брилистої (Kv=0,34) фракцій. Відомо, якщо значення коефіцієнту варіації перевищує величину 0,25, це опосередковано свідчить про існування неоднорідності (Medvedev, 2007).

На рис.1 представлено просторовий розподіл вмісту повітряно-сухих агрегатів в межах дослідного об'єкту № 1.

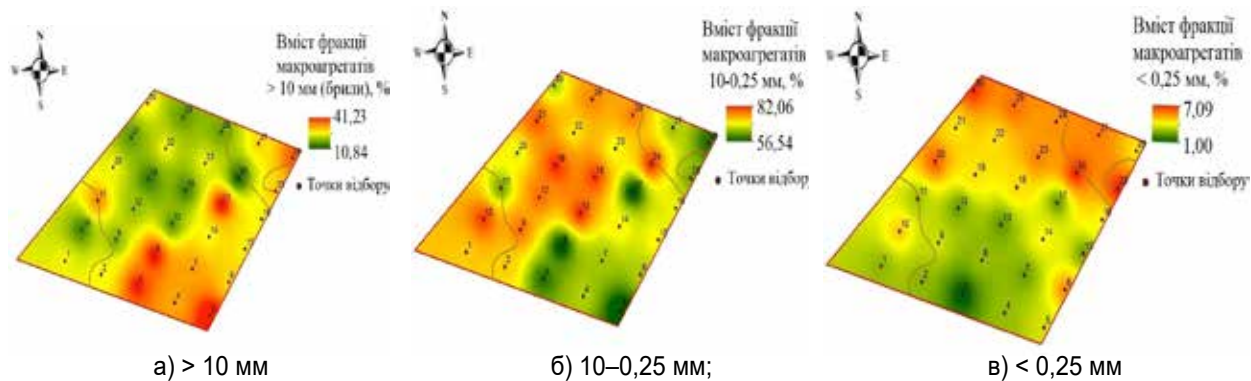


Рис. 1. Просторовий розподіл вмісту повітряно-сухих агрегатів у % від маси ґрунту (дослідний об'єкт № 1)

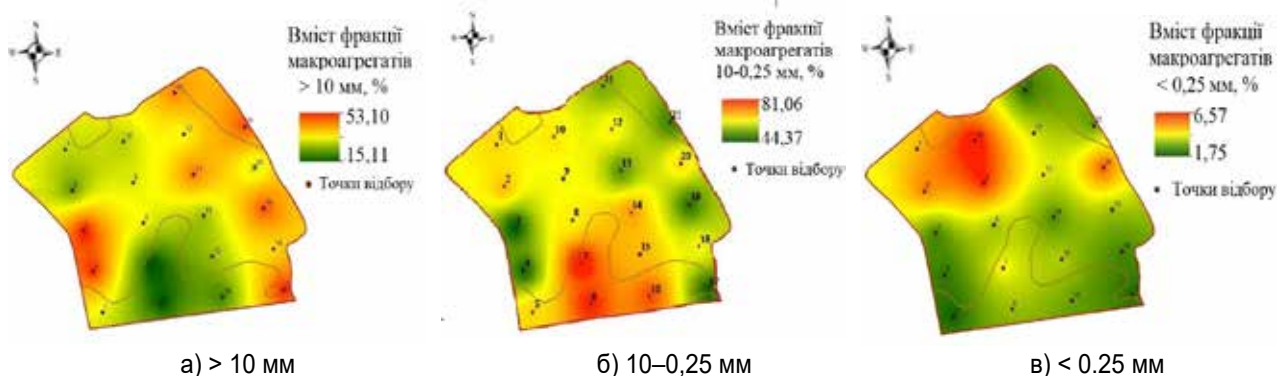


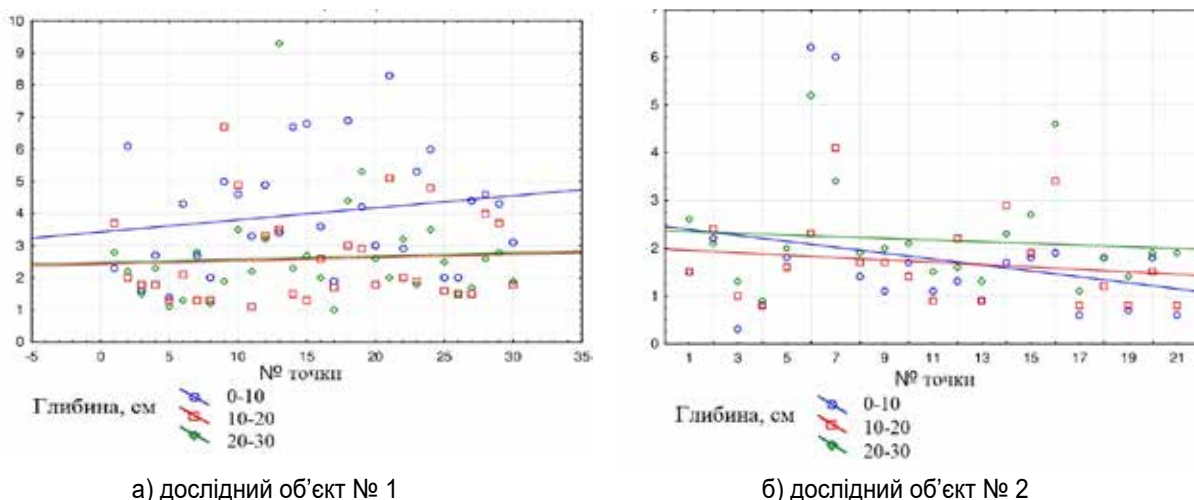
Рис. 2. Просторовий розподіл вмісту повітряно-сухих агрегатів у % від маси ґрунту (дослідний об'єкт № 2)

Більша частина досліджених ґрунтів земельної ділянки об'єкту № 2 має, в цілому, сприятливі агрофізичні умови за вмістом агрономічно-цінних агрегатів. При цьому лише 4,8 % визначаються відмінним структурно-агрегативним складом; 61,9 % території характеризується добрим та 33,3 % – задовільним структурним складом.

Математична обробка даних підтверджує існування аналогічної тенденції щодо неоднорідності досліджених показників структури досліджених ґрунтів даного об'єкту.

Зокрема, неоднорідність підтверджується для Кстр (Kv=0,57), пилуваті (Kv=0,42) та брилистої (Kv=0,33) фракцій. На рис. 2 показано просторовий розподіл вмісту повітряно-сухих агрегатів в межах дослідного об'єкту № 2.

До речі, Кстр є сумарним показником, який характеризує структурну композицію ґрунту і тому, чим більші значення даного показника, тим краще оструктуреним є ґрунт. Мінливість показника на дослідних об'єктах відображено на рис. 3.



а) дослідний об'єкт № 1

б) дослідний об'єкт № 2

Рис. 3. Діаграми розсіювання за коефіцієнтом структурності (Кстр)

Різниця між значеннями цього показника свідчить про суттєві відмінності агрофізичних умов, сформованих у ґрунтах внаслідок традиційного обробітку ґрунту без врахування особливостей агроценозів.

Мінливість показника структурності ґрунту спостерігається за розміром фракцій майже на кожній точці випробувань. У деяких частинах поля в усіх шарах ґрунту у структурному складі ґрунтів переважала фракція структурних макроагрегатів розміром 1,0–2,0 мм, в інших – брилистої фракції, що є вкрай негативним фактором (рис. 4).

В цілому, аналіз отриманих даних дозволяє стверджувати, що більшість досліджуваних ґрунтів об'єкту № 1 мають добрий та відмінний структурний склад, натомість, ґрунти об'єкту № 2 характеризуються переважно добрим та задовільним структурно-агрегатним складом.

Встановлено, що в усіх досліджених ґрунтах, які відносяться до чорноземів, зокрема опідзолених (в тому числі й намитих) найбільший уміст припадає на фракцію розміром 1–2 мм. Також у чорноземних ґрунтах спостерігається збільшення величини Кстр порівняно з відповідними значеннями показника, розрахованого для сірих та темно-сірих опідзолених ґрунтів. У деяких випадках найбільш сприятливі умови для формування агрономічно-цінних фракцій структури ґрунту спостерігаються зі збільшенням глибини випробувань.

Неоднорідність водостійкості агрегатів (за даними мокрого просіювання). Показники структури є досить інформативними щодо здатності ґрунту протистояти екстремальним зовнішнім впливам – поверхневому стоку, спричиненого зливами, таненням снігу та сильними вітрами. Зокрема, протиерозійна стійкість ґрунту напряму пов'язана із середньозваженим діаметром водотривких агрегатів і розраховується на основі «мокрого» просіювання ґрунту.

Для ґрунтів об'єкту № 1 сума водостійких агрегатів > 0,25 мм відповідає задовільній (30–40 %) та добрій водостійкості (40–60 %). Відмічено поодинокі випадки

відмінної (60–75 %) водостійкості структурних агрегатів (рис. 5).

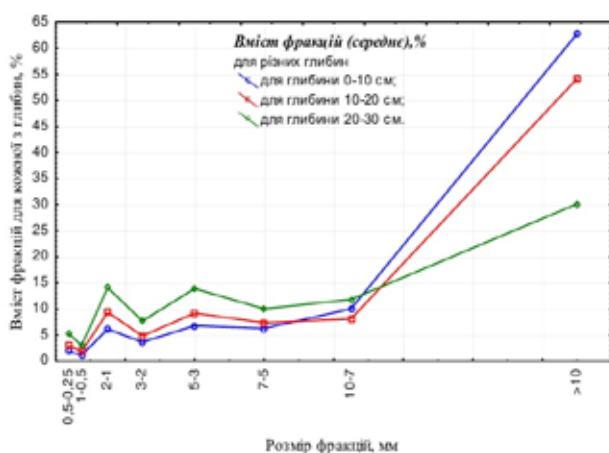
Для глибини 0-10 см водостійкі агрегати фракції знаходяться в межах від 29,80 % до 64,04 %, що відповідає задовільній, добрій та відмінній водостійкості агрегатів. В свою чергу, для глибини 10–20 см – від 36,04 % до 78,94 %, що характеризуються як задовільною водостійкістю, так і надмірно високою. Сприятлива водостійкість ґрунтів є наявною і на глибині 20–30 см, де агрегати знаходяться в межах від 45,84 % до 76,04 %.

Для більшості досліджених ґрунтів об'єкту № 2 характерною є відмінна водостійкість структурних агрегатів, лише незначна їх частина має задовільну та добру водостійкість структурних агрегатів (рис. 6). Для глибини 0–10 см водостійкі агрегати фракції знаходяться в межах від 40,36 % до 76,68 %, що відповідає добрій та відмінній водостійкості. Для глибини 10–20 см характерними є структурні агрегати із задовільною та надмірно високою водостійкістю, їх вміст коливається в межах від 32,18 до 77,44 %. Водостійкі агрегати фракції для глибини 20–30 см знаходяться в межах від 45,24 % до 75,28 %, де має місце і надмірно висока водостійкість агрегатів (> 75 %).

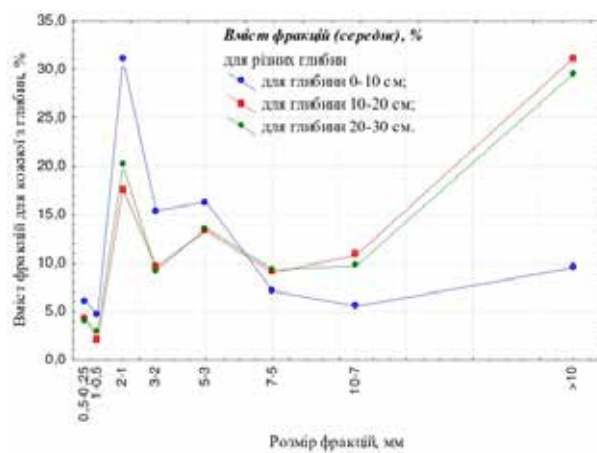
На зниження кількості мікроагрегатів і високу водостійкість у цьому випадку впливає тривале внесення вапняних меліорантів, що свідчить про їх добру цементуючу здатність і структуроутворення.

Обговорення. Слід зазначити, що ухил, крутизна схилу та його довжина, а також інші складові рельєфу відображають не тільки різні положення з ландшафтом, але і різні процеси ерозії та накопичення, ґрунтові, водні та температурні умови, а отже, і різний структурно-агрегатний склад, біологічну активність і ступінь водостійкості структури ґрунту (Singh et al., 2018).

Існує думка, що параметри місцевості – топографічні особливості, кривизна профілю і опуклість поверхні контролюють особливості фракційного розподілу ґрунтів (Pavlu et al., 2022).



а) дослідний об'єкт № 1



б) дослідний об'єкт № 2

Рис. 4. Діаграми розсіювання за брилистою фракцією на дослідних об'єктах

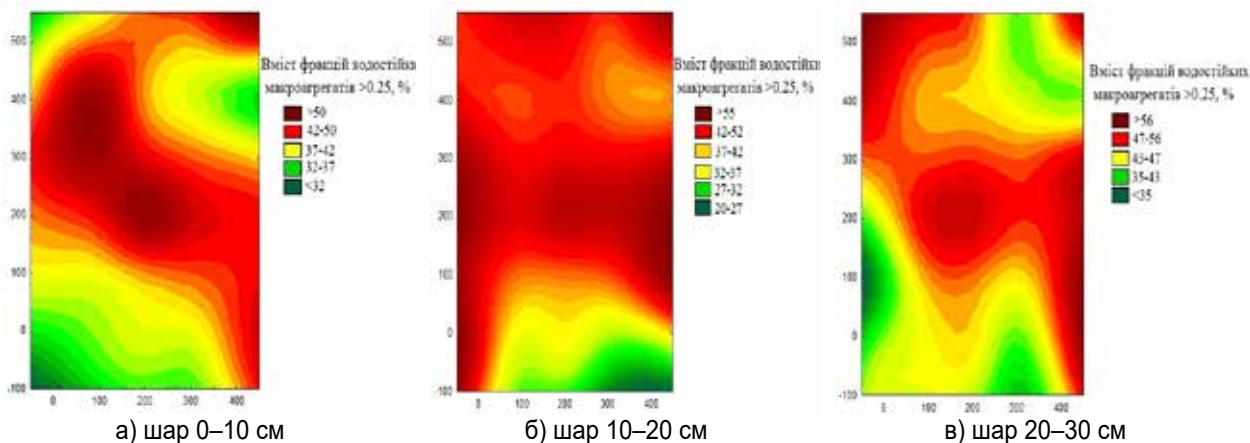


Рис. 5. Просторова неоднорідність розподілу фракцій водостійких агрегатів розміром > 0,25 мм на дослідному об'єкті № 1

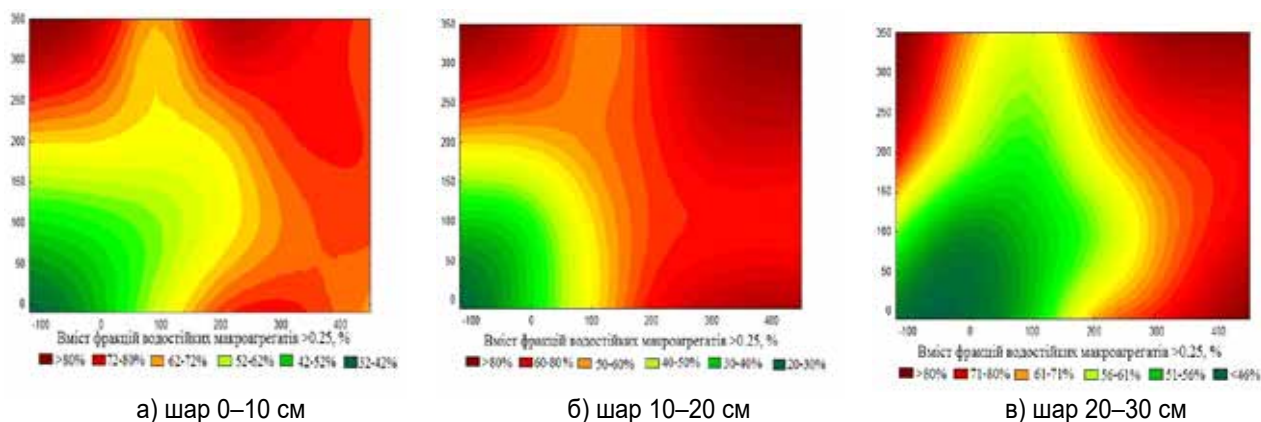


Рис. 6. Просторова неоднорідність розподілу фракцій водостійких агрегатів розміром > 0,25 мм на дослідному об'єкті № 2

Для агроценозу зі значною просторовою неоднорідністю рельєфу (об'єкту № 2), де наявна значна мінливість висот місцевості, експозиція схилів і кутів їх нахилу, збільшення брилистої фракції спостерігається разом із збільшенням висоти поверхні.

Встановлено, що наявність схилів різної крутизни, різних форм рельєфу та існування ґрунтів різного видового складу має прямий вплив на формування стійкості структурно-агрегатного складу та особливості фракційного розподілу агрегатів. Збільшення крутизни схилу негативно відображається на формуванні і розподілі структурних елементів: у підніжжях та на увігнутих частинах схилу збільшується вміст водостійких агрегатів через акумуляцію раніше еродованого ґрунтового матеріалу. На відносно вирівняних частинах досліджених об'єктів зосереджені добре оструктурені ґрунти, зокрема, темно-сірі опідзолені ґрунти об'єкту № 2.

Такі агрохімічні властивості ґрунту, як вміст органічної речовини, біологічна активність, показник рН ґрунту та наявність фізичної глини забезпечують особливі умови формування структурно-агрегатного складу. Найкращі показники структурно-агрегатного складу мають

чорноземні ґрунти. Саме в них переважають фракції повітряно-сухих агрегатів розміром від 1 до 10 мм, а пилюваті фракції складають незначний відсоток, навіть, у підорному шарі (Bronick & Lal, 2005). Більшість ґрунтів, з гарними показниками водостійкості агрегатів характеризуються наявністю достатньої кількості органічної речовини (Mammadov et al., 2021).

В межах агроценозу об'єкту № 1 з ухилом поверхні від 1,5 до 2,5 градусів на просторову неоднорідність за вмістом агрономічно-цінних агрегатів більше впливає генетична природа ґрунтів, ніж топографія місцевості. Обсяг цієї фракції переважає над вмістом брилистої та пилюватої фракції у досліджених зразках чорноземів опідзолених. Встановлено, що брилиста фракція переважає на ділянках із найнижчою висотою поверхні, де зосереджені темно-сірі опідзолені ґрунти. Серед фракцій мікроагрегатів переважають часточки розміром 0,05–0,01 мм, що пояснюється доброю мікроструктурністю лесоподібних порід Лісостепу України.

Погіршення структурно-агрегатного складу, зазвичай, пов'язано зі зниженням вмісту органічної речовини в орних ґрунтах (Shepherd et al., 2001, Naveed et al., 2014). Це під-

тверджується отриманими даними, за якими темно-сірі опідзолені ґрунти мають менший вміст агрономічно-цінних агрегатів порівняно з чорноземами опідзоленими. Проте, в свою чергу, темно-сірі опідзолені ґрунти характеризуються досить високою водостійкістю агрегатів.

У межах досліджених агроценозів Лівобережного Лісостепу України ґрунти відзначаються добре вираженою мікроагрегованістю. Водостійкість ґрунтових агрегатів збільшується з глибиною, що зумовлено закономірною зміною комплексу факторів структуроутворення. Аналіз отриманих даних дозволяє зробити висновок щодо переважання водостійких фракцій розміром від 0,5 до 0,25 мм у досліджених ґрунтах.

Погіршення водостійкості агрегатів для об'єктів спостерігаються частково зі зменшенням висоти поверхні. В іншому випадку, найкращі значення водостійкості мають структурні агрегати чорноземів опідзолених, які є більш мікроагрегованими та налічують фракційний склад із високою стійкістю. Загалом, стійкість ґрунтових агрегатів досліджених агроценозів на різних глибинах є неоднаковою і характеризується значною мінливістю.

Висновки. Дослідження ґрунтів Лівобережного Лісостепу України свідчать про неоднорідність структурно-агрегатного складу ґрунтів в межах окремих агроценозів. Доведено, що існування неоднорідних за формою рельєфу територій, різного видового складу ґрунтів в межах агроценозів, а також ефективність ведення землеробської діяльності суттєво впливають на стабільність та вміст агрономічно-цінних та водостійких агрегатів. Найбільш стабільними агрегатами характеризуються ґрунти, розташовані на відносно плоских верхніх частинах території, де ерозійні процеси не мають значного впливу. Водостійкі агрегати також зосереджені на увігнутих частинах схилу через накопичення раніше еродованого ґрунтового матеріалу. Найнижчою стійкістю структурних агрегатів характеризуються ґрунти, розташовані на крутих схилах через наявний вплив ерозійних процесів. Разом з тим, визначається значний вплив генетичної природи ґрунтів на вміст агрономічно-цінних фракцій та водостійкість агрегатів: найбільш оструктуреними виявилися ґрунти чорноземного типу.

Бібліографічні посилання:

1. Agrofizicheskie issledovaniya v opytah po obrabotke i udobreniju pochv: metodicheskie rekomendacii. [Agrophysical research in experiments on soil cultivation and fertilization: methodological recommendations]. (1977). Ukrainskij nauchno-issledovatel'skij institut pochvovedeniya i agrohimii im. A. N. Sokolovskogo. Kharkiv, 58 (in Russian).
2. Brady, N. C. & Weil, R. R. (2016). The Nature and Properties of Soils. 15th edition. Fifteenth edition. Pearson, Columbus, 144–156.
3. Bronick, C. J. & Lal, R. (2005). Soil structure and management: a review. *Geoderma*, 124, 3–22.
4. Cantón, Y., Solé-Benet, A., Asensio, C., Chamizo, S. & Puigdefábregas, J. (2009). Aggregate stability in range sandy loam soils relationships with runoff and erosion. *Catena*, 77, 192–199.
5. Coleman, D.C., Callahan, M.A. & Crossley, D.A. (2018). *Fundamentals of Soil Ecology* (third ed.). Academic Press, Elsevier, London, UK. 15–19.
6. Chornyi, S.H. (2018). Otsinka yakosti gruntiv: navchalnyi posibnyk. Mykolaiv: MNAU, 26–29 (in Ukrainian).
7. DSTU 4287:2004. Yakist hruntu. Vidbyrannia prob [Soil Quality. Sampling] (2005). Derzhspozhyvstandart, Kyiv, 9 (in Ukrainian).
8. DSTU 4730:2007. Yakist hruntu. Vyznachannia hranulometrychnoho skladu metodom pipetky v modyfikatsii N.A. Kachynskoho [Soil Quality. Determination of granulometric composition by pipette method in modification of N.A. Kaczynski]. (2009). Derzhspozhyvstandart, Kyiv, 19 (in Ukrainian).
9. DSTU 4744:2007. Yakist hruntu. Vyznachennia strukturno-ahrehatnoho skladu sytovym metodom u modyfikatsii N. I. Savvinova [Soil Quality. Determination of structural-aggregate composition using sieve method in the version of N. I. Savvinov]. (2008). Kyiv, Derzhspozhyvstandart, 12 (in Ukrainian).
10. Duan, L., Sheng, H., Yuan, H., Zhou, Q. & Li, Z. (2021). Land use conversion and lithology impacts soil aggregate stability in subtropical China. *Geoderma*, 389.
11. Gajic, B., Dugalic, G. & Djurovic, N. (2006). Comparison of soil organic matter content, aggregate composition and water stability of gleyic fluvisol from adjacent forest and cultivated areas. *Agronomy Research*, 4 (2), 499–508.
12. Gholoubi, A., Emami, H. & Caldwell, T. (2019). Deforestation effects on soil aggregate stability quantified by the high-energy moisture characteristic method. *Geoderma*, 355, 113919. doi: 10.1016/j.geoderma.2019.113919
13. Magdoff, F. R. & Es, H. M. (2000). *Building Soils for Better Crops*. Second edition. Handbook Series Book 4. Sustainable Agric. Network, Beltsville, MD, 21–32.
14. Mammadov, G. & Leah, T. (2021). Changes of some agrophysical properties of Azerbaijan dry subtropics soils using various fertilizer systems. *Scientific Papers. Series A. Agronomy*, 2, 63–70.
15. Medvedev, V. V. (2007). Neodnorodnost pochv i tochnoe zemledelie. Chast 1. Vvedenie v problemu. [Soil heterogeneity and precision farming. Part 1. Introduction to the problem]. Kharkiv: 13 tipografiya, 62–66 (in Russian).
16. Medvedev, V. V. (2008). Struktura pochvy: metody, genesis, klassifikatsiya, evolyutsiya, geografiya, monitoring, ohrana [Soil structure: methods, genesis, classification, evolution, geography, monitoring, protection]. Kharkiv: 13 tipografiya, 38–63 (in Russian).
17. Medvedev, V. V. (2009). Neodnorodnost pochv i tochnoe zemledelie. Chast 2. Rezultaty issledovaniy. [Soil heterogeneity and precision farming. Part 2. Results of research]. Kharkiv: Gorodskaya tipografiya, 31–97 (in Russian).
18. Naveed, M., Moldrup, P., Vogel, H.-J., Lamande, M., Wildenschild, D., Tuller, M. & Jonge L. W. (2014). Impact of long-term fertilization practice on soil structure evolution. *Geoderma*, 217, 181–189.
19. Nedvyha, M. V. & Halasun, Y. P. (2012). Strukturno-ahrehatnyi stan chornozemu opidzolenoho za tryvaloho zastosuvannia riznykh system udobrennia u lantsi polovoi sivozminy [Structural and aggregate state of black soil ashed with prolonged use of various fertilization systems in the field crop rotation link]. *Zahalne zemlerobstvo*, 1–2, 34–43 (in Ukrainian).

20. Patra, S., Julich, S., Feger, K. H., Jat, M. L., Jat, H., Sharma, P. C. & Schwarzl, K. (2019). Soil hydraulic response to conservation agriculture under irrigated intensive cereal-based cropping systems in a semiarid climate. *Soil Tillage Resources*, 192, 151–163.
21. Pavlu, L., Kodesova, R., Vasat, R., Fer, M., Klement, A., Nikodem, A. & Kapicka, A. (2022). Estimation of the stability of topsoil aggregates in areas affected by water erosion using selected soil and terrain properties. *Soil and Tillage Research*, 219(1), 105348. doi: 10.1016/j.still.2022.105348.
22. Puvlichna kadastrova karta Ukrainy [Public cadastral map of Ukraine]. Access mode: <https://map.land.gov.ua> (in Ukrainian).
23. Rabot, E., Wiesmeier, M., Schlüter, S. & Vogel, H. J. (2018). Soil structure as an indicator of soil functions. *Geoderma*, 314, 122–137. doi: 10.1016/j.geoderma.2018.04.006.
24. Schlueter, S., Sammartino, S. & Koestel, J. (2020). Exploring the relationship between soil structure and soil functions via pore-scale imaging. *Geoderma*, 370, 114370. doi: 10.1016/j.geoderma.2020.114370.
25. Shepherd, T. G., Saggart, S., Newman, R. H., Ross, C. W. & Dando, J. L. (2001). Tillage-induced changes to soil structure and organic carbon fraction in New Zealand soils. *Australian Journal of Soil Research*, 39, 465–489. doi: 10.1071/SR00018
26. Shevchenko, M.V. (2019). Naukovi osnovy system obrobittu gruntuv v umovah nestikoho ta nedostaniho zvolozhenia: momografa [Scientific foundations of soil cultivation systems in conditions of unstable and insufficient moisture: monograph]. KhNAU, Kharkiv, 18–34 (in Ukrainian).
27. Singh, P. & Benbi, D. K. (2018). Soil organic carbon pool changes in relation to slope position and land-use in Indian lower Himalayas. *Catena*, 166, 171–180. doi: 10.1016/j.catena.2018.04.006.
28. Slimani, H., Aidoud, A. & Roze, F. (2010). 30 Years of protection and monitoring of a steppic rangeland undergoing desertification. *Journal of Arid Environments*, 74, 685–691.
29. Sokolovsky, A. N. (1971). Izbrannyye trudy [Selected writings]. Pochvovedenie i agrokimiya. Urozhaj, Kiev, 58–107 (in Russian).
30. Tirgarsoltani, M. T., Gorji, M., Mohammadi, M. H. & Millan, H. (2014). Evaluation of models for description of wet aggregate size distribution from soils of different land uses. *Soil Science & Plant Nutrition*, 60 (2), 123–133.
31. Tsapko, Yu. L. & Ohorodnia, A. I. (2014). Vplyv kultur-fitomeliorativ na strukturnyi sklad chornozemu opidzolenoho Livoberezhnoho Lisostepu Ukrainy [The impact of individual phyto-ameliorative crops upon the structural composition of podzolic chernozem of eastern forest steppe in Ukraine]. *Visnyk KhNAU imeni V. V. Dokuchaieva*, 2, 20–25 (in Ukrainian).
32. Zhang, P., Wang, Y., Xu, L., Li, R., Sun, H. & Zhou, J. (2021). Factors controlling spatial variation in soil aggregate stability in a semi-humid watershed. *Soil Tillage Research*, 214, 10. Res. doi: 10.1016/j.still.2021.105187

Plisko I.V., Doctor (Agricultural Sciences), Senior Research Fellow, National Scientific Center «Institute for Soil Science and Agrochemistry Research named after O.N. Sokolovsky», Kharkiv, Ukraine

Kutsova K.M., PhD student, National Scientific Center «Institute for Soil Science and Agrochemistry Research named after O.N. Sokolovsky», Kharkiv, Ukraine

Spatial heterogeneity of structural and aggregate composition of soils within separate agrocenoses of the left-bank Forest-Steppe of Ukraine

The results of the study of the structural and aggregate composition of heterogeneous landforms of separate agrocenoses of the Left-Bank Forest-Steppe of Ukraine are highlighted. The strengthening of anthropogenic impact on soils leads to deformation, destruction of micro- and macro-aggregates and is reflected in the efficiency of agricultural activity, which actualizes the study of structural and aggregate composition of arable soils and assessment of heterogeneity of their main indicators. The heterogeneity of the content of structural fractions of aggregates, including water-resistant ones, is investigated by the sieve method in the modification of N.I. Savvinov (DSTU 4744: 2007) using methods of statistical and geostatistical data analysis. The influence of the components of the relief and genetic nature of soils on the heterogeneity of structural and aggregate composition and water resistance of soil aggregates is analyzed. It was found that the structural composition of the soils of the Left Bank Forest-Steppe of Ukraine is dominated by agronomically valuable aggregates. The variability of the heights of the terrain, the slope exposure and the angles of their inclination was characterized by close links with the formation of the lumps fraction. Its increase was observed together with the increase in surface height. Orographic heterogeneity in space determines the differentiation of the stability of soil aggregates of experimental agrocenoses at different depths. It is found that the increase in slope steepness has a negative effect on the formation and distribution of structural elements: in the foothills and concave parts of the slope, it is increased the content of water-resistant units due to the accumulation of previously eroded soil material. Well-structured soils are concentrated on relatively leveled parts of the studied objects. Type composition of soils is variable over a relatively short distance due to the different intensity of accumulation processes, which determines the territorial mosaic of structural and aggregate composition and content of water-resistant aggregates. It is established that dark gray podzolized soils are determined by excessive water resistance of soils and, in some cases, the predominance of silty fraction, in contrast to chernozems podzolized with favorable conditions and better structural and aggregate composition.

Key words: agrocenosis, soil aggregates, spatial heterogeneity, structural-aggregate composition, water resistance.

СУЧАСНИЙ СТАН ВИДОВОГО РІЗНОМАНІТТЯ ФІТОПЛАНКТОНУ ТА ОЦІНКА ЯКОСТІ ВОДИ КРЕМЕНЧУЦЬКОГО ВОДОСХОВИЩА ЗА ІНДЕКСОМ САПРОБНОСТІ

Рудик-Леуська Наталія Ярославівна

кандидат біологічних наук, доцент

Національний університет біоресурсів і природокористування України,
м. Київ, Україна

ORCID: 0000-0003-4355-7071

rudyk-leuska@ukr.net

Леуський Михайло Вікторович

старший лаборант

Національний університет біоресурсів і природокористування України,
м. Київ, Україна

ORCID: 0000-0001-5646-8524

leusky@ukr.net

Макаренко Аліна Анатоліївна

доктор філософії, асистент

Національний університет біоресурсів і природокористування України,
м. Київ, Україна

ORCID: 0000-0002-2166-8566

almakarenko912@gmail.com

Євтушенко Микола Юрійович

доктор біологічних наук, професор

член-кореспондент Національної академії наук України,

Національний університет біоресурсів і природокористування України,
м. Київ, Україна

ORCID: 0000-0002-8165-8802

n_yevtushenko@ukr.net

Фітопланктон – це основа автотрофної ланки водної екосистеми, продуцент органічних речовин та кисню, що формує енергетичну основу різноманіття гідробіонтів вищих трофічних рівнів, початкова ланка трофічних ланцюгів, джерело живлення безхребетних і риб на різних стадіях розвитку.

У літній період 2020–2021 рр. дослідили таксономічний склад, чисельність і біомасу фітопланктону, індекс сапробності в Кременчуцькому водосховищі. Для досягнення мети у процесі виконання досліджень використовували гідробіологічні та статистичні методи дослідження. Фітопланктон водосховища в літній період 2020–2021 рр. був представлений такими відділами: Cyanophyta, Euglenophyta, Bacillariophyta, Chlorophyta. Провідне місце за кількістю видів належало зеленим водоростям, інтенсивність розвитку яких залежала від температури води, менше значення мали синьо-зелені, діатомові водорості і зовсім незначну роль відіграли евгленові водорості.

Влітку 2020 року на досліджених ділянках середня чисельність фітопланктону в Кременчуцькому водосховищі становила 12427 тис.кл./л. при біомасі 1,463 мг/дм³, а в літній період 2021 року складала 28099 тис.кл./л. при біомасі 2,266 мг/дм³. Дослідження влітку 2020 року показали, що основу чисельності (74 %) та біомаси (35 %) фітопланктону формували ціанобактерії (синьо-зелені водорості) та діатомові водорості, які при незначній чисельності (7%) формували 44 % загальної біомаси водоростей, так влітку 2021 року спостерігали аналогічну картину, де основу чисельності (93 %) та біомаси (54 %) фітопланктону також формували ціанобактерії (синьо-зелені водорості) і діатомові водорості, що при незначній чисельності (2 %) формували 29 % загальної біомаси водоростей. Влітку 2020 року зелені водорості набули меншого розвитку у водосховищі формуючи 19 % від загальної чисельності та 17 % біомаси водоростей, а влітку 2021 року вони формували лише 5 % загальної чисельності та 15 % біомаси водоростей. Значно меншу роль у формуванні чисельності та біомаси фітопланктону відіграли евгленові водорості як при дослідженнях влітку 2020 року (0,1 та 3,2 %, відповідно), так і у 2021 році (0,1 та 1,6 %, відповідно).

Згідно переважаючих індикаторних видів сапробності, якість води Кременчуцького водосховища відноситься до β-мезосапробної зони на всіх досліджених ділянках.

Ключові слова: фітопланктон, Кременчуцьке водосховище, чисельність, біомаса, вид, «цвітіння» води, індекс сапробності.

DOI <https://doi.org/10.32845/agrobio.2022.2.19>

Вступ. В умовах інтенсивного антропогенного навантаження на екосистему Дніпровських водосховищ, а також поступового зниження умов риб на сьогодні актуальності набуває питання вивчення трофічного статусу водосховищ. Функціонування і продуктивність водосховищ, так як і будь-яких інших водних об'єктів, визначається різноманіттям трофічних рівнів, основна роль з яких належить автотрофному, який в Дніпровських водосховищах формується за рахунок фітопланктону (Lv et al., 2011; Shcherbak et al., 2014; Liu & Stevenson, 2017; Vallina et al., 2017; Li et al., 2020).

Найпродуктивнішим у Дніпровському каскаді є Кременчуцьке водосховище (створене у 1961 р.) – одне з шести великих водосховищ у каскаді на річці Дніпро в Черкаській, Полтавській та Кіровоградській областях. Корисний об'єм водосховища становить 9 км³, що складає 50 % корисного об'єму всіх водосховищ Дніпровського каскаду. Площа складає 2 250 км² (на сьогоднішній день це найбільше за площею водосховище в Україні). Запаси води 13,5 млрд.м³. Довжина водосховища становить 185 км, найбільша його ширина – 28 км, а найбільша глибина становить 28 м. Довжина берегової лінії близько 800 км (Denisova & Timchenko, 1989; Grebin et al., 2014; Rudyk-Leuska, 2020).

За умов розташування в сприятливих кліматичних умовах, мілководності та за розмірами Кременчуцьке водосховище планувалось як одне з найбільш рибопродуктивних в Європі.

В літній період на більшій частині акваторії Кременчуцького водоймища встановлюється озерний режим. При високій температурі повітря спостерігається інтенсивне «цвітіння» води, виникає скупчення водоростей, а їх подальше розмноження має негативні наслідки для санітарно-біологічного стану якості води (Shcherbak, 1999; Sukhodol'skaya et al., 2015; Zadorozhna & Shcherbak, 2016; Rasconi et al., 2017; Bortolini et al., 2018; Yang et al., 2020; Francé et al., 2021), внаслідок чого виникає дефіцит кисню в нижніх горизонтах води та в нічні години. Утворюються різноманітні органічні та неорганічні речовини, в тому числі і токсичні (Stotts et al., 1993; Oberholster et al., 2004; Wang et al., 2012; Ma et al., 2015; Cardoso et al., 2016; Hu et al., 2017; Yakovenko et al., 2017; Mishra et al., 2019; Rudyk-Leuska et al., 2020; Yan et al., 2020; Nikolenko & Fedonenko, 2021). Найбільш інтенсивний процес цвітіння води у Кременчуцькому водосховищі зафіксовано з 26 по 29 серпня 2016 р. (Shevchuk et al., 2019).

Дослідження з вивчення рівня розвитку фітопланктону Кременчуцького водосховища проводились протягом багатьох років рядом учених, починаючи з встановлення водосховища і до нинішнього часу (Sherstyuk, 1966; Tarasova, 1983; Tarasova et al., 1983; Kruzhilina, 2005; Khyzhniak et al., 2020).

Рівень вегетації водоростей протягом існування Кременчуцького водосховища зазнавав значних змін. Біомаса фітопланктону влітку з 1961–1964 рр. варіювала у межах 2,3–109 мг/дм³ з переважанням синьо-зелених (30–74 %) та діатомових (14,7–57,1 %) водоростей (Priimachenko, 1981). У 1968–1973 рр. (Shcherbak, 1989) середня біомаса

фітопланктону влітку становила 11,7 мг/дм³ за чисельності 102,0 тис.кл./дм³, у 1981–1984 рр. – 3,97 мг/дм³ при 71,3 тис. кл./дм³ відповідно. Встановлено, що основним типом сукцесії фітопланктону Кременчуцького водосховища є аутогенна, пов'язана з його біопродукційною активністю (Shcherbak, 1989). Влітку 1981–2007 рр. біомаса фітопланктону Кременчуцького водосховища коливалась від 1,089 (2003 р.) до 14,85 мг/дм³ (1991 р.) за чисельності 5,414–140,433 млн кл./дм³. Розглядаючи зміни біомаси фітопланктону в зазначений період у динаміці за роками, можна відзначити циклічність у його розвитку (Kruzhilina, 2010). Так, 1981–1985 рр. характеризувались значно високими біомасами фітопланктону, що в середньому за 5 років досліджень знаходились на рівні 6,06 мг/дм³ за чисельності 58,778 млн кл./дм³. У 1986–1990 рр. зафіксовано значний спад до рівня 3,7 мг/дм³ та чисельності 26,028 млн кл./дм³. Протягом 5 років відбулося підвищення біомаси фітопланктону у Кременчуцькому водосховищі, що перевищило показники 1981–1985 рр. у 1,5 рази, а в 1996–2000 рр. – встановлено значне зниження його біомас (3,06 мг/дм³) до рівня нижчого, якщо порівнювати з 1986–1990 рр. Період 2001–2005 рр. характеризувався підвищенням рівня вегетації водоростей, а 2006–2007 рр. – відбувся черговий спад (Kruzhilina, 2010).

Влітку 2016 року значення загальної біомаси фітопланктону Кременчуцького водосховища становили мінімальні 2,30±0,23 мг/дм³ на ділянці відбору № 2 (с. Леськи) та були вищими в 1,7 рази на двох інших станціях: 4,86±0,36 мг/дм³ на ділянці №1 (с. Червона Слобода) і 4,89±0,39 мг/дм³ на ділянці №3 (с. Худяки). Такі дані відповідають періоду занепаду фітопланктону Кременчуцького водосховища – 2,1–3,8 мг/дм³ – у 2004 р. (Kruzhilina, 2010; Khyzhniak et al., 2020).

Дослідження формування, функціонування автотрофної компоненти штучно створених водойм мають незаперечне теоретичне та прикладне значення для розробки принципів використання біопродукційного потенціалу штучних гідроекосистем та питань біоіндикації.

Враховуючи вище наведене, метою нашого дослідження було вивчити якісний та кількісний стан фітопланктону, його розподіл у Кременчуцькому водосховищі та оцінити якість води згідно переважаючих індикаторних видів сапробності.

Матеріали і методи досліджень. Відбір фітопланктонних проб здійснювали в літній період 2020–2021 рр. у середній частині Кременчуцького водосховища на ділянках – Кар'єр, Червона Слобода, Фарватер. Фітопланктон відбирали батометром Бекмана на різних горизонтах. Для консервації проб додавали 40 %-ий формальдегід з розрахунку 1:100. Методом седиментації проводили згущення проби. Проби фітопланктону продилялися в спеціальній лічильній камері Нажотта 0,01 см³ під світловим мікроскопом, визначали, а потім підраховували кількість всіх виявлених видів водоростей на 1,0 дм³ (Priimachenko, 1981).

Визначення таксономічного складу водоростей проводили за визначниками різних авторів (Korshikov, 1938; Kondratieva, 1968; Bukhtiyarova, 1999).

Біомасу фітопланктону визначали розрахунково-об'ємним методом (Torachevsky & Masyuk, 1984;

Scherbak, 2002; Arsan et al., 2006). Для визначення індексу сапробності (S) використовували метод Пантле і Букка в модифікації Сладечека (Pantle & Buck, 1955; Sládeček, 1973) з використанням списків видів-індикаторів, за якими встановлювали індикаторне значення сапробних організмів (Oleksiv, 1992).

Індекс сапробності Пантле-Букка (S) обчислювали за формулою:

$$S = \sum(s \cdot h) / \sum h,$$

де S – сумарний індекс водного об'єкту;

s – індикаторна значимість виду;

h – абсолютна чисельність виду.

Величина h знаходили за шестибальною шкалою значень частоти на підставі якої визначали відповідну кількість видів.

Результати. Влітку 2020 року видове різноманіття фітопланктону в Кременчуцькому водосховищі було представлено 48 таксономічними одиницями. Найбільш чисельними були зелені водорості – 24 таксони, діатомові та синьо-зелені налічували – 15 та 11 таксонів, відповідно.

Середня чисельність фітопланктону влітку 2020 року в Кременчуцькому водосховищі на досліджених ділянках складала 12427 тис.кл./л. при біомасі 1,463 мг/дм³. Основу чисельності (74 %) та біомаси (35 %) фітопланктону формували ціанобактерії (синьо-зелені водорості) та діатомові водорості, які при незначній чисельності (7 %) формували 44 % загальної біомаси водоростей. Зелені водорості набули меншого розвитку у водосховищі формуючи 19 % від загальної чисельності та 17 % біомаси водоростей. Евгленові водорості відігравали суттєво менше значення у формуванні чисельності і біомаси фітопланктону (0,1 та 3,2 %, відповідно) (табл. 1).

Домінуючими видами серед ціанобактерій за чисельністю і біомасою були: *Aphanizomenon flos-aquae* (25 %

та 17 %, відповідно), *Microcystis aeruginosa* (25 % та 10 %), *M. wesenbergii* (7 % та 3 %). Серед діатомових водоростей за біомасою: *Melosira italica* (21 %), *M. granulata* (6 %), *Cyclotella comta* (6 %), *Stephanodiscus hantschii* (5 %), *Synedra ulna* (3 %) (рис. 1).

Продукція фітопланктону за вегетаційний сезон може скласти 4317,0 кг/га, а можливий промисловий вилов риби за рахунок споживання фітопланктону – 11,0 кг/га.

Якість води Кременчуцького водосховища, згідно домінуючих індикаторних видів сапробності, відноситься до β-мезосапробної зони на всіх досліджених ділянках. За чисельністю клітин переважають водорості (індикатори сапробності), що відносять якість води в Кременчуцькому водосховищі до β-мезосапробної зони, так на ділянці Кар'єр вони складають 50 % від чисельності видів індикаторів, на ділянці Червона Слобода – 91 %, і Фарватер – 66 % (табл. 2).

Усього на різних досліджених ділянках водосховища зафіксовано від 17 до 27 індикаторних видів фітопланктону. Найбільша кількість видів водоростей зафіксованих у водосховищі відноситься до β-мезосапробної зони (табл. 3).

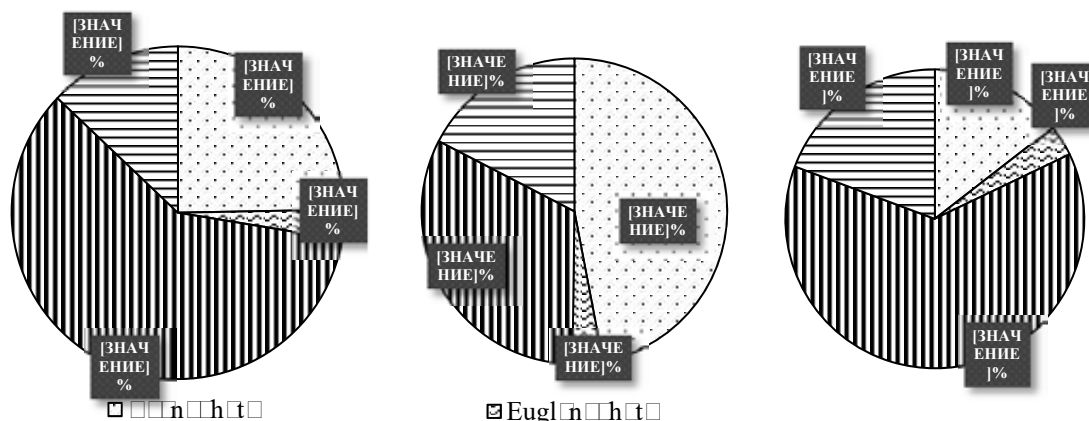
В літній період 2021 року видове різноманіття фітопланктону в Кременчуцькому водосховищі було представлено 43 таксономічними одиницями. Найбільш чисельними були зелені водорості – 22 таксони, діатомові та синьо-зелені налічували – 10 та 8 таксонів, відповідно.

Середня чисельність фітопланктону влітку 2021 року в Кременчуцькому водосховищі на досліджених ділянках складала 28099 тис.кл./л. при біомасі 2,266 мг/дм³. Основу чисельності (93 %) та біомаси (54 %) фітопланктону формували ціанобактерії (синьо-зелені водорості) та діатомові водорості, які при незначній чисельності (2 %) формували 29 % загальної біомаси водоростей.

Таблиця 1

Чисельність (тис.кл./л) і біомаса (мг/дм³) фітопланктону в Кременчуцькому водосховищі, літо 2020 р.

| Групи організмів | Кар'єр | | Червона Слобода | | Фарватер | | Середня | |
|---------------------------|---------------------------------|------|---------------------------------|------|---------------------------------|------|---------------------------------|------|
| | тис.кл./л мг/дм ³ | % | тис.кл./л мг/дм ³ | % | тис.кл./л мг/дм ³ | % | тис.кл./л мг/дм ³ | % |
| <i>Cyanophyta</i> | 3561 | 75,7 | 20645 | 74,5 | 3477 | 71,2 | 9227 | 74,3 |
| | 0,199 | 24,7 | 1,212 | 47,0 | 0,146 | 14,5 | 0,519 | 35,5 |
| <i>Euglenophyta</i> | 7 | 0,1 | 28 | 0,1 | 17 | 0,3 | 17 | 0,1 |
| | 0,024 | 2,9 | 0,083 | 3,2 | 0,034 | 3,4 | 0,047 | 3,2 |
| <i>Bacillariophyta</i> | 721 | 15,4 | 849 | 3,1 | 901 | 18,5 | 825 | 6,6 |
| | 0,479 | 59,5 | 0,832 | 32,4 | 0,631 | 62,8 | 0,648 | 44,3 |
| <i>Chlorophyta:</i> | 414 | 8,8 | 6171 | 22,3 | 490 | 10,0 | 2358 | 19,0 |
| | 0,105 | 12,9 | 0,450 | 17,4 | 0,194 | 19,3 | 0,249 | 17,0 |
| <i>Volvocales</i> | 108 | 2,3 | 5283 | 19,1 | 157 | 3,2 | 1849 | 14,9 |
| | 0,046 | 5,7 | 0,287 | 11,2 | 0,093 | 9,2 | 0,142 | 9,7 |
| <i>Chlorococcales</i> | 293 | 6,2 | 854 | 3,1 | 333 | 6,8 | 493 | 4,0 |
| | 0,054 | 6,8 | 0,152 | 5,9 | 0,101 | 10,1 | 0,103 | 7,0 |
| <i>Conjugatophyceae</i> | 13 | 0,3 | 34 | 0,1 | 0 | 0 | 16 | 0,1 |
| | 0,003 | 0,4 | 0,010 | 0,4 | 0 | 0 | 0,004 | 0,3 |
| Всього | 4703 | 100 | 27693 | 100 | 4885 | 100 | 12427 | 100 |
| | 0,806 | 100 | 2,577 | 100 | 1,005 | 100 | 1,463 | 100 |
| Кількість таксонів | 35 | | 40 | | 29 | | 48 | |



Кар'єр Червона Слобода Фарватер

Рис. 1. Біомаса основних груп фітопланктону у Кременчуцькому водосховищі в 2020 р., %

Таблиця 2

Оцінка якості води Кременчуцького водосховища згідно наявності організмів індикаторів сапробності в літній період 2020 р.

| Види водоростей | Зона сапробності | Індекс сапробності | Чисельність клітин, кл./л на станціях відбору проб | | |
|--------------------------------------|------------------|--------------------|--|-----------------|----------|
| | | | Кар'єр | Червона Слобода | Фарватер |
| <i>Trachelomonas volvocina</i> | о-α | 2 | – | 8528 | 4264 |
| <i>Phacus eleganza</i> | о-β | 15 | 6400 | 17056 | 4264 |
| <i>Eudorina elegans</i> | β | 1,85 | 51200 | – | 12480 |
| <i>Pandorina morum</i> | β | 2 | 51200 | – | – |
| <i>Scenedesmus acuminatus</i> | β | 2,2 | 25600 | 17056 | – |
| <i>S. acutiformis</i> | β | 1,8 | – | 93808 | – |
| <i>S. quadricauda</i> | β | 2 | 12800 | 17056 | – |
| <i>S. arcuatus</i> | β | 1,8 | – | – | 68224 |
| <i>S. opoliensis</i> | β | 2 | – | 25584 | 34112 |
| <i>Actinastrum hantzschii</i> | β | 2 | – | 34112 | – |
| <i>Coelastrum microporum</i> | β | 2 | 51200 | – | – |
| <i>Pediastrum boryanum</i> | β | 0,85 | 8320 | – | – |
| <i>Dictyosphaerium pulchellum</i> | β | 2,15 | – | 10240 | – |
| <i>Crucigenia tetrapedia</i> | о-α | 1,75 | – | 272896 | – |
| <i>Aphanizomenon flos-aquae</i> | β | 2,25 | 960000 | 7385600 | 1060800 |
| <i>Anabaena spiroides</i> | о-β | 1,35 | 1216000 | 498888 | 76752 |
| <i>A. flos-aquae</i> | β | 2 | – | 469040 | 29640 |
| <i>A. solitaria</i> | о-β | 1,6 | 73600 | – | – |
| <i>Microcystis aeruginosa</i> | β | 1,75 | 320000 | 8528000 | 468000 |
| <i>M. wesenbergii</i> | β | 2 | 364000 | 2304000 | – |
| <i>Merismopedia tenuissima</i> | β-α | 2,45 | – | 85280 | – |
| <i>Synedra acus</i> | β | 1,85 | 1600 | 21320 | 8528 |
| <i>S. ulna</i> | х-α | 1,95 | 3200 | 12792 | 8528 |
| <i>Melosira italica.</i> | о-β | 1,6 | 576000 | 405080 | 717600 |
| <i>M. granulata</i> | β | 1,8 | 54600 | 127920 | 59696 |
| <i>Stephanodiscus hantzschii</i> | α | 2,7 | 19200 | 106600 | 68224 |
| <i>Fragilaria crotonensis</i> | о-β | 1,4 | 6400 | – | – |
| <i>Cymbella lanceolata</i> | β | 1,9 | 6400 | – | – |
| <i>Navicula cryptocephala</i> | α | 2,7 | 25600 | 25584 | 12792 |
| <i>N. viridula</i> | α | 2,8 | – | 17056 | – |
| <i>N. gracilis</i> | о-β | 1,65 | – | 12792 | – |
| <i>Caloneis amphibaena</i> | β-α | 2,35 | – | 4264 | – |
| <i>Nitzschia longissima f. parva</i> | β | 2 | 12800 | 8528 | 8528 |
| <i>Cyclotella comta</i> | о | 1,15 | 16000 | 63960 | 8528 |
| <i>Amphipleura pellucida</i> | β | 1,9 | – | 8528 | – |
| Індекс сапробності | – | – | 1,84 | 1,99 | 1,90 |

Таблиця 3

Кількість видів індикаторів сапробності
в Кременчуцькому водосховищі

| Зона сапробності | Станції відбору проб | | |
|------------------|----------------------|-----------------|----------|
| | Кар'єр | Червона Слобода | Фарватер |
| β | 13 | 14 | 9 |
| β-α | - | 2 | - |
| о-β | 5 | 4 | 3 |
| α | 2 | 3 | 2 |
| о | 1 | 1 | 1 |
| х-α | 1 | 1 | 1 |
| о-α | - | 2 | 1 |
| Усього | 22 | 27 | 17 |

Зелені водорості набули меншого розвитку у водосховищі формуючи 5 % загальної чисельності та 15 % біомаси водоростей. Евгленові водорості відігравали суттєво менше значення у формуванні чисельності і біомаси фітопланктону (0,1 та 1,6 %, відповідно) (табл. 4).

Домінуючими видами серед ціанобактерій за чисельністю і біомасою були: *Microcystis aeruginosa* (12 % та 7 %), *M. wesenbergii* (65 % та 39 %), *Aphanizomenon flos-aquae* (2 % та 2 %), *Gomphosphaeria lacustris* (5 % та 1 %), *Anabaena spiroides* (5 % та 3 %), *Anabaena flos-aquae* (2 % та 2 %, відповідно). Серед діатомових водоростей за біомасою: *Melosira italica* (9 %), *M. granulata* (6 %), *Cyclotella comta* (6 %), *Stephanodiscus hantschii* (1 %), *Synedra ulna* (5 %), *Caloneis amphisbaena* (2 %) (рис. 2).

Продукція фітопланктону за вегетаційний сезон може скласти 6898,0 кг/га, а можливий промисловий вилов риби за рахунок споживання фітопланктону – 18,9 кг/га.

Якість води Кременчуцького водосховища, згідно домінуючих індикаторних видів сапробності, відноситься до β-мезосапробної зони на всіх досліджених ділянках. За чисельністю клітин переважають водорості (індикатори сапробності), що відносять якість води в Кременчуцькому водосховищі до β-мезосапробної зони, так на ділянці Кар'єр вони складають 68 % від чисельності видів індикаторів, на ділянці Червона Слобода – 89 %, і Фарватер – 86 % (табл. 5).

Таблиця 4

Чисельність (тис.кл./л) і біомаса (мг/дм³) фітопланктону в Кременчуцькому водосховищі, літо 2021 р.

| Групи організмів | Кар'єр | | Красна Слобода | | Фарватер | | Середня | |
|------------------------|--------------------------------|------|--------------------------------|------|--------------------------------|------|--------------------------------|------|
| | тис.кл/л мг/дм ³ | % | тис.кл/л мг/дм ³ | % | тис.кл/л мг/дм ³ | % | тис.кл/л мг/дм ³ | % |
| <i>Cyanophyta</i> | 16647 | 91,3 | 37365 | 95,7 | 24335 | 90,1 | 26115 | 92,9 |
| | 0,811 | 51,5 | 1,717 | 62,4 | 1,166 | 47,2 | 1,231 | 54,3 |
| <i>Euglenophyta</i> | 1 | + | 19 | 0,1 | 38 | 0,1 | 20 | 0,1 |
| | 0,003 | 0,2 | 0,041 | 1,5 | 0,063 | 2,5 | 0,035 | 1,6 |
| <i>Bacillariophyta</i> | 1081 | 5,9 | 560 | 1,4 | 422 | 1,6 | 688 | 2,4 |
| | 0,697 | 44,3 | 0,631 | 22,9 | 0,661 | 26,7 | 0,663 | 29,3 |
| <i>Chlorophyta:</i> | 510 | 2,8 | 1108 | 2,8 | 2212 | 8,2 | 1276 | 4,5 |
| | 0,063 | 4 | 0,363 | 13,2 | 0,582 | 23,6 | 0,336 | 14,8 |
| <i>Volvocales</i> | 118 | 0,6 | 208 | 0,5 | 442 | 1,6 | 256 | 0,9 |
| | 0,011 | 0,7 | 0,066 | 2,4 | 0,28 | 11,3 | 0,119 | 5,2 |
| <i>Chlorococcales</i> | 392 | 2,2 | 900 | 2,3 | 1770 | 6,6 | 1020 | 3,6 |
| | 0,052 | 3,3 | 0,297 | 10,8 | 0,302 | 12,3 | 0,217 | 9,6 |
| Усього | 18239 | 100 | 39052 | 100 | 27007 | 100 | 28099 | 100 |
| | 1,574 | 100 | 2,751 | 100 | 2,472 | 100 | 2,266 | 100 |
| Кількість таксонів | 31 | | 27 | | 24 | | 43 | |

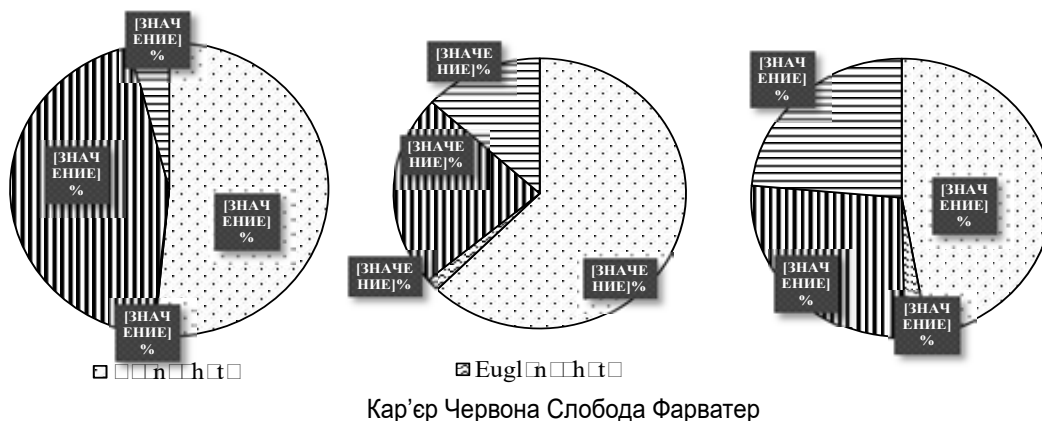


Рис. 2. Біомаса основних груп фітопланктону у Кременчуцькому водосховищі в 2021 р., %

Оцінка якості води Кременчуцького водосховища згідно наявності організмів індикаторів сапробності в літній період 2021 р.

| Види водоростей | Зона сапробності | Індекс сапробності | Чисельність клітин, кл./л на станціях відбору проб | | |
|-----------------------------------|------------------|--------------------|--|-----------------|----------|
| | | | Кар'єр | Червона Слобода | Фарватер |
| <i>Trachelomonas volvocina</i> | о-α | 2 | – | 19200 | 19200 |
| <i>Phacus elegans</i> | о-β | 15 | 624 | – | – |
| <i>Eudorina elegans</i> | β | 1,85 | – | – | 153600 |
| <i>Pandorina morum</i> | β | 2 | 12000 | – | 153600 |
| <i>Volvox globator</i> | о-β | 1,4 | 93600 | 180000 | 76800 |
| <i>Scenedesmus acuminatus</i> | β | 2,2 | 24000 | – | – |
| <i>S. quadricauda</i> | β | 2 | 48000 | – | – |
| <i>S. arcuatus</i> | β | 1,8 | – | 9600 | 30720 |
| <i>Coelastrum microporum</i> | β | 2 | 76800 | – | – |
| <i>Pediastrum boryanum</i> | β | 0,85 | 16000 | 35520 | – |
| <i>Pediastrum duplex</i> | β | 1,7 | – | – | 30720 |
| <i>Dictyosphaerium pulchellum</i> | β | 2,15 | 24000 | 28800 | – |
| <i>Crucigenia tetrapedia</i> | о-α | 1,75 | – | – | 76800 |
| <i>Aphanizomenon flos-aquae</i> | β | 2,25 | 480000 | 576000 | 960000 |
| <i>Anabaena spiroides</i> | о-β | 1,35 | 2426498 | 604800 | 1094400 |
| <i>A. flos-aquae</i> | β | 2 | 1854000 | – | – |
| <i>Gomphosphaeria lacustris</i> | о-β | 1,6 | 1200000 | 1920000 | 960000 |
| <i>Microcystis aeruginosa</i> | β | 1,75 | 6836416 | 2920000 | 520000 |
| <i>M. wesenbergii</i> | β | 2 | 3250000 | 30720000 | 20800000 |
| <i>Merismopedia tenuissima</i> | β-α | 2,45 | 600000 | 614400 | – |
| <i>Asterionella formosa</i> | о-β | 1,4 | 72000 | 76800 | – |
| <i>Synedra acus</i> | β | 1,85 | 12000 | 9600 | – |
| <i>S. ulna</i> | х-α | 1,95 | 12000 | 28800 | 19200 |
| <i>Melosira italica.</i> | о-β | 1,6 | 780000 | 76800 | 249600 |
| <i>M. granulata</i> | β | 1,8 | 132000 | 192000 | – |
| <i>Stephanodiscus hantschii</i> | α | 2,7 | 18200 | 46080 | – |
| <i>Navicula cryptocephala</i> | α | 2,7 | 36000 | 86400 | 19200 |
| <i>N. gracilis</i> | о-β | 1,65 | 18000 | – | 19200 |
| <i>Caloneis amphibaena</i> | β-α | 2,35 | – | – | 19200 |
| <i>Cyclotella comta</i> | о | 1,15 | 1249 | 43200 | 96000 |
| Індекс сапробності | – | – | 2,42 | 1,83 | 1,82 |

Усього на різних досліджених ділянках водосховища зафіксовано від 22 до 27 індикаторних видів фітопланктону. Найбільша кількість видів водоростей зафіксованих у водосховищі відноситься до β-мезосапробної зони (табл. 6).

Таблиця 6

Кількість видів індикаторів сапробності в Кременчуцькому водосховищі

| Зона сапробності | Станції відбору проб | | |
|------------------|----------------------|-----------------|----------|
| | Кар'єр | Червона Слобода | Фарватер |
| о | 1 | 1 | 1 |
| о-β | 7 | 5 | 5 |
| β | 10 | 13 | 11 |
| β-α | 2 | 2 | - |
| α | 2 | 2 | 1 |
| х-α | 1 | 1 | 1 |
| о-α | - | 1 | 2 |
| α | 2 | 2 | 1 |
| Усього | 25 | 27 | 22 |

Обговорення. Детальний аналіз температурних показників Кременчуцького водосховища у серпні 2016 року показав тенденцію до зростання коефіцієнта їх варіації ($C_v = 10,69 - 13,97\%$). Це вказує на нестабільність і стресовість температурних умов водного середовища для живих організмів. Найстійкішими до коливань температури виявились синьо-зелені водорості видів *Microcystis aeruginosa* Kutz. emend. Elenkin і *Anabaena flos-aquae* sp. (Oberholster et al., 2003; Ma et al., 2015; Zadorozhna & Shcherbak, 2016; Rasconi et al., 2017; Bortolini et al., 2019; Rudyk-Leuska et al., 2020; Yang et al., 2020). Їх максимальні показники зафіксовано у акваторії поблизу смт. Червона Слобода.

Накладання температурного фактора, та ряду інших абіотичних чинників приводить до інтенсивного "цвітіння" і подальшого масового відмирання водоростей *Cyanophyta*. Найбільш небезпечними є спекотні сонячні дні, коли температура повітря піднімається до 18–32 °С, а води 21–25,8 °С. У результаті летальних наслід-

ків з екосистеми випадають значні кількості найчутливіших видів водних живих організмів: Рак широкопалий (*Astacus astacus*), Судак звичайний (*Sander lucioperca*). У представлених даних віддзеркалюється процес глобального потепління (Rudyk-Leuska et al., 2020).

У результаті експериментів, проведених в природних та модельних умовах встановлено, що впродовж інтенсивного розвитку синьо-зелених водоростей, коли відбувається "цвітіння", виділяються специфічні речовини метаболіти, які мають сильний вплив на формування фітопланктоценозу і бактеріоценозу. Синьо-зелені водорості виробляють токсини, які мають особливі властивості, а саме: протимікробну дію на сапрофітні, патогенні і потенційно патогенні мікроорганізми та віруси (Sirenko & Kirpenko, 2000; Shevchuk et al., 2019).

Встановлено, що прісноводні ціанобактерії (синьо-зелені водорості) *Microcystis aeruginosa* та *Anabaena flos-aquae* продукують гепатотоксичні пептиди, які викликають ознаки отруєння у мишей (LD₅₀, 50 мкг / кг) (Krishnamurthy et al., 1986; Khyzhniak et al., 2020).

Проаналізувавши отримані дані по фітопланктону Кременчуцького водосховища та умови для нагулу риб фітофагів у 2020-2021 рр. з точки зору наявності природної кормової бази, загалом можна оцінити як задовільний. У 2020 році домінуючими видами серед ціанобактерій за чисельністю і біомасою були: *Aphanizomenon flos-aquae* (25 % та 17 %, відповідно), *Microcystis aeruginosa* (25 % та 10 %), *M. wesenbergii* (7 % та 3 %), а у 2021 році *Microcystis aeruginosa* (12 % та 7 %), *M.*

wesenbergii (65 % та 39 %), *Aphanizomenon flos-aquae* (2 % та 2 %), *Gomphosphaeria lacustris* (5 % та 1 %), *Anabaena spiroides* (5 % та 3 %), *Anabaena flos-aquae* (2 % та 2 %, відповідно). Отримані дані за розвитком фітопланктону, а також її продукція свідчать про цілком задовільну забезпеченість риб – фітофагів їжею.

Висновки. У літній період 2020–2021 рр. біомаса фітопланктону Кременчуцького водосховища коливалась в межах 1,463 мг/дм³ (2020 р.) до 2,266 мг/дм³ (2021 р.). За період досліджень біомаса фітопланктону значною мірою формувалась за рахунок розвитку синьо-зелених та діатомових водоростей. Продукційні можливості Кременчуцького водосховища влітку 2020–2021 рр. коливались у межах 4317,0–6898,0 кг/га, тобто сучасний рівень вегетації водоростей може забезпечити промисловий вилов риб фітопланктофагів на рівні 11,0–18,9 кг/га. Згідно переважаючих індикаторних видів сапробності, якості води Кременчуцького водосховища відноситься до β-мезосапробної зони на всіх досліджених ділянках. За чисельністю клітин домінують водорості (індикатори сапробності), що відносять якість води в Кременчуцькому водосховищі до β-мезосапробної зони. В подальшому необхідно продовжити досліджувати зміни чисельності та видового складу фітопланктону Кременчуцького водосховища, так як видовий склад водоростей є чутливим індикатором умов існування, який відображає особливості генезису, ступінь антропогенного впливу та рівень продуктивності водойм.

Бібліографічні посилання:

1. Arsan, O. M., Davydov, O. A., Diachenko, T. M. та in. (2006). Metody hidroekologichnykh doslidzhen poverkhnevnykh vod [Methods of hydroecological research of surface waters]; za red. V. D. Romanenka; NAN Ukrainy. In-t hidrobiologii. Vyd-vo «Lohos», Kiev, 408 (in Ukrainian).
2. Bortolini, J. C., da Silva, P. R. L., Baumgartner, G., & Bueno, N. C. (2018). Response to environmental, spatial, and temporal mechanisms of the phytoplankton metacommunity: comparing ecological approaches in subtropical reservoirs. In *Hydrobiologia*, 830(1), 45–61. Springer Science and Business Media LLC. doi: 10.1007/s10750-018-3849-8
3. Bukhtiyarova, L. M. (1999). Diatoms of Ukraine. *Inland waters*. Kyiv, 133.
4. Cardoso, A. S., Marwell, D. T. B., Sobral, M. do C. M., Melo, G. L. de, & Casé, M. C. C. (2016). Análise da presença do fitoplâncton em bacia integrante do Projeto de Integração do Rio São Francisco, região semiárida, Nordeste brasileiro. In *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, 22(2), 261–269. FapUNIFESP (SciELO). doi: 10.1590/s1413-41522016146707
5. Denisova, A. I., Timchenko, V. M., Nahshina, E. P. i dr. Otv. red. Shevchenko M. A. (1989). *Gidrologija i gidrohimija Dnepra i ego vodohranilishh* [Hydrology and hydrochemistry of the Dnieper and its reservoirs]. AN USSR. Institut gidrobiologii. Nauk. dumka, Kiev, 216 (in Russian).
6. Francé, J., Varkitzi, I., Stanca, E., Cozzoli, F., Skejić, S., Ungaro, N., Vascotto, I., Mozetič, P., Ninčević Gladan, Ž., Assimakopoulou, G., Pavlidou, A., Zervoudaki, S., Pagou, K., & Basset, A. (2021). Large-scale testing of phytoplankton diversity indices for environmental assessment in Mediterranean sub-regions (Adriatic, Ionian and Aegean Seas). In *Ecological Indicators*, 126, 107630. Elsevier BV. doi: 10.1016/j.ecolind.2021.107630
7. Grebin, V. V., Khilchevsky, V. K., Stashuk, V. A., Chunaryov, O. V., & Yaroshevich, O. E. (2014). Water Fund of Ukraine. Artificial reservoirs. Reservoirs and ponds. Interpress LTD Kiev, 163(1).
8. Hu, R., Duan, X., Peng, L., Han, B., & Naselli-Flores, L. (2017). Phytoplankton assemblages in a complex system of interconnected reservoirs: the role of water transport in dispersal. In *Hydrobiologia* (Vol. 800, Issue 1, pp. 17–30). Springer Science and Business Media LLC. doi: 10.1007/s10750-017-3146-y
9. Khyzhniak, M. I., Rudyk-Leuska, N. Y., Yevtushenko, N. Y., Leuskyi, M. V., Dudnyk, S. V., Danchuk, O. V., Dumych, O. Y. (2020). Development and structure of phytoplankton in the middle part of Kremenchug reservoir. *Ukrainian Journal of Ecology*, 10(4), 132–136. doi: 10.15421/2020_180
10. Kondratieva, N. V. (1968). *Vyznachnyk prisenovodnykh vodorostei Ukrainskoi RSR. Vyp. 2. Syno-zeleni vodorosti – Cyanophyta. Klas Hormohoniievi – Hognogoniophyceae* [Determinant of freshwater algae of the Ukrainian SSR. edit. 2. Blue-green algae – Cyanophyta. Class Hormogonium – Hognogoniophyceae]. Kiev: Nauk. dumka, 524 s (in Ukrainian).
11. Korshykov, O. A. (1938). *Vyznachnyk prisenovodnykh vodorostei Ukrainskoi RSR. Vyp. 4. [Determinant of freshwater algae of the Ukrainian SSR. edit. 4]. Vyd-vo Akad. nauk URSS, Kiev, 184 (in Ukrainian).*

12. Krishnamurthy, T., Carmichael, W. W., & Sarver, E. W. (1986). Toxic peptides from freshwater cyanobacteria (blue-green algae). I. Isolation, purification and characterization of peptides from *Microcystis aeruginosa* and *Anabaena flos-aquae*. In *Toxicon*, 24(9), 865–873. Elsevier BV. doi: 10.1016/0041-0101(86)90087-5
13. Kruzhylina, S. V. (2005). Zhyvlennia strokatoho tovstolobyka (*Aristichthys nobilis* (Rich.)) v ponyzzi Kremenchutskoho vodoshkovyshcha [Feeding of the Bighead carp (*Aristichthys nobilis* (Rich.)) in the lower part of the Kremenchuk Reservoir]. *Ryb. hosp.*, 64, 116–111 (in Ukrainian).
14. Kruzhylina, S. V. (2010). Bahatorichna dynamika kilkisnoho rozvytku fitoplanktonu Kremenchutskoho vodoshkovyshcha ta yoho strukturni pokaznyky [Perennial dynamics of quantitative development of phytoplankton of Kremenchug reservoir and its structural indicators]. *Rybohospodarska nauka Ukrainy*, 3, 14–19 (in Ukrainian).
15. Li, Y., Meng, J., Zhang, C., Ji, S., Kong, Q., Wang, R., & Liu, J. (2020). Bottom-up and top-down effects on phytoplankton communities in two freshwater lakes. In X. Guo (Ed.), *PLOS ONE*, 15(4), e0231357. Public Library of Science (PLoS). doi: 10.1371/journal.pone.0231357
16. Liu, B., & Stevenson, R. J. (2017). Improving assessment accuracy for lake biological condition by classifying 263–271. Elsevier BV. doi: 10.1016/j.scitotenv.2017.07.152
17. Lv, J., Wu, H., & Chen, M. (2011). Effects of nitrogen and phosphorus on phytoplankton composition and biomass in 15 subtropical, urban shallow lakes in Wuhan, China. In *Limnologia*, 41(1), 48–56. Elsevier BV. doi: 10.1016/j.limno.2010.03.003
18. Ma, W.-X., Huang, T.-L., Li, X., Zhang, H.-H., & Ju, T. (2015). Impact of short-term climate variation and hydrology change on thermal structure and water quality of a canyon-shaped, stratified reservoir. In *Environmental Science and Pollution Research*, 22(23), 18372–18380. Springer Science and Business Media LLC. doi: 10.1007/s11356-015-4764-4
19. Mishra, P., Garg, V., & Dutt, K. (2019). Seasonal dynamics of phytoplankton population and water quality in Bidoli reservoir. In *Environmental Monitoring and Assessment* (Vol. 191, Issue 3). Springer Science and Business Media LLC. doi: 10.1007/s10661-019-7185-x
20. Nikolenko, Y., & Fedonenko, O. (2021). Seasonal dynamics of phytoplankton indicators of the Zaporizhzhia (Dni-pro) reservoir phytoplankton of the Zaporozhye reservoir. *Ukrainian Journal of Ecology*, 121–128. doi: 10.15421/2021_249
21. Oberholster, P., Botha, A.-M., & Grobbelaar, J. (2003). *Microcystis aeruginosa*: source of toxic microcystins in drinking water. In *African Journal of Biotechnology*, 3(3), 159–168. Academic Journals. doi: 10.5897/ajb2004.000-2029
22. Oleksiv, I.T. (1992). Pokaznyky yakosti pryrodnykh vod z ekolohichnykh pozytsii [Natural water quality indicators from ecological points]. *Svit, Lviv*, 232 (in Ukrainian).
23. Pantle F., Buck H. (1955). Die biologische Überwachung der Gewässer und die Darstellung der Ergebnisse. *Gas- und Wasserfach*. Bd 96, 18. 604.
24. Prijmachenko, A. D. (1981). Fitoplankton i pervichnaja produkcija Dnepra i Dneprovskih vodohranilishh [Phytoplankton and primary products of the Dnieper and Dnieper reservoirs]. Kiev: Nauk. dumka, 271 s (in Russian).
25. Rasconi, S., Winter, K., & Kainz, M. J. (2017). Temperature increase and fluctuation induce phytoplankton biodiversity loss – Evidence from a multi-seasonal mesocosm experiment. In *Ecology and Evolution*, 7(9), 2936–2946. Wiley. doi: 10.1002/ece3.2889
26. Rudyk-Leuska, N. Ya., Yevtushenko, N. Yu., Khyzhniak, M. I., Leuskyi, M. V., Kononenko, R. V., Tson, N. I., Dumych, O. Y. (2020). Influence of temperature on the aquatic biota. *Ukrainian Journal of Ecology*, 10(3), 102–105. doi: 10.15421/2020_140
27. Rudyk-Leuska, N. Ya. (2020). Reflection of climate change on the temperature conditions of the middle section of the Kremenchug reservoir / N. Ya. Rudyk-Leuska, N. Yu. Yevtushenko, M. I. Khyzhniak, M. V. Leuskyi, Tson N. I., O. Y. Dumych / VII International Internet Conference «The world during a pandemic: new challenges and threats», August 18–19. Vancouver, Canada. p. 82–86. URL: <http://el-conf.com.ua/wp-content/uploads/2020/09/%D0%9A%D0%B0%D0%B%D0%B0%D0%B4%D0%B0%D1%81%D0%B0%D0%B9%D1%82.pdf>
28. Shcherbak, V. I. (2002). Metody doslidzhen fitoplanktonu. Metodichni osnovy hidrobiolohichnykh doslidzhen vodnykh ecosystem [Phytoplankton research methods. Methodical bases of hydrobiological researches of aquatic ecosystems]. Kiev, 41–47 (in Ukrainian).
29. Shcherbak, V. I. (1999). Phytoplankton as a Model Object of Evaluating the Influence of Power Complexes on Water Ecosystems / V. I. Shcherbak. *Engineering Simulation*, 16, 513–519.
30. Sherstiuk, V. V. (1966). Do pytannia pro rol vodorostei ta vyshchoi vodnoi roslynnosti u zhyvlenni deiakykh ryb verkhnoi dilianky Kremenchutskoho vodoymyshcha [To the role of algae and higher aquatic vegetation in the nutrition of some fish in the upper part of the Kremenchuk reservoir]. *Biologiya i morfologiya ryb ta sanitarno-biolohichnyi rezhyim prisnykh vod Ukrainy*. Nauk. dumka, Kiev, 118–120 (in Ukrainian).
31. Shevchuk, S. A., Vishnevsky, V. I., Shevchenko, I. A. & Kozytsky, O. M. (2019). Research of water bodies of Ukraine using remote sensing data of the Earth. *Recruitment and water management*, (2), 146–156.
32. Shherbak, V. I. (1989). Fitoplankton Kremenchugskogo vodohranilishha. Rastitel'nost' i bakterial'noe naselenie Dnepra i ego vodohranilishh [Phytoplankton of the Kremenchuk reservoir. Vegetation and bacterial population of the Dnieper and its reservoirs]. Nauk. dumka, Kiev, 87–92 (in Ukrainian).
33. Shherbak, V. I., Semenjuk, N. E., Rudik-Leuskaja, N. Ja. (2014). Akvalandshaftnoe i biologicheskoe raznoobrazie Nacional'nogo prirodnogo parka «Nizhnesul'skij», Ukraina [Aqualandscape and biological diversity of the Nizhnesulsky National Nature Park, Ukraine]. Pod red. V. I. Shherbaka. *Fitosociocentr*, Kiev, 266 (in Russian).
34. Sirenko, L. A., & Kirpenko, Yu. A. (2000). Biologically Active Metabolites of Blue-Green Algae and Their Role in Epidemiology. In *Hydrobiological Journal*, 36(5), 14. Begell House. doi: 10.1615/hydrobj.v36.i5.110
35. Sládeček, V. (1973). System of water quality from the biological point of view. *Ergebnisse der Limnologie*, 7(1), 1–128.
36. Stotts, R. R., Namikoshi, M., Haschek, W. M., Rinehart, K. L., Carmichael, W. W., Dahlem, A. M., & Beasley, V. R. (1993). Structural modifications imparting reduced toxicity in microcystins from *Microcystis* spp. In *Toxicon*, 31(6), 783–789. Elsevier BV. doi: 10.1016/0041-0101(93)90384-u

37. Sukhodol'skaya, I. L., Manturova, O. V., & Griuk, I. B. (2015). Phytoplankton of Small Rivers of the Rivne Region (Ukraine) and Relation of its Quantitative Parameters with Nutrients Content. In *Hydrobiological Journal*, 51(5), 50–61. Begell House. doi: 10.1615/hydrobj.v51.i5.50
38. Tarasova, O. M. (1983). Fitoplankton vodohranilishh dneprovskogo kaskada [Phytoplankton of reservoirs of the Dnieper cascade]. *Ryb. hoz-vo*, 37, 52–56 (in Russian).
39. Tarasova, O. M., Shapovalov, M. Z., Mushak, P. A. (1980). K voprosu o pitanii belyh tolstolobikov sinezelenymi vodorosljami [To the question of nutrition of white silver carps with blue-green algae]. *Ryb. hoz-vo*, 30, 75–77 (in Russian).
40. Topachevskij, A. V., Masjuk, I. P. (1984). Presnovodnye vodorosli Ukrainskoj SSR [Freshwater algae of the Ukrainian SSR]. Pod red. M. F. Makarovicha. Kiev: Vishha shkola, 336 (in Russian).
41. Vallina, S. M., Cermeno, P., Dutkiewicz, S., Loreau, M., & Montoya, J. M. (2017). Phytoplankton functional diversity increases ecosystem productivity and stability. In *Ecological Modelling*, 361, 184–196. Elsevier BV. doi: 10.1016/j.ecolmodel.2017.06.020
42. Wang, S., Qian, X., Han, B.-P., Luo, L.-C., & Hamilton, D. P. (2012). Effects of local climate and hydrological conditions on the thermal regime of a reservoir at Tropic of Cancer, in southern China. In *Water Research*, 46(8), 2591–2604. Elsevier BV. doi: 10.1016/j.watres.2012.02.014
43. Yakovenko, V., Melnik, S., & Fedonenko, E. (2017). Species Composition, Seasonal Dynamics and Distribution of Phytoplankton of the Zaporizke Reservoir. In *International Letters of Natural Sciences*, 62, 1–10. SciPress Ltd. doi: 10.18052/www.scipress.com/ilns.62.1
44. Yan, M., Chen, S., Huang, T., Li, B., Li, N., Liu, K., Zong, R., Miao, Y., & Huang, X. (2020). Community Compositions of Phytoplankton and Eukaryotes during the Mixing Periods of a Drinking Water Reservoir: Dynamics and Interactions. In *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(4), 1128. MDPI AG. doi: 10.3390/ijerph17041128
45. Yang, M., Xia, J., Cai, W., Zhou, Z., Yang, L., Zhu, X., & Li, C. (2020). Seasonal and spatial distributions of morpho-functional phytoplankton groups and the role of environmental factors in a subtropical river-type reservoir. In *Water Science and Technology*, 82(11), 2316–2330. IWA Publishing. doi: 10.2166/wst.2020.489
46. Zadorozhna, G. M. & Shcherbak, V. I. (2016). Effect of solar radiation and water temperature on development of phytoplankton in the Kaniv reservoir. *Hydrobiological Journal*. Kyiv, 53 (1). Access mode: http://nbuv.gov.ua/UJRN/gbj_2016_52_5_4

Rudyk-Leuska N.Ya., PhD (Biological Sciences), Associate Professor, National University of Life and Environmental Science of Ukraine, Kyiv, Ukraine

Leuskyi M.V., Senior Laboratory Assistant, National University of Life and Environmental Science of Ukraine, Kyiv, Ukraine

Makarenko A.A., PhD, Assistant, National University of Life and Environmental Science of Ukraine, Kyiv, Ukraine

Yevtushenko N.Yu., Doctor (Biological Sciences), Professor, Corresponding Member of NASU, National University of Life and Environmental Science of Ukraine, Kyiv Ukraine

Current position of phytoplankton species diversity and water quality assessment of Kremenchuk Reservoir according to saprobity index

Phytoplankton is the basis of the autotrophic part of the aquatic ecosystem, the producer of organic substance and oxygen, which forms the energy basis of the diversity of aquatic organisms of higher trophic levels, the first part of trophic chains, the food source of invertebrates and fish at different levels of development.

In the summer of 2020–2021, there were studied the taxonomic content, number and biomass of phytoplankton, and the saprobity index in the Kremenchuk Reservoir. To achieve the purpose in the process of research there used hydrobiological and statistical research methods. The phytoplankton of the reservoir in the summer of 2020–2021 was represented by the following divisions: Cyanophyta, Euglenophyta, Bacillariophyta, Chlorophyta. The leading place in the number of species had belonged to green algae, the intensity of development of which depended on water temperature, blue-green, diatoms were less important, and euglenae algae played a very insignificant role.

In the summer of 2020, the average number of phytoplankton in the Kremenchug reservoir in the studied areas was 12,427 thousand cells per liter at a biomass of 1,463 mg/dm³, and in the summer period of 2021 made 28099 thousand cells per liter at a biomass of 2,266 mg/dm³. Researches in the summer of 2020 showed that the basis of the number (74 %) and biomass (35 %) of phytoplankton was formed by cyanobacteria (blue-green algae) and diatoms, which in small numbers (7 %) formed 44 % of the total biomass of algae, so in summer 2021 a similar picture was observed, the basis of the number (93 %) and biomass (54 %) of phytoplankton was also formed by cyanobacteria (blue-green algae) and diatoms, which at a small number (2 %) formed 29 % of the total biomass of algae. In the summer of 2020, green algae were less developed in the reservoir, forming 19 % of the total number and 17 % of the algae biomass, and in the summer of 2021, they formed only 5 % of the total number and 15 % of the algae biomass. Euglenate algae played a much smaller role in the formation of phytoplankton number and biomass both in the researches in the summer of 2020 (0.1 and 3.2 %, respectively) and in 2021 (0.1 and 1.6 %, respectively).

According to the leading indicator species of saprobity, the water quality of the Kremenchuk Reservoir belongs to the β-mesosaprobic zone in all researched areas.

Key words: phytoplankton, Kremenchuk Reservoir, number, biomass, species, “blooming” of water, saprobity index.

СПІВВІДНОШЕННЯ ПОПУЛЯЦІЙ ЦЕЛОМОЦИТІВ У *LUMBRICUS TERRESTRIS* ЗА УМОВ ВПЛИВУ ВИСОКОВОЛЬТНИХ ЛІНІЙ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАЧ

Соколенко Світлана Вікторівна

кандидат біологічних наук, доцент

Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького,
м. Черкаси, Україна

ORCID: 0000-0002-7341-1762

sokolenko@i.ua

Соколенко Юліана Вадимівна

студентка

Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького,
м. Черкаси, Україна

ORCID: 0000-0001-9872-0484

sokolenko_yuliana@ukr.net

Зубенко Ольга Григорівна

кандидат біологічних наук

Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького,
м. Черкаси, Україна

ORCID: 0000-0003-3222-4298

zubenko_76@ukr.net

Кобаль Іван Володимирович

аспірант

Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького,
м. Черкаси, Україна

ORCID: 0000-0001-8618-9251

ivan.kobal2017@gmail.com

Соколенко Вадим Леонідович

кандидат біологічних наук, доцент

Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького,
м. Черкаси, Україна

ORCID: 0000-0002-3096-8245

sokolenko@ukr.net

Останнім часом зростає важливість пошуку нових доступних і показових методів біоіндикації наслідків антропогенного навантаження на природне середовище. Дані літератури свідчать про негативний вплив високовольтних ліній електропередачі (ЛЕП) на ґрунтову мезофауну, зменшення видової різноманітності, зміну морфологічних параметрів організмів. *Lumbricus terrestris* вважають досить резистентними до такого впливу. Проте, відсутні дані щодо показників імунної системи дощових черв'яків, які проживають в зоні впливу ЛЕП. Водночас фактори клітинного імунітету є визнаними біомаркерами екзогенного навантаження.

Ми дослідили співвідношення популяцій целомоцитів *Lumbricus terrestris* за умов хронічного впливу електромагнітного поля, сформованого високовольтними лініями електропередачі (ЛЕП).

Використовували інвазивний метод виділення целомічної рідини у дощових черв'яків з наступним виготовленням мазків на скельцях та їх фарбуванням за Паппенгеймом. Встановили, що в контрольній групі тварин, відібраних поза зоною впливу ЛЕП, в целомічній рідині домінують гранулярні амебоцити, наступну позицію займають гіалінові амебоцити, найменший відсоток припадає на елеоцити. У дощових черв'яків, відібраних у зоні впливу ЛЕП, статистично значимо знижується відносна кількість гранулярних амебоцитів і зростає відносна кількість елеоцитів. У дослідній групі спостерігається знижена здатність формувати коричневі тільця, у целомічній рідині виявлено значну кількість чужорідних об'єктів (інфузорії, нематоди), які не були фагоцитовані. Це свідчить про пригнічення ефективності фагоцитозу целомоцитами тварин дослідної групи. *Lumbricus terrestris* не схильні до активних міграцій, тобто, відібрані екземпляри тривалий час перебували в зоні впливу ЛЕП. Таким чином, високовольтні лінії електропередачі чинять стресовий вплив на імунну систему дощових черв'яків, викликаючи перерозподіл популяцій целомоцитів і гальмуючи розвиток зрілих гранулярних амебоцитів після можливих стрес-індукованих втрат целомічної рідини. Зниження фагоцитарного потенціалу целомоцитів є ознакою розбалансування

імунної системи *Lumbricus terrestris*, що мешкають в зоні ЛЕП. Показники клітинного імунітету дощових червів є ефективними біомаркерами впливу електромагнітного випромінювання, сформованого високовольтними лініями електропередачі.

Ключові слова: *Lumbricus terrestris*, целомоцити, високовольтні лінії електропередачі (ЛЕП), стрес, біомаркери.

DOI <https://doi.org/10.32845/agrobio.2022.2.20>

Вступ. Дощові черви є важливою складовою мезофауни ґрунту і належать до типу *Annelida* класу *Oligochaeta*. Ґрунт, населений бактеріями, грибами та найпростішими, є середовищем з високим антигенним тиском, окремі представники мікробіому ґрунту постійно живуть в целомічній рідині олігохет (Yakkou et al., 2021). Тому у дощових червів сформувалися потужні механізми природної резистентності. Вважається, що кільчасті черви були першими тваринами філогенетичного дерева, у яких сформувалися як клітинні, так і гуморальні фактори неспецифічної імунної відповіді (Gupta & Yadav, 2016).

Протибактеріальний імунітет у дощових червів здійснюється шляхом фагоцитозу, інкапсуляції, лізису мікробних мембран, вивільнення целомоцитами гуморальних компонентів (аглютиніни, лектини, цитотоксичні молекули, лізосомальні ферменти, фосфатаза, лізоцим, активні форми кисню і антимікробні пептиди). Вже в кишковому тракту дощових червів розпізнаються патогенні фактори ґрунту та генерується імунна відповідь проти них (Dvořák et al., 2016). Паралельно мобілізується імунний захист у целомічній рідині. Ці процеси контролюються на генетичному рівні (Gupta et al., 2014; Mácsik et al., 2015; Tak et al., 2015).

Крім мікробіоти ґрунту, імунна система дощових червів реагує на різні типи органічних та неорганічних забруднювачів антропогенного походження. Це викликає зміни як морфологічних, так і кількісних характеристик червів, модифікацію біохімічних та імунних процесів, може істотно впливати на їх фізіологію, здатність розмножуватися, рости та виживати (Ghosh, 2018; 2019; Yadav, 2016). Загалом, екстремальні фактори середовища, поєднуючись із бактеріальними патогенами, впливають на стан імунної системи класу *Oligochaeta* негативним чином (Roubalová et al., 2018; Swart et al., 2020; Zirbes et al., 2012). Враховуючи, що показники імунної системи визнані точними біомаркерами багатьох фізіологічних та патологічних процесів, екзогенних впливів та адаптивних явищ (Sokolenko & Sokolenko, 2019), поширюється їх використання у якості біоіндикаторів.

Серед природних об'єктів, чий показники зручні для біоіндикації, вказуються дощові черви. Це зумовлено їх доступністю та поширенням в екосистемах помірної зони Європи, відносно малорухливістю та істотною чисельністю на одиницю площі. Дощові черви не здатні до значних міграцій навіть за умов впливу негативних факторів (Kron et al., 2010).

Наявні обмежені дані щодо безпосередніх та віддалених наслідків комплексного впливу на довкілля ліній електропередачі (ЛЕП), зумовленого формуванням магнітних та електричних полів. Негативний вплив ЛЕП показано також для ґрунтової біоти, зокрема, дощових червів. Спостерігаються зменшення видової різноманітності та зміна морфологічних параметрів (зменшення

довжини тіла тощо). Водночас *Lumbricus terrestris* вважаються досить стійкими до впливу ліній електропередач (Vlasenko et al., 2020). Проте, значно менше даних щодо впливу електромагнітного випромінювання, особливо, електромагнітних полів, на імунну систему дощових червів (Banovački & Matavulj, 2013; Bourdineaud et al., 2017; Tkalec et al., 2012).

Вроджену імунну систему дощових червів вивчають вже понад 40 років, проте, донині походження різних типів імунних клітин та їх функції чітко не встановлені (Engelmann et al., 2016a). Для повного розуміння всіх компонентів, що беруть участь в реакціях природної резистентності класу *Oligochaeta*, особливо, у відповідь на екстремальні фактори середовища, необхідні подальші дослідження. Зокрема, це стосується значення певних рецепторів у реалізації сигнальних шляхів, вивчення NK-подібної активності, розуміння нейроімунно-перехресних взаємодій (Ghosh, 2018, 2019).

Таким чином, актуальною є оцінка співвідношення популяцій целомоцитів дощових червів за умов впливу електромагнітного поля, сформованого високовольтними лініями електропередачі.

Матеріали і методи досліджень. Відбір зразків для аналізу здійснювався у травні 2022-го року. Робилися ґрунтові розкопки глибиною 20 см на територіях з однаковим типом ґрунту для отримання запланованої кількості зразків *Lumbricus terrestris* довжиною 11–12 см. Зразки контрольної групи тварин відбиралися у приміській зоні м. Черкаси, де не здійснювалась господарська діяльність (на території, де відсутній вплив ЛЕП). Дослідну групу сформували дощові черви, зібрані безпосередньо під високовольтними дротами (ЛЕП, 10 кВ, з охоронною зоною 10 метрів в обидва боки). Аналізувалися показники імунної системи у 20 екземплярів *Lumbricus terrestris* з кожної ділянки.

Виділення целомічної рідини проводили за модифікованою методикою, запропонованою групою авторів (Yakkou et al., 2021). Дощових червів промивали дистильованою водою для видалення ґрунту та коріння. Перед пункцією їх просушували на стерильному фільтрувальному папері, далі поміщали у стерильний пластиковий пакет, щоб знерухомити і контролювати рухи. Прокол на латеральному рівні задньої частини тварин проводили стерильним шприцом паралельно до травного тракту під шкірно-м'язовий мішок. Целомічну рідину відтягували шприцом і відразу наносили на знежирене стерильне предметне скельце. Після відбору целомічної рідини тварин випускали у природу.

Целомічну рідину висушували на повітрі протягом години для кращої адгезії клітин до поверхні предметного скельця. Фарбування зразків здійснювали за Паппенгеймом.

Мікроскопію й фотографування фарбованих препаратів проводили на великому збільшенні, під імерсією (мікроскоп

«MICROmed Evolution ES-4130», об'єктив «Plan 100x/1,25 OIL», окуляр «WF 10x/22», відеокамера-насадка «CCD 5.0 Mpix USB 2.0.»). Для ідентифікування клітин целомичної рідини звертали увагу на їх розмір, форму, забарвлення цитоплазми та ядра, наявність включень (Engelmann et al., 2016a; 2016b; Roubalová et al., 2018).

Після перевірки вибірок на нормальність розподілу проводили їх порівняння за t-критерієм Стюдента.

Результати. На отриманих зразках диференціювали три типи імунних клітин *Lumbricus terrestris*: гранулярні амебоцити, гіалінові амебоцити, елеоцити (рис. 1).

Також під час мікроскопії у контрольній групі були зафіксовані окремі амебоцити у стані фагоцитозу бактерій та утворення коричневих тілець навколо інших антигенних

факторів, виявлених у целомичній рідині (рис. 2, 3). На зразках зустрічалися кластери клітин різного ступеня диференціювання, що могло свідчити про постійне активне утворення амебоцитів та елеоцитів (рис. 4).

У контрольній групі найбільшу частку целомоцитів складали гранулярні амебоцити, наступними за відсотковою часткою були гіалінові амебоцити і найменше угруповання сформували елеоцити. У дослідній групі співвідношення між імунними клітинами було приблизно однаковим (табл. 1).

Порівняння вибірок показало, що у дощових черв'яків, які зазнали впливу електромагнітного випромінювання ЛЕП, відносна кількість гранулярних амебоцитів значимо нижча, ніж в особин з контрольної групи ($P < 0,001$),

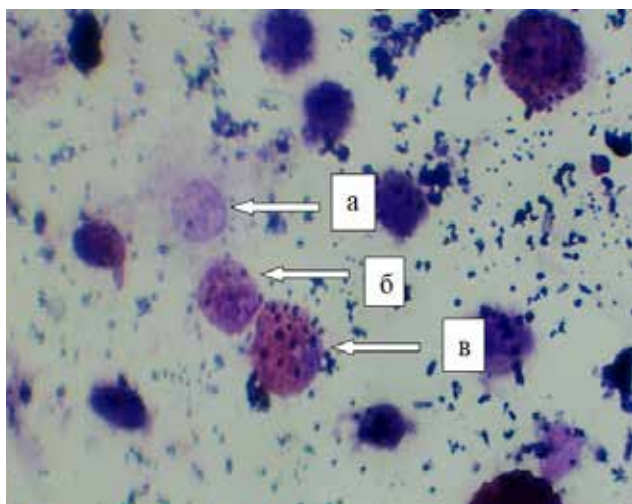


Рис. 1. Типові зрілі імунні клітини дощових черв'яків: елеоцит (а), гіаліновий амебоцит (б), гранулярний амебоцит (в)

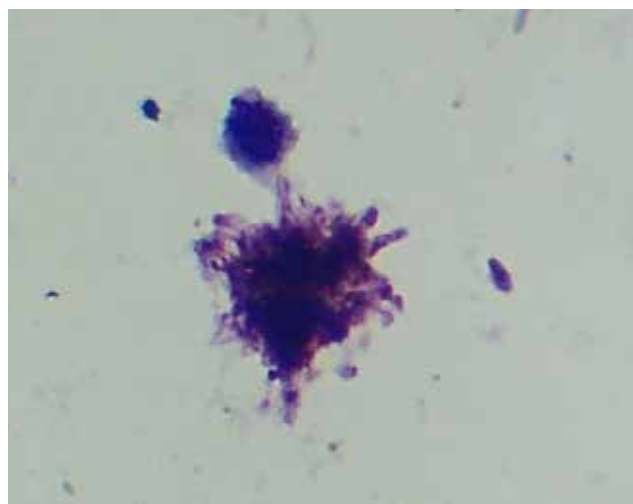


Рис. 2. Формування псевдоподій гранулярного амебоцита під час фагоцитарної активності

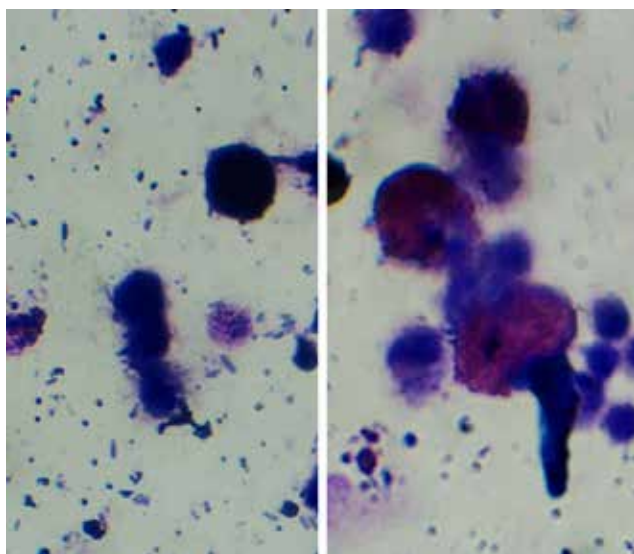


Рис. 3. Утворення коричневих тілець навколо великих чужорідних організмів, що потрапили у целом

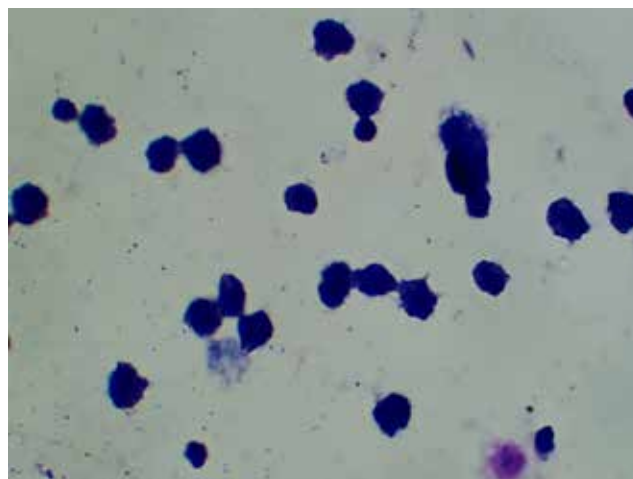


Рис. 4. Кластери недиференційованих целомоцитів у целомичній рідині

Відносна кількість популяцій зрілих целоцитів у дощових черв'як за умов відсутності та наявності впливу ЛЕП

| Показники імунної системи | Контрольна група, M ± m; n=20 | Дослідна група (вплив ЛЕП), M ± m; n=20 |
|---------------------------|----------------------------------|---|
| Гранулярні амебоцити, % | 62,00 ± 1,435 | 38,00 ± 2,867 *** |
| Гіалінові амебоцити, % | 33,80 ± 0,742 | 37,60 ± 1,655 * |
| Елеоцити, % | 4,20 ± 1,241 | 24,50 ± 2,680 *** |

* – $P < 0,05$; *** – $P < 0,001$ порівняно з контролем

виражена тенденція до зростання кількості гіалінових амебоцитів ($P < 0,05$). Відносна кількість елеоцитів у дослідній групі була значимо вищою, ніж у контрольній групі ($P < 0,001$) (табл. 1).

Обговорення. За даними літератури, в цілому *Lumbricus terrestris* кількість гіалінових амебоцитів істотно вища за кількість гранулярних в холодні пори року. Однак, у період з кінця травня до початку червня ця тенденція змінюється і кількість гранулярних амебоцитів різко зростає, тоді як гіалінових – скорочується. Кількість елеоцитів досить стабільна протягом року і лишається в межах 4% (Kurek & Plytycz, 2003). Подібні дані значною мірою збігаються з результатами, отриманими нами у контрольній групі.

Збільшення кількості гранулярних амебоцитів і зменшення кількості гіалінових можна пояснити сезонними коливаннями температур. Підвищення температури у весняно-літній період сприяє інтенсивному поділу бактерій і зростанню їх кількості. Хоча гіалінові амебоцити вважаються більш активними фагоцитуючими клітинами, гранулярні амебоцити, що містять еозинофільні гранули, можуть чинити ефективніший захист шляхом поєднання фагоцитозу та виділення з гранул біологічно активних речовин (Engelmann et al., 2016b; Gupta & Yadav, 2016).

У дослідній групі виявлено значне зменшення відносної кількості гранулярних амебоцитів, виражену тенденцію до збільшення відсотка гіалінових амебоцитів та значне зростання відсотка елеоцитів. Такі зміни можна пояснити наслідком впливу електромагнітного

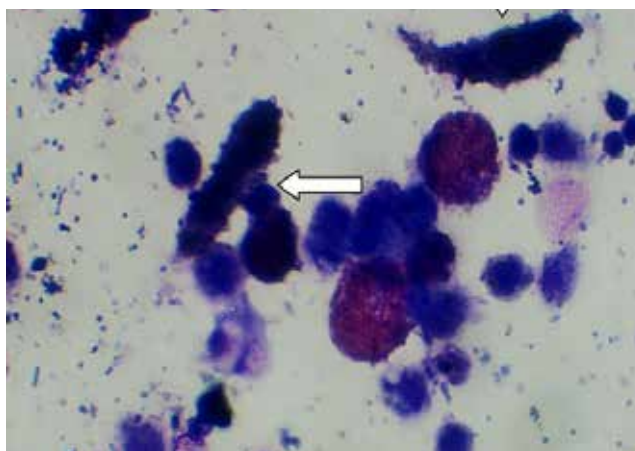


Рис. 5. Коричневі тілця, ідентифіковані в контрольній групі

випромінювання ЛЕП. *Lumbricus terrestris* не схильні до активних міграцій і тривалий час перебували в зоні впливу ЛЕП (Kron et al., 2010). Результати показують, що електромагнітне випромінювання вплинуло першою чергою на амебоцити. Амебоцити вважаються більш важливою складовою імунної системи дощових черв'як, оскільки вони мають високу фагоцитарну активність, їм властива потенційна цитотоксичність (Nemed et al., 2005). Очевидно, за умов впливу електромагнітного випромінювання ЛЕП клітини мезенхіальної тканини не можуть пройти повноцінне диференціювання до стадії гранулярних амебоцитів, що компенсується зростанням кількості гіалінових амебоцитів. Крім того, є думка, що гіалінові амебоцити можуть бути попередниками гранулярних (Kurek & Plytycz, 2003). Тобто, підтверджується ефект гальмування диференціювання целоцитів під впливом ЛЕП. Такі ефекти (перерозподіл популяцій імунних клітин та гальмування їх диференціювання) є характерною ознакою наслідків стресових впливів у хребетних, зокрема, людини (Sokolenko et al., 2018).

Екзогенні стресові впливи на дощових черв'як дійсно можуть проявлятися змінами клітинного циклу целоцитів, клітинності целомічної рідини та зміною експресії генів (Duan et al., 2017; Gautam et al., 2020; Hayashi et al., 2016; Homa et al., 2016; Mincarelli et al., 2016; Rodriguez-Seijo et al., 2017; Zhang et al., 2015), викликати активацію окисних процесів та агрегацію целоцитів (Ray et al., 2019), їх апоптозом. Серед стресових ефектів вказують стимулювання виділення целомічної рідини через дорсальні пори дощових черв'як у довкілля. Відновлення клітинних компонентів, особливо, зрілих клітин, потребує часу (Plytycz et al., 2016; Santocki et al., 2016). Цим також пояснюються виявлені нами ефекти.

Елеоцити виконують функцію регуляції метаболічних процесів, включно з виробництвом антибактеріальних речовин та регуляцією активності амебоцитів (Engelmann et al., 2016b; Gupta & Yadav, 2016). Можливо, саме для збалансування роботи імунної системи в умовах дії ЛЕП утворюється більша кількість елеоцитів, які продукують широкий спектр біологічно активних речовин.

Варто зауважити, що у контрольній групі спостерігалися випадки формування коричневих тілець, вдалося зафіксувати процес їх утворення (рис. 5). Корич-

неві тільки були відсутні у дослідній групі, при цьому там спостерігалася значна кількість чужорідних об'єктів (інфузорії, нематоди), які не були фагоцитовані (рис. 6). Подібний ефект можна пояснити розбалансованістю імунної системи дощових черв'яків під впливом ЛЕП, оскільки для утворення коричневих тілець необхідна участь амебоцитів при контролі та стимуляції з боку елеоцитів.

Висновки. Електромагнітне випромінювання, сформоване високовольними лініями електропередачі, чинить стресовий вплив на імунну систему *Lumbricus terrestris*. Як наслідок, виникає перерозподіл популяції целомоцитів і гальмується розвиток зрілих гранулярних амебоцитів після можливих стрес-індукованих втрат целомічної рідини. Зниження фагоцитарного потенціалу целомоцитів є ознакою розбалансування імунної системи дощових черв'яків під впливом ЛЕП. Це може бути негативним фактором для стану здоров'я популяцій *Lumbricus terrestris*, які мешкають у зоні ЛЕП. Показники клітинного імунітету дощових черв'яків є ефективними біомаркерами впливу електромагнітного випромінювання.

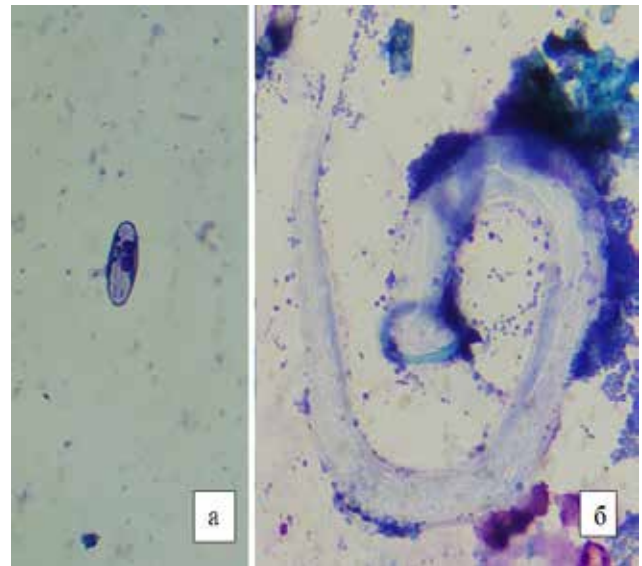


Рис. 6. Чужорідні організми, ідентифіковані в целому дощових черв'яків з дослідної групи: інфузорія (а), нематода (б)

Бібліографічні посилання:

1. Banovački, Z., & Matavulj, M. (2013). Exposure to extremely low frequency (50 Hz) electromagnetic field changes the survival rate and morphometric characteristics of neurosecretory neurons of the earthworm *Eisenia foetida* (Oligochaeta) under illumination stress. *Archives of Biological Sciences*, 65(1), 395–403. doi:10.2298/ABS1301395B
2. Bourdineaud, J. P., Šrut, M., Štambuk, A., Tkalec, M., Brèthes, D., Malarić, K., & Klobučar, G. I. (2017). Electromagnetic fields at a mobile phone frequency (900 MHz) trigger the onset of general stress response along with DNA modifications in *Eisenia fetida* earthworms. *Arhiv za Higijenu Rada i Toksikologiju*, 68(2), 142–152. doi:10.1515/aiht-2017-68-2892
3. Duan, X., Fu, X., Song, J., Li, H., Sun, M., Hu, F., Xu, L., & Jiao, J. (2017). Physiological and molecular responses of the earthworm *Eisenia fetida* to polychlorinated biphenyl contamination in soil. *Environmental Science and Pollution Research*, 24(22), 18096–18105. doi:10.1007/s11356-017-9383-9
4. Dvořák, J., Roubalová, R., Procházková, P., Rossmann, P., Škanta, F., & Bilej, M. (2016). Sensing microorganisms in the gut triggers the immune response in *Eisenia andrei* earthworms. *Developmental & Comparative Immunology*, 57, 67–74. doi: 10.1016/j.dci.2015.12.001
5. Engelmann, P., Hayashi, Y., Bodó, K., Ernszt, D., Somogyi, I., Steib, A., Orban, J., Pollak, E., Nyitrai, M., Nemeth, P., & Molnár, L. (2016a). Phenotypic and functional characterization of earthworm coelomocyte subsets: Linking light scatter-based cell typing and imaging of the sorted populations. *Developmental & Comparative Immunology*, 65, 41–52. doi:10.1016/j.dci.2016.06.017
6. Engelmann, P., Hayashi, Y., Bodó, K., & Molnár, L. (2016b). New aspects of earthworm innate immunity: Novel molecules and old proteins with unexpected functions. In *Lessons in immunity* (pp. 53–66). Academic Press. doi: 10.1016/B978-0-12-803252-7.00004-7
7. Gautam, A., Ray, A., Manna, S., Sarkar, M. P., Ghosh, A. R., Ray, M., & Ray, S. (2020). Shift in phagocytosis, lysosomal stability, lysozyme activity, apoptosis and cell cycle profile in the coelomocytes of earthworm of polluted soil near a tannery field of India. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 200, 110713. doi: 10.1016/j.ecoenv.2020.110713
8. Ghosh, S. (2018). Environmental pollutants, pathogens and immune system in earthworms. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(7), 6196–6208. doi:10.1007/s11356-017-1167-8
9. Ghosh, S. (2019). Impact of radiations on earthworms. *Explor Anim Med Res*, 9(2), 120–124.
10. Gupta, S., & Yadav, S. (2016). Immuno-defense strategy in earthworms: a review article. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 5, 1022–1035. doi:10.20546/ijcmas.2016.504.117
11. Gupta, S., Kushwah, T., & Yadav, S. (2014). Earthworm coelomocytes as nanoscavenger of ZnO NPs. *Nanoscale Research Letters*, 9(259). doi:10.1186/1556-276X-9-259
12. Hamed, S. S., Kauschke, E., & Cooper, E. L. (2005). Cytochemical properties of earthworm coelomocytes enriched by Percoll. *International Journal of Zoological Research*, 1, 74–83. doi:10.3923/ijzr.2005.74.83
13. Hayashi, Y., Miclaus, T., Engelmann, P., Autrup, H., Sutherland, D. S., & Scott-Fordsmand, J. J. (2016). Nanosilver pathophysiology in earthworms: Transcriptional profiling of secretory proteins and the implication for the protein corona. *Nanotoxicology*, 10(3), 303–311. doi:10.3109/17435390.2015.1054909
14. Homa, J., Stalmach, M., Wilczek, G., & Kolaczowska, E. (2016). Effective activation of antioxidant system by immune-relevant factors reversely correlates with apoptosis of *Eisenia andrei* coelomocytes. *Journal of Comparative Physiology B*, 186(4), 417–430. doi:10.1007/s00360-016-0973-5
15. Kron, A., Roshko, V., Vlasenko, R., Onischuk I. (2010). Communities of earthworms (Oligochaeta, Lumbricidae) under conditions of chronic electromagnetic stress. [Uhrupovannia doshchovykh cherviv (Oligochaeta, Lumbricidae)

v umovakh khronichnoho elektromahnitnoho stresu]. Naukovyi visnyk Uzhhorodskoho universytetu. Seriya Biologiya, 27, 13–17 (in Ukrainian). Access mode: <http://eprints.zu.edu.ua/id/eprint/29828>

16. Kurek, A., & Plytycz, B. (2003). Annual changes in coelomocytes of four earthworm species: The 7th international symposium on earthworm ecology. Cardiff. Wales. 2002. *Pedobiologia*, 47(5–6), 689–701. doi:10.1078/0031-4056-00246
17. Mácsik, L. L., Somogyi, I., Opper, B., Bovári-Biri, J., Pollák, E., Molnár, L., Nemeth, P. & Engelmann, P. (2015). Induction of apoptosis-like cell death by coelomocyte extracts from *Eisenia andrei* earthworms. *Molecular Immunology*, 67(2), 213–222. doi: 10.1016/j.molimm.2015.05.015
18. Mincarelli, L., Vischetti, C., Craft, J., & Tiano, L. (2016). DNA damage in different *Eisenia andrei* coelomocytes sub-populations after in vitro exposure to hydrogen peroxide. *SpringerPlus*, 5(302), doi: 10.1186/s40064-016-1950-x.
19. Plytycz, B., Bigaj, J., Falniowski, A., & Morgan, A. J. (2016). Unexpected results and open questions from experiments on regeneration in lumbricid worms. *Invertebrate Survival Journal*, 13(1), 315–325.
20. Ray, S., Gautam, A., Ray, A., Das, S., & Ray, M. (2019). Analysis of oxidative stress and cellular aggregation in the coelomocytes of earthworms collected from metal contaminated sites of industrial and agricultural soils of West Bengal, India. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(22), 22625–22640. doi: 10.1007/s11356-019-05438-x
21. Rodriguez-Seijo, A., Lourenço, J., Rocha-Santos, T. A. P., Da Costa, J., Duarte, A. C., Vala, H., & Pereira, R. (2017). Histopathological and molecular effects of microplastics in *Eisenia andrei* Bouché. *Environmental Pollution*, 220, 495–503. doi: 10.1016/j.envpol.2016.09.092
22. Roubalová, R., Plytycz, B., Procházková, P., Navarro Pacheco, N. I., & Bilej, M. (2018). Annelida: environmental interactions and ecotoxicity in relation to the earthworm immune system. In *Advances in Comparative Immunology* (pp. 933–951). Springer, Cham. doi: 10.1007/978-3-319-76768-0_27
23. Santocki, M., Falniowski, A., & Plytycz, B. (2016). Restoration of experimentally depleted coelomocytes in juvenile and adult composting earthworms *Eisenia andrei* E. fetida and *Dendrobaena veneta*. *Applied Soil Ecology*, 104, 163–173. doi: 10.1016/j.apsoil.2015.08.022
24. Sokolenko, V. L., & Sokolenko, S. V. (2019). Manifestations of allostatic load in residents of radiation contaminated areas aged 18–24 years. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*, 10(4), 422–431. doi: 10.15421/021963
25. Sokolenko, V. L., Sokolenko, S. V., Sheiko, V. I., & Kovalenko, O. V. (2018). Interconnection of the immune system and the intensity of the oxidative processes under conditions of prolonged exposure to small doses of radiation. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*, 9(2), 167–176. doi: 10.15421/021825
26. Swart, E., Dvorak, J., Hernádi, S., Goodall, T., Kille, P., Spurgeon, D., Svendsen, C., & Prochazkova, P. (2020). The effects of in vivo exposure to copper oxide nanoparticles on the gut microbiome, host immunity, and susceptibility to a bacterial infection in earthworms. *Nanomaterials*, 10(7), 1337. doi: 10.3390/nano10071337
27. Tak, E. S., Cho, S. J., & Park, S. C. (2015). Gene expression profiling of coelomic cells and discovery of immune-related genes in the earthworm, *Eisenia andrei*, using expressed sequence tags. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*, 79(3), 367–373. doi: 10.1080/09168451.2014.988677
28. Tkalec, M., Štambuk, A., Šrut, M., Malarić, K., & Klobučar, G. I. (2013). Oxidative and genotoxic effects of 900 MHz electromagnetic fields in the earthworm *Eisenia fetida*. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 90, 7–12. doi: 10.1016/j.ecoenv.2012.12.005
29. Vlasenko, R., Khomiak, I., Harbar, O., Demchuk, N. (2020). Lumbricides as a bioindicators of the influence of electrical transmission line in the conditions of Ukrainian Polissia. *Travaux du Muséum National d'Histoire Naturelle "Grigore Antipa"*, 63(1), 7–18. doi:10.3897/travaux.63.e51640
30. Yadav, S. (2016). Screening of immunocompetent coelomic cells in earthworms. *International Journal of Sciences*, 5(4), 43–51. doi:10.18483/ijSci.999
31. Yakkou, L., Houida, S., Dominguez, J., Raouane, M., Amghar, S., & Harti, A. E. (2021). Identification and Characterization of Microbial Community in the Coelomic Fluid of Earthworm (*Aporrectodea molleri*). *Microbiology and Biotechnology Letters*, 49(3), 391–402. doi:10.48022/mbl.2104.04013
32. Zhang, W., Liu, K., Li, J., Liang, J., & Lin, K. (2015). Impacts of BDE209 addition on Pb uptake, subcellular partitioning and gene toxicity in earthworm (*Eisenia fetida*). *Journal of Hazardous Materials*, 300, 737–744. doi: 10.1016/j.jhazmat.2015.08.014
33. Zirbes, L., Thonart, P., & Haubruge, E. (2012). Microscale interactions between earthworms and microorganisms, a review. *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement*, 16(1), 125–131.

Sokolenko S.V., PhD (Biological Sciences), Associate Professor, Bohdan Khmelnytsky National University of Cherkasy, Cherkasy, Ukraine

Sokolenko Y.V., Student, Bohdan Khmelnytsky National University of Cherkasy, Cherkasy, Ukraine

Zubenko O.G., PhD (Biological Sciences), Bohdan Khmelnytsky National University of Cherkasy, Cherkasy, Ukraine

Kobal I.V., PhD Student, Bohdan Khmelnytsky National University of Cherkasy

Sokolenko V.L., PhD (Biological Sciences), Associate Professor, Bohdan Khmelnytsky National University of Cherkasy, Cherkasy, Ukraine

Correlation between populations of *Lumbricus terrestris*'s coelomocytes under the influence of high-voltage electric power transmission lines

*The importance of searching for new available and demonstrative methods of bioindication is growing nowadays to show the effects of anthropogenic pressure on the natural environment. The literature writes about the negative influence of high-voltage electric power transmission lines on soil mesofauna, decrease in species diversity, and changes in morphological parameters. *Lumbricus terrestris* is considered to be quite resistant to such influence. However, there is no data about indicators of the immune system of earthworms that live in an electric power transmission lines influence zone. At the same time, factors of cell immunity are recognized as biomarkers of exogenous pressure.*

We researched the correlation between populations of *Lumbricus terrestris*'s coelomocytes under the chronic influence of an electromagnetic field that is formed by high-voltage electric power transmission lines.

The invasive method was used to extract coelomic fluid from earthworms and prepare samples on a microscope slide with the next staining them with a Pappenheim method. We discovered that granular amoebocytes dominated in the coelomic fluid of a control group of animals that were taken from the zone without electric power transmission lines influence. Hyaline amoebocytes were the next group in number, and eleocytes had the smallest percentage in a number. The relative number of granular amoebocytes decreased statistically significantly and the relative number of eleocytes increased in the group of earthworms that were taken from the high-voltage electric power transmission lines influence zone. There was noticed a reduced ability to form brown bodies in the experimental group, as in the coelomic fluid found there was a significant number of foreign objects (ciliates, nematodes), which were not phagocytosed.

This indicates the inhibition of the effectiveness of phagocytosis by coelomocytes of animals of the experimental group. *Lumbricus terrestris* are not prone to active migrations, so the selected specimens have been for a long time in the area affected by transmission lines. Thus, high-voltage electric power transmission lines stress the immune system of earthworms, causing redistribution of coelomocyte populations and inhibiting the development of mature granular amoebocytes after the possible stress-induced loss of coelomic fluid. The decreased phagocytic potential of coelomocytes is a sign of imbalance of the immune system of *Lumbricus terrestris*, living in the area of transmission lines. Indicators of cellular immunity of earthworms are effective biomarkers of exposure to electromagnetic radiation generated by high-voltage electric power transmission lines.

Key words: *Lumbricus terrestris*, coelomocytes, high-voltage electric power transmission lines, stress, biomarkers.

**ВПЛИВ АГРОЕКОЛОГІЧНИХ ЧИННИКІВ НА ФІТОСАНІТАРНИЙ СТАН ВИНОГРАДНИХ АГРОЦЕНОЗІВ
В УМОВАХ ПІВНІЧНО-СХІДНОГО ЛІСОСТЕПУ УКРАЇНИ**

Татарінова Валентина Іванівна

кандидат сільськогосподарських наук, доцент
Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна
ORCID: 0000-0001-5008-2276
tatarinovasnau@gmail.com

Власенко Володимир Анатолійович

доктор сільськогосподарських наук, професор
Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна
ORCID: 0000-0002-5535-6747
vlasenkova@ukr.net

Бурдуланюк Алла Олександрівна

кандидат сільськогосподарських наук, доцент
Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна
ORCID: 0000-0002-9258-7456
burdalla@ukr.net

Бакуменко Ольга Миколаївна

кандидат сільськогосподарських наук, доцент
Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна
ORCID: 0000-0003-1625-7401
lady.bakumenko88@gmail.com

Деменко Віктор Михайлович

кандидат сільськогосподарських наук, доцент
Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна
ORCID: 0000-0002-8264-2802
vicmix64@ukr.net

Ємець Олександр Михайлович

кандидат біологічних наук, доцент
Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна
ORCID: 0000-0003-1228-1439
yemets_a@ukr.net

Рожкова Тетяна Олександрівна

кандидат біологічних наук, доцент
Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна
ORCID: 0000-0002-0791-9736
Rozhkova8@gmail.com

Сахошко Микола Миколайович

кандидат сільськогосподарських наук
Сумська філія Українського інституту експертизи сортів рослин,
м. Суми, Україна
ORCID: 0000-0001-8396-5737
sumy.dc@gmail.com

У 2019–2021 рр. у виноградному агроценозі навчальної лабораторії садівництва та виноградарства Сумського національного аграрного університету проведено дослідження щодо вивчення впливу агроекологічних чинників на рівень розвитку основних мікозів винограду. Наводяться дані про ступінь стійкості виноградних рослин різних сортів до основних фітопатогенів винограду (мілдью, оїдіум) у типових ґрунтово-кліматичних умовах

північно-східного Лісостепу України. Досліджувалась колекція винограду вітчизняної та зарубіжної селекції, яка налічує близько 30 сортів та форм. Встановлено, що метеорологічні умови 2021 р. сприяли епіфітотійному розвитку мілдью і оїдіуму. За період досліджень 2019–2021 рр. спостерігались коливання рівня стійкості проти хвороб в залежності від погодних умов. Виділено сорти та форми винограду з високою стійкістю проти збудників мілдью (*P. viticola*) та оїдіуму (*U. necator* (Schw.): Байконур, Юпітер, кишмиш 342/венгерський, Оригінал, Лідія (максимальне ураження листя – 2,5–3,0 бали, грон – 2,0–3,0 бали, середнє – 2,3–2,8 бали). Відзначено високий рівень стійкості сорту Юпітер (середній бал ураження 2,3) до збудника оїдіуму порівняно з контролем (сорт Лідія – 2,5 бали). Доведено, що більшість досліджуваних сортів (Подарок Несветая, Пам'яті учителя, Ромбик, Столетіє, Смарагд, Віктор, Благовест, Нізіна, Богатяновський, Ланселот, Блек гранд, Лівія, Одеський сувенір, Ванюша, Лорано, Флора, кишмиш Запорожський) проявили середню стійкість проти мікозних хвороб винограду (мілдью та оїдіуму) на рівні 3,0–3,5 балів. Найбільш сприйнятливими до дії збудників основних грибних патогенів виявились форми винограду Ізюмінка (4,1 бали проти мілдью, 4,0 бали проти оїдіуму), Красноє пламя (4,6 бали проти мілдью, 4,3 бали проти оїдіуму). Серед досліджених сортів і гібридних форм імунних до оїдіуму і мілдью не виявлено. Дослідженням встановлено, що біологічні особливості сортів винограду Байконур, Юпітер, кишмиш 342/венгерський, Оригінал, Лідія, Подарок Несветая, Пам'яті учителя, Ромбик, Столетіє, Смарагд, Віктор, Благовест, Нізіна, Богатяновський, Ланселот, Блек гранд, Лівія, Одеський сувенір, Ванюша, Лорано, Флора, кишмиш Запорожський відповідають умовам вирощування та можуть бути рекомендовані до впровадження у виробництво в агрокліматичній зоні північно-східного Лісостепу України. Вирощування сортів з високим адаптивним потенціалом дозволить отримувати екологічно чисту продукцію високої якості.

Ключові слова: виноград, мілдью, оїдіум, метеорологічні умови, ступінь ураження, стійкість до хвороб.

DOI <https://doi.org/10.32845/agrobio.2022.2.21>

Вступ. Завдяки інтродукції та добрим адаптаційним можливостям виноград у нашій країні, як у всьому світі, набув широкого поширення і просунувся далеко на північ від меж свого природного ареалу (Laskavyi et al., 2016). В Україні спостерігається поступове розширення північних кордонів вирощування винограду, яке ще кілька десятиліть тому вважалося досить проблематичним. Розвиток виноградарства в умовах північно-східного Лісостепу України стало неминучим наслідком глобального потепління клімату. Як показує досвід виноградарів-аматорів, успішне вирощування винограду можливе не тільки на півдні України, а фактично на всій території, включаючи її північні регіони (Pasichnyk, 2010; Sheiduk et al., 2017; Hel, 2018).

Аналіз сучасного стану виноградарства показує, що поряд зі змінами в розміщенні виноградників по регіонах протягом останніх років відбулися й істотні зміни у сортовому складі насаджень. Сучасний сортимент винограду має різний потенціал, і може реалізувати свої генетико-біологічні особливості в різних природно-кліматичних умовах довкілля (Laskavyi, 2020; Babuch et al., 2018).

Перспектива розвитку виноградарства у північно-східному Лісостепу України цілком виправдана. Кліматичні умови регіону досить сприятливі. Клімат місцевості – помірно-континентальний з прохолодною зимою, теплим літом та достатнім балансом вологи. За даними багаторічних метеорологічних спостережень середньорічна температура становить + 6,6 °С. Найбільш холодним місяцем є січень із середньомісячною температурою – 7,7 °С. Найбільш теплий місяць – липень із середньомісячною температурою + 19,2 °С. Максимальна температура влітку досягає + 39,9 °С.

Відомо, що основним лімітуючим фактором при вирощуванні винограду є його теплозабезпеченість. Сума активних температур регіону знаходиться в діапазоні 2600 °С; тривалість безморозного періоду становить 160–185 днів. Середньорічні суми опадів коливаються від 440 до 820 мм, з яких більше половини випадає в період вегетації. Зимовий період характери-

зується відносно стійким сніговим покривом та помірними морозами.

Але при цьому зберігається висока ймовірність аномальних природних явищ (несезонні критичні низькі та високі температури, перепади вологості, посилення вітру тощо). Практика показує, що неадаптовані до місцевих умов, саджанці теплолюбних сортів уражаються несприятливими факторами біотичної та абіотичної природи, зазнають додаткового стресу, а крім того, вони потребують додаткового захисту (укриття) (Laskavyi et al., 2017).

Виноградний агроценоз є складною біосистемою, що складається з популяції певних видів живих організмів (рослин, комах, кліщів, мікроорганізмів), які існують не ізольовано, а в тісних взаємозв'язках з іншими видами. Важливим практичним завданням у захисті рослин стає розробка технологічних систем оптимізації (управління) фітосанітарного стану агроценозів в цілому, а не боротьба з кожним окремим видом шкідливого організму (Sandika et al., 2016). Реалізація в практичній діяльності систем фітосанітарної оптимізації агроєкосистем та біологізованого управління фітосанітарним станом виноградних агроценозів в умовах посилення абіотичного та антропогенного впливу є актуальним питанням сьогодення.

Погіршення фітопатогенної ситуації на виноградниках призводить до зміни ролі окремих патогенів та їх співвідношень у агроценозах. Для формування високопродуктивних стійких агроценозів, необхідно вирощувати високоадаптовані районовані сорти місцевої селекції, найбільш пристосовані до конкретних агроєкологічних умов (Kovalova, 2020; Fedorenko et al., 2018).

У даний час найбільшого поширення і все більшого розвитку набувають такі захворювання, як мілдью і оїдіум на виноградниках (Baranets & Leshchenko, 2015; Calonneca et al., 2004). Як відомо, мілдью становить велику небезпеку для всіх зон вирощування винограду, проте найбільшу загрозу воно несе виноградникам за умов вологого клімату (Patil & Thorat, 2016). Ураження мілдью не спостерігається в умовах північно-східного

Лісостепу України тільки в дуже посушливі роки, але варто метеорологічним умовам скластися сприятливіше, крім кількісного зниження врожаю, спостерігається сильне погіршення його якості: знижується цукристість і підвищується кислотність ягід винограду. Перші ознаки мілдью виявляються на листках. Розселення гриба на початку вегетаційного періоду помітно за маслянистими слідами на верхній стороні листка, і відзначається малопомітний білий наліт на тильній стороні листової пластинки. Білий наліт спорношення збудника краще помітний на молодих частинах пагонів і молодому листі. Залежно від вологості і температури повітря, сорту винограду і стадії розвитку хвороби виноградне листя покривається червонуватими або жовтуватими плямами різної форми і розміру, далі листя кущів засихає. Різка скорочення площі листової поверхні порушує процес правильного дозрівання ягід (Oshchupok, 2020).

Збудник оїдіуму, уражуючи суцвіття та ягоди, повністю знищує урожай. Ягоди хворих кущів винограду зупиняються в рості, втрачають свою харчову цінність і смак. Листяний покрив кущів винограду під впливом патогена з верхнього боку покривається білим нальотом – міцелієм гриба. На молодих пагонах з'являються чорні плями, хвора лоза погано визріває, і це негативно впливає на перезимівлю кущів винограду. Грибок, уражуючи рослини, особливо активно розвивається на молодих суцвіттях, уражені хворобою ділянки буріють, зав'язі із суцвіттями, що знаходяться нижче, гинуть. Під впливом опадів грибок активно поширюється та знищує рослину (Calonneca et al., 2004).

Проблема стійкості виноградної рослини до збудників основних економічно значимих хвороб є важливою для всіх виноградарських регіонів світу, України, у тому числі й для її північно-східного регіону. Погодні умови досить сильно впливають на фітосанітарний стан виноградних рослин, і щорічно змінюють розвиток шкідливих організмів на виноградних насадженнях (Arestova et al., 2020; Laskavyi et al., 2016; Sannakki et al., 2013). Аналіз варіювання ураженості, виявлення сортів з високою стійкістю до шкідливих організмів, забезпечення на їх основі екологічної та харчової безпеки та економічної стабільності виробництва є актуальним завданням сучасного виноградарства.

Мета досліджень – проаналізувати вплив агроекологічних чинників на ступінь ураження виноградних агроценозів збудниками основних хвороб з урахуванням мікросередовища та виділити найбільш стійкі сорти та форми винограду в умовах північно-східного регіону України.

Матеріали і методи досліджень. Дослідження проводились упродовж 2019–2021 рр. у виноградному агроценозі навчальної лабораторії садівництва та виноградарства Сумського національного аграрного університету (СНАУ) та приватній колекційній ділянці у типових ґрунтово-кліматичних умовах північно-східного Лісостепу України. Об'єкти досліджень: колекція винограду вітчизняної та зарубіжної селекції. Наша колекція винограду налічує близько 30 сортів та форм, періодично поповнюється новими сортами, завдяки чому сортимент

розширюється та оновлюється. В якості контролю виступав районований сорт Лідія. Дослідження проводились на фоні трьох профілактичних обробок: першої – до цвітіння, другої – після цвітіння, третьої – на початку фази стиглості ягід.

В процесі досліджень використовували наступні сорти та гібридні форми: Подарок Несветая, Пам'яті учителя, Ромбик, Вальок, Столетіє, Смарагд, Байконур, кишмиш Лучистий, Віктор, Аркадія, Благовест, Нізіна, Богатяновський, Ланселот, Блек гранд, Лівія, Юпітер, Ізюмінка, Одеський сувенір, Ванюша, Юліан, кишмиш 342/венгерський, Лорано, Красное пламя, Оригінал, Лідія, Флора, кишмиш Запорожський, Галбена ноу. Всі вище названі сорти та гібридні форми винограду універсального та столового напрямку використання, в конвеєрі виробництва відносяться до різних термінів дозрівання, укриваються на зиму.

Експериментальні дослідження проводилися за загальноприйнятими у виноградарстві методиками. Оцінку шкідливості та поширеності шкідливих об'єктів проводили за методикою А.І. Талаш та І.М. Козар (Talash, 2008; Kozar, 2001). Ступінь ураження сортів та оцінка їх стійкості визначались за методикою Н.А. Якушиної (Jakushina et al., 2006). Фітопатологічні спостереження та обліки проводились на природному інфекційному фоні. Аналіз даних проводили за п'ятибальною шкалою: 0 балів – ознак ураження (пошкодження) немає, імунітет; 1 бал – ураження (пошкодження) до 5 %, дуже висока стійкість; 2 бали – до 25 %, висока стійкість; 3 бали – до 50 %, середня стійкість; 4 бали – до 75 %, низька стійкість; 5 балів – до 100 %, дуже низька стійкість.

Навчальна лабораторія садівництва та виноградарства Сумського національного аграрного університету (СНАУ) є частиною північно-східного Лісостепу України. Ґрунти даної зони представлені на 70 % чорноземами типовими вилуженими малогумусними важкосуглинковими, чорноземами типовими малогумусними і чорноземами типовими малогумусними слабозмитими середньосуглинковими. В орних землях середній уміст гумусу складає 4,1 %, високий уміст фосфору 15,1–15,4 мг на 100 г ґрунту і середній уміст калію рухомого 6,7–8,0 мг на 100 г ґрунту. Кислотність ґрунтового розчину близька до нейтральної – 5,9 рН. У цілому ґрунтові умови дослідного поля СНАУ є типовими для зони північно-східного Лісостепу України.

В роботі використовували статистичні методи обробки експериментальних даних за програмою «Microsoft Excel-2010» Windows XP на персональному комп'ютері.

Результати. З практичного досвіду відомо, що одні й ті ж самі сорти та форми винограду мають здатність по-різному реагувати на вплив агроекологічних факторів в різних екологічних умовах вирощування (Laskavyi & Hetman, 2020).

Метеорологічні умови є одним із основних факторів, що впливають на поширення шкідливих організмів. Метеоумови періоду спокою 2019–2021 років характеризувалися теплою погодою з температурою, близькою до середньорічних значень (жовтень, грудень, січень).

Середньомісячна температура листопада перевищувала норму на 2,8 °С, лютого – на 1,3 °С, березня – на 1,7 °С. Абсолютний мінімум температури (мінус 23,8 °С) спостерігався в січні. Зима в період досліджень була доволі теплою, з температурним режимом вище від багаторічних показників. Морози тривали не великі. Зимовий сезон 2021 року характеризувався різними змінами погодних умов, підвищеним температурним режимом проти норми. Похолодання та збільшення температури були короткочасними. Оподи у період спокою випадали нерівномірно. Опадів за цей період випало 89,2 мм, що на 32,8 мм менше багаторічного показника 122 мм. Середньодобова температура повітря за зимові місяці становила мінус 4,4 °С. Загалом, відсутність критичних негативних температур у період спокою 2019–2021 років сприяла не тільки позитивній Perezimivli виноградних рослин, але й збереженню зимуючих форм грибних патогенів.

Початок вегетації характеризувався теплою погодою на рівні середньобогаторічних значень (у квітні). Весняні місяці виявились досить прохолодними. За весняний період середньодобова температура повітря становила 8,2 °С, що вище на 0,1 °С за багаторічну температуру 8,1 °С. Опадів випало 118,9 мм – 90 % при багаторічній 132 мм. Сума активних температур повітря вище плюс 10 °С за весняний період склала 569 °С, при багаторічній – 620 °С. Весняний період 2021 року відрізнявся від попередніх низькими температурами і малою кількістю опадів. Так, у березні температурний режим становив 0,7 °С. Опадів майже не було, випало 1,0 мм – 3 % при багаторічному показнику 38 мм. У квітні температура почала зростати, але ще спостерігався нічний мінус. За цей місяць середньодобова температура повітря становила 8,3 °С, що на 0,4 °С менше багаторічного показника 8,7 °С. Опадів випало 56,5 мм – 141 % від багаторічного показника 40 мм. На поверхні ґрунту спостерігалися приморозки силою від мінус 5 °С до 0 °С. Прохолодні умови весняного періоду 2021 року сприяли значній затримці у розвитку виноградних рослин.

Травень в період досліджень був помірно теплим, спостерігалися коливання температури, вологості та рясні дощі. Середньодобова температура повітря становила 15,5 °С. Опадів випало 61,3 мм – 113 % при багаторічній 54 мм. У травні 2021 року також спостерігалися приморозки на поверхні ґрунту силою від мінус 5 °С до 0 °С, проте останні великої шкоди винограду не завдали. Сприятливий помірний тепловий режим і необхідні умови вологозабезпеченості наставали лише з 2–3 декади травня і зумовлювали інтенсивний ріст пагонів винограду.

Незважаючи на підвищену кількість опадів у травні, ми не спостерігали збільшення інтенсивності розвитку мілдью у фазах вегетації, коли вона особливо небезпечна («до цвітіння», «цвітіння», «початок зростання ягід»). Можна припустити, що стримує фактором була підвищена температура у червні, з максимальними значеннями 33,4 °С за середньодобової температури 24,5 °С. У 2019–2020 роках ознаки мілдью спостерігали лише на виноградних рослинах нестійких сортів (табл. 1).

Візуальні ознаки мілдью були виявлені досить пізно, лише в другій половині вегетації – 2 декаді липня –

1 декаді серпня. Хвороба проявлялась у вигляді поодиноких плям, переважно на молодому прирості. Отримані дані свідчать про депресивний розвиток хвороби у даний період. Найменш стійкими до мілдью були сорти: Красноє пламя, Ізюмінка.

Погодні умови 2021 року виявились надзвичайно сприятливими для розвитку мілдью винограду. Середньодобова температура повітря за травень склала 21,4 °С, що на 2,6 °С вище багаторічного показника 18,8 °С. У кінці травня 2021 року середньодобова температура різко підвищилася до +24,8 °С (оптимальне значення температури для розвитку збудника). Опадів випало 101,9 мм, що складає 152 % при багаторічному показнику 67 мм. Оподи у другій декаді липня спостерігалися у вигляді сильних дощів та злив з градом, що було поштовхом для активного спороношення *Plasmopara viticola*.

Окрім того, 2021 рік видався багатим на рясні роси та крапельну вологу, тому, хоча середньодобова вологість досягала близько 92 %, нічна вологість в окремі дні сягала 100 % (з 23 години вечора до 5 години ранку), що виявлялося достатнім для утворення спороношення збудника хвороби (для проникнення та проростання зооспори необхідно всього лише 2–4 години).

Такі погодно-кліматичні умови сприяли розвитку *P. viticola* і ураженню виноградних рослин. Цьому сприяло і достатнє накопичення джерел інфекції. Температурні умови не обмежували розвиток збудника протягом усього періоду досліджень. Особливо інтенсивний розвиток мілдью спостерігали у вегетаційний період 2021 року, хвороба розвивалась по типу епіфітотії. Відмічався досить ранній прояв хвороби. Перші ознаки зафіксовані в 2–3 декаді червня спочатку на сприйнятливих формах, а потім і на всіх інших.

Аналізуючи ураження фітопатогенами за період досліджень слід відмітити, що дуже низьку стійкість до мілдью серед досліджуваних сортів проявила гібридна форма винограду Красноє пламя американської селекції. Максимальне ураження листя – 5,0 балів; грон – 4,0 бали; середнє ураження у період спостереження – 4,6 бали. У рослин впродовж вегетації уражувались як вегетативні, так і генеративні органи. На уражених суцвіттях спостерігалась повна або часткова їх загибель. Ураження грон у фазу горошина виявилось дуже критичним і призвело до повної втрати урожаю. Не стійким до мілдью виявився і сорт Ізюмінка (максимальне ураження листя – 4,5; грон – до 3,5; середнє – 4,0 бали).

Більшість сортів та гібридних форм показали середню стійкість до збудника хвороби (максимальне ураження листя – 3,0–3,5 бали, грон – 2,0–3,0 бали, середнє – 2,8–3,5 бали). Середня стійкість характерна для сортів: Вальок, Смарагд, Віктор, Аркадія, Благовест, Нізіна, Богатяновський, Ланселот, Блек гранд, Лівія, Одеський сувенір, Ванюша, Юліан, Лорано, Орігінал, Флора.

Деякі форми характеризуються ураженням листя до 2,5 балів, але в гронах відзначаються лише поодинокі симптоми хвороби. Такі сорти слід віднести до групи толерантних: Байконур, Пам'яті учителя, Ромбик, Столетіє, Юпітер, кишмиш Запорожський, Лідія, кишмиш 342/венгерський, Галбена ноу. Такі форми винограду, як

Ураження листя та грон винограду збудником мілдью

| №/п | Сорт/гібридна форма | Бал ураження листя | | | Серед. | Бал ураження грон | | | Серед |
|-----|---------------------|--------------------|-------|-------|--------|-------------------|-------|-------|-------|
| | | 2019р | 2020р | 2021р | | 2019р | 2020р | 2021р | |
| 1 | Подарок Несветая | 2,0 | 2,0 | 2,5 | 2,1 | - | - | - | - |
| 2 | Пам'яті учителя | 2,0 | 2,5 | 2,5 | 2,3 | - | - | - | - |
| 3 | Ромбик | 2,5 | 2,0 | 3,0 | 2,5 | - | - | - | - |
| 4 | Вальок | 3,5 | 3,5 | 3,5 | 3,5 | 2,0 | 2,0 | 2,5 | 2,1 |
| 5 | Столетіє | 2,0 | 3,0 | 3,0 | 2,6 | 3,0 | - | 3,5 | 2,1 |
| 6 | Смарагд | 3,0 | 2,5 | 3,5 | 3,0 | - | 3,0 | 3,0 | 2,0 |
| 7 | Байконур | 2,0 | 2,0 | 2,5 | 2,1 | - | - | - | - |
| 8 | К-м Лучистий | 3,5 | 3,0 | 3,5 | 3,3 | - | - | - | - |
| 9 | Віктор | 3,0 | 3,5 | 3,5 | 3,3 | 2,5 | 2,5 | 3,0 | 2,6 |
| 10 | Аркадія | 3,0 | 3,0 | 4,0 | 3,3 | 2,0 | 2,5 | 2,5 | 2,3 |
| 11 | Благовест | 3,5 | 3,5 | 4,5 | 3,8 | 2,5 | 3,0 | 3,0 | 2,8 |
| 12 | Нізіна | 3,0 | 3,0 | 3,5 | 3,1 | 2,0 | 2,0 | 2,0 | 2,0 |
| 13 | Богатяновський | 3,0 | 2,5 | 3,5 | 3,0 | 3,0 | - | 3,0 | 2,0 |
| 14 | Ланселот | 3,0 | 3,0 | 4,0 | 3,3 | 2,5 | 2,5 | 3,0 | 2,6 |
| 15 | Блек гранд | 2,5 | 3,0 | 3,5 | 3,0 | - | - | - | - |
| 16 | Лівія | 3,0 | 3,0 | 4,0 | 3,3 | 2,0 | 2,5 | 2,0 | 2,1 |
| 17 | Юпітер | 2,0 | 2,0 | 2,0 | 2,0 | - | - | - | - |
| 18 | Ізюмінка | 4,0 | 3,5 | 4,5 | 4,0 | 3,0 | 3,5 | 3,5 | 3,3 |
| 19 | Одеський сувенір | 3,0 | 3,0 | 3,5 | 3,1 | - | 2,5 | 3,5 | 2,0 |
| 20 | Ванюша | 2,5 | 2,5 | 3,0 | 2,6 | 2,0 | 2,0 | 2,0 | 2,0 |
| 21 | Юліан | 3,0 | 3,5 | 4,0 | 3,5 | 3,0 | 2,5 | 3,0 | 2,8 |
| 22 | К-м 342/венгерський | 2,0 | 2,0 | 2,5 | 2,1 | - | - | - | - |
| 23 | Лорано | 3,0 | 3,0 | 3,5 | 3,1 | - | 2,5 | 3,0 | 2,0 |
| 24 | Красное пламя | 4,5 | 4,5 | 5,0 | 4,6 | 3,5 | 3,5 | 5,0 | 4,0 |
| 25 | Орігінал | 2,5 | 3,0 | 3,0 | 2,8 | 2,5 | 2,0 | 2,0 | 2,1 |
| 26 | Лідія (контроль) | 2,0 | 2,0 | 2,5 | 2,1 | - | - | - | - |
| 27 | Флора | 3,0 | 3,0 | 4,0 | 3,3 | 2,5 | 3,0 | 3,0 | 2,8 |
| 28 | К-м Запорожський | 2,5 | 2,5 | 3,0 | 2,6 | 2,0 | 2,0 | 2,5 | 2,1 |
| 29 | Галбена ноу | 2,0 | 2,5 | 3,0 | 2,5 | - | 2,5 | 3,5 | 2,0 |
| | НІР ₀₅ | | | | 0,7 | | | | 0,6 |

Подарок Несветая, Байконур та кишмиш 342/венгерський проявили високу стійкість проти збудника мілдью на рівні контролю (середній бал ураження – 2,1). Стійкість сорту Юпітер (середній бал ураження – 2,0) вища за контрольний сорт Лідія (середній бал ураження – 2,1). За період досліджень імунних до мілдью форм винограду не виділено.

Таким чином, виявлена пряма залежність між розвитком мілдью та погодно-кліматичними умовами, коли на фоні оптимальних температур для збудника (20–25 °С) у періоди підвищеної вологості або опадів спостерігається масове та багаторазове ураження виноградних кущів мілдью.

Розвиток оїдіуму у 2019–2021 роках в умовах північно-східного Лісостепу України відзначався не тільки на листках, але і на гронах. Погодні умови були сприятливими для розвитку збудника *Uncinula necator* Burt. протягом усього періоду досліджень. Оїдіум розвивався по типу епіфитотії впродовж вегетаційних періодів 2019–2021 рр.. Перші візуальні ознаки хвороби були відзначені на листках у 1 декаді липня у вигляді окремих блискучо-жовтих плям на сортах з низькою стійкістю: Аркадія, Юліан, Ізюмінка, Красное пламя, Галбена ноу, кишмиш Лучистий (табл. 2).

Друга хвиля розвитку оїдіуму почалася після встановлення середньодобової температури повітря вище 25 °С. При цьому хвороба розвивалася повсюдно, спочатку на листках, потім на ягодах. Ознаки вторинного зараження оїдіумом (білий борошнистий наліт з некрозом епідермальних клітин листя) були відзначені у 3 декаді липня та 1 декаді серпня на більшості сортів, які вивчались: Вальок, Столетіє, Смарагд, Віктор, Аркадія, Благовест, Нізіна, Богатяновський, Ланселот, Блек гранд, Лівія, Одеський сувенір, Ванюша, Юліан, Лорано, Орігінал, Флора.

Перші ознаки зараження ягід залежно від року було відмічено в 1–2 декаді липня, коли склалися найбільш сприятливі умови для збудника хвороби. Масове ураження грон оїдіумом було зафіксовано при обстеженні виноградних кущів у 1–2 декаді серпня. Надалі хвороба інтенсивніше поширювалася на ягодах винограду. З підвищенням температури вище 30 °С та зниженням відносної вологості повітря до 40–30 % розвиток хвороби призупинився. Наприкінці серпня-початку вересня розвиток оїдіуму відновився, і ми спостерігали так званий, «осінній спалах» хвороби.

Ураження листя і грон винограду оїдіумом

| №/п | Сорт/гібридна форма | Бал ураження листя | | | Серед | Бал ураження грон | | | Серед |
|-----|---------------------|--------------------|-------|-------|-------|-------------------|-------|-------|-------|
| | | 2019р | 2020р | 2021р | | 2019р | 2020р | 2021р | |
| 1 | Подарок Несветая | 3,0 | 3,5 | 3,5 | 3,3 | 2,5 | 3,0 | 2,5 | 2,6 |
| 2 | Пам'яті учителя | 3,0 | 3,5 | 3,0 | 3,1 | 2,5 | 3,5 | 2,5 | 2,8 |
| 3 | Ромбик | 3,5 | 3,0 | 4,5 | 3,6 | 2,0 | 2,0 | 2,5 | 2,1 |
| 4 | Вальок | 3,5 | 4,0 | 4,5 | 4,0 | 4,0 | 4,5 | 4,5 | 4,3 |
| 5 | Столетіє | 3,5 | 3,0 | 3,5 | 3,3 | 2,5 | 2,5 | 3,5 | 2,8 |
| 6 | Смарагд | 3,5 | 4,0 | 4,0 | 3,8 | 3,5 | 3,0 | 3,5 | 3,3 |
| 7 | Байконур | 2,5 | 2,5 | 3,0 | 2,6 | 2,0 | 2,5 | 2,0 | 2,1 |
| 8 | К-м Лучистий | 4,0 | 4,0 | 4,5 | 4,1 | 4,0 | 5,0 | 4,0 | 4,3 |
| 9 | Віктор | 3,0 | 4,5 | 3,5 | 3,6 | 3,0 | 3,5 | 3,5 | 3,3 |
| 10 | Аркадія | 4,0 | 4,5 | 4,5 | 4,3 | 3,5 | 4,5 | 4,5 | 4,1 |
| 11 | Благовест | 3,5 | 3,5 | 4,0 | 3,6 | 3,5 | 4,0 | 4,0 | 3,8 |
| 12 | Нізіна | 3,5 | 4,0 | 3,5 | 3,6 | 3,0 | 3,5 | 3,0 | 3,1 |
| 13 | Богатяновський | 3,0 | 3,5 | 4,0 | 3,5 | 3,5 | 4,0 | 4,0 | 3,8 |
| 14 | Ланселот | 3,0 | 4,0 | 3,5 | 3,5 | 3,0 | 3,5 | 3,0 | 3,1 |
| 15 | Блек гранд | 3,5 | 4,0 | 4,0 | 3,8 | 3,5 | 4,0 | 3,5 | 3,6 |
| 16 | Лівія | 3,5 | 4,0 | 3,5 | 3,6 | 3,5 | 3,0 | 3,0 | 3,1 |
| 17 | Юпітер | 2,5 | 2,0 | 2,5 | 2,3 | 2,5 | 2,0 | 2,5 | 2,1 |
| 18 | Ізюмінка | 3,5 | 4,5 | 4,5 | 4,1 | 3,0 | 4,0 | 3,5 | 3,5 |
| 19 | Одеський сувенір | 3,5 | 4,0 | 3,5 | 3,6 | 3,5 | 3,0 | 3,5 | 3,3 |
| 20 | Ванюша | 3,0 | 4,0 | 3,5 | 3,5 | 3,0 | 3,5 | 3,0 | 3,1 |
| 21 | Юліан | 4,5 | 3,5 | 4,5 | 4,1 | 4,0 | 4,5 | 4,5 | 4,3 |
| 22 | К-м 342/венгерський | 2,5 | 2,5 | 3,5 | 2,8 | 2,0 | 2,5 | 2,5 | 2,3 |
| 23 | Лорано | 3,0 | 4,0 | 4,0 | 3,6 | 3,0 | 3,5 | 3,0 | 3,1 |
| 24 | Красное пламя | 4,0 | 4,5 | 4,5 | 4,3 | 3,5 | 4,0 | 4,0 | 3,8 |
| 25 | Оригінал | 2,0 | 2,5 | 3,5 | 2,6 | 2,5 | 3,5 | 2,5 | 2,8 |
| 26 | Лідія (контроль) | 2,5 | 2,0 | 3,0 | 2,5 | 2,0 | 2,5 | 2,0 | 2,1 |
| 27 | Флора | 3,5 | 4,0 | 4,0 | 3,8 | 3,0 | 4,0 | 3,5 | 3,5 |
| 28 | К-м Запорожський | 3,5 | 3,0 | 3,5 | 3,3 | 3,5 | 3,0 | 3,0 | 3,1 |
| 29 | Галбена ноу | 4,0 | 3,5 | 4,5 | 4,0 | 4,0 | 4,5 | 4,5 | 4,3 |
| | НІР ₀₅ | | | | 0,6 | | | | 0,5 |

Високу стійкість проявили Байконур, Юпітер, кишмиш 342/венгерський, Оригінал, Лідія (максимальне ураження листя – 2,5–3,0 бали, грон – 2,0–3,0 бали, середнє – 2,3–2,8 бали). Слід відмітити сорт Юпітер, який відзначився високою стійкістю до збудника оїдіуму. Середній бал ураження 2,3 був вищим порівняно з контролем (сорт Лідія – 2,5 бали) (табл.2).

У більшості досліджених нами сортів винограду (Подарок Несветая, Пам'яті учителя, Ромбик, Столетіє, Смарагд, Віктор, Благовест, Нізіна, Богатяновський, Ланселот, Блек гранд, Лівія, Юпітер, Одеський сувенір, Ванюша, Лорано, Оригінал, Флора, кишмиш Запорожський) ступінь стійкості до збудника хвороби характеризується як середній (максимальне ураження листя – 3,0–3,5 бали, грон – 2,0–3,5 бали, середнє – 3,1–3,8 бали).

Найбільше збудником оїдіуму уражувались сорти Аркадія, Юліан, Галбена ноу, Вальок, Ізюмінка, Красное пламя, кишмиш Лучистий (максимальне ураження листя – 4,0–4,5 бали, грон – 3,5–4,5 бали, середнє – 4,1–4,3 бали). Для даних сортів характерним є низький ступінь стійкості. Серед досліджених сортів і гібридних форм імунних до оїдіуму не виявлено.

Обговорення. Виноград є надзвичайно чутливою до клімату культурою, а виноградні лози вирощують уже кілька тисяч років в багатьох країнах Європи, Азії та Америки. У світі було створено багато регіонів вирощування винограду, специфічні кліматичні умови яких дозволяли отримувати урожай винограду з конкретними характеристиками (Kucherenko & Bilko, 2020; Lyashenko & Soborova, 2016). Глобальні зміни клімату, ймовірно, призведуть до того, що ці межі зрушать на північ і на південь відповідно. Одночасно це вплине на сортову придатність, і можливе порушення історично вирощених комбінацій (та ідентифікацій) певних сортів із певними регіонами (Antonenko et al., 2015).

Аналіз сучасного стану виноградарства України, проведений вітчизняними науковцями (Fedorenko et al., 2018; Malaschuk, 2017), показав, що впродовж багатьох років у виноградарстві України, яке раніше завжди було важливою галуззю її агропромислового комплексу, зберігається небезпечна тенденція до занепаду. Тенденція скорочення площі виноградників притаманна практично всім регіонам України. Водночас, розвиток ринку винограду є перспективним і важливим в економічному плані.

Україна має у своєму розпорядженні реальні можливості для його розвитку, які базуються на наявності як типових так і нетипових для виноградарства регіонів, які є досить сприятливими за ґрунтовими, температурними умовами та умовами вологості для отримання стабільних урожаїв сортів різних строків дозрівання (Kovalova, 2020).

Поряд зі змінами в розміщенні виноградників по регіонах протягом останніх років відбулися й істотні зміни у сортовому складі насаджень. Урожай одного і того ж сорту винограду при вирощуванні в різних агроєкологічних умовах буде відрізнятися за своїми кількісними та якісними показниками. Як відмічають ряд авторів (Laskavyy & Hetman, 2020; Fedorenko et al., 2018) саме удосконалення сортименту виноградних насаджень є одним із основних шляхів підвищення виробництва винограду як технічного так і столового напрямів використання. Для кожного сорту винограду характерні свої вимоги до цілого комплексу агроєкологічних умов. Для отримання виноградної продукції з відповідними показниками урожайності та якості необхідно дотримуватись відповідності екологічних умов регіонів вирощування винограду. Тому визначення ступеню впливу певного екологічного чинника на досліджувані сорти в різних агроєкологічних зонах має значний науковий і практичний інтерес (Laskavyy & Hetman, 2020).

Виноградним агроценозам у порівнянні з природними біогеоценозами притаманний обмежений склад біологічних видів, де порушуються закони саморегуляції та самооновлення і формуються умови загрози загибелі виноградних рослин внаслідок масового розмноження збудників хвороб або шкідників. Система ведення винограду залежать як від географічної зони вирощування винограду, так і від соціально-економічного устрою і не може бути уніфікована для всіх сортів та ґрунтово-кліматичних умов. Зміна кліматичних умов, масове використання нових сортів, модифікація економічних та соціальних факторів потребують постійного дослідження і впровадження раціональних систем ведення винограду (Shtirbu & Shmatkovska, 2018).

Накопичення шкідливих організмів та їх поширення у різних регіонах відбувається з різною інтенсивністю залежно від сортових особливостей і умов вирощування культури, і навіть діяльності людини. Швидкий процес зміни сортів, поява сортів з новими властивостями мають глибокий вплив на агроценози в цілому, у тому числі на збудників хвороб. Рослини нестійких сортів сприяють посиленню розмноження багатьох шкідливих мікопатогенів, а стійких – пригніченню їх розмноження та шкідливості (Zhang et al., 2020).

Як відомо, умови навколишнього середовища можуть впливати на стійкість виноградних рослин до хвороб. Масове розмноження та зростання агресивності найбільш шкідливих патогенів, ставить під загрозу екологічну безпеку та істотно знижує ефективність заходів захисту винограду (Antonenko, & Novokhatska, 2015; Klechkovsky & Shmatkovska, 2019).

Для ефективної боротьби з фітопатогенами важливо враховувати умови, що сприяють накопиченню, збереженню та відновленню інфекції. При сприятливому

поєднанні умов середовища спостерігається як інтенсивне розмноження, так і висока стійкість і виживання шкідливих організмів. Якщо погодні умови несприятливі, то формуються популяції патогенів з низькою стійкістю, що слабо розвиваються. Тому важливим завданням практичного виноградарства є формування виноградних агроценозів із толерантних або високостійких сортів, стійких до стресорних впливів (Arestova & Rjabchun, 2020).

Як стверджують Арестова Н.О. та Рябущенко Н. Г. (Arestova & Rjabushhenko, 2020) на основі вивчення колекції сортів винограду різного еколого-географічного походження, що не всі інтродуковані сорти можуть повністю реалізувати свій біологічний потенціал в нетипових регіонах вирощування. Тому для північного регіону України актуальним залишається питання підбору сортів з високою адаптивною здатністю і підвищеною стійкістю до основних хвороб (Laskavyy & Hetman, 2020).

Найпоширенішими та економічно значущими для винограду були і залишаються грибні хвороби. Основне значення у комплексі хвороб, що спричиняють найбільші втрати урожаю винограду, належить мілдью (*P. viticola*), оїдіуму (*U. necator* (Schw.) (Arestova & Rjabushhenko, 2020; Baranets & Leshchenko, 2015). Збільшення шкодочинності та агресивності найбільш розповсюджених грибних хвороб, активізація та поширення нових, кліматичні зміни вимагають підбору сортименту винограду з відносною стійкістю проти грибних хвороб (Fedorenko et al., 2018; Sannakki et al., 2013).

Варто зауважити, що отримані нами в процесі досліджень результати вказують на те, що більшість досліджуваних сортів в умовах північно-східного Лісостепу України мають високий (Юпітер, Байконур, Орігінал, кишмиш 342/венгерський, Лідія) або середній (Флора, Подарок Несветая, Лорано, Пам'яті учителя, Ромбик, Ланселот, Столетіє, Віктор, Благовест, Нізіна, Богатяновський, Блек гранд, Лівія, Одеський сувенір, Смарагд, Ванюша, кишмиш Запорозький) ступінь стійкості (на рівні 2,5–3,5 балів за 5-ти бальною шкалою), до основних грибних хвороб винограду. І лише деякі форми винограду (Аркадія, Юліан, кишмиш Лучистий, Галбена ноу, Красное пламя, Ізюмінка) виявились нестійкими (4,1–4,6 балів) до дії збудників оїдіуму і мілдью в даних агроєкологічних умовах.

Аналогічні результати отримані дослідниками і в інших ґрунтово-кліматичних зонах. Так, в умовах Одеського та Запорізького регіонів за стійкістю виділялись сорти Орігінал та Флора (6–7 балів) за 9-ти бальною шкалою, а найсприйнятливішим виявився сорт кишмиш Лучистий (3–5 балів) (Laskavyy et al., 2016). Аркадія характеризується як сорт із середнім ступенем польової витривалості в умовах півдня України (Oshchupok, 2020). В регіоні північно-східного Лісостепу України сорт Аркадія виявився нестійким до оїдіуму винограду (середній бал ураження – 4,3; середній бал ураження грон – 4,1).

Дослідженням встановлено, що біологічні особливості більшості досліджених сортів винограду досить повно відповідають умовам вирощування та можуть бути рекомендовані для впровадження у виробництво в агрокліматичній зоні північно-східного Лісостепу Укра-

їни. Вирощування сортів з високими адаптивними можливостями до дії несприятливих агроєкологічних факторів дозволить отримувати екологічно чисту продукцію високої якості.

Висновки. Проведені дослідження підтвердили вплив на розвиток та розповсюдження мілдью та оїдіуму на виноградниках відповідних агроєкологічних чинників, насамперед, метеорологічних умов – температури та вологості повітря. Із нашої колекції досліджуваних сортів та форм винограду особливий інтерес представляють сорти Юпітер, Байконур, кишмиш 342/венгерський, Орігінал, Лідія, Подарок Несветая, Пам'яті учителя, Ромбік, Столетіє, Смарагд, Віктор, Благовест, Нізіна, Богатяновський, Ланселот, Блек гранд, Лівія, Юпітер, Одеський сувенір, Ванюша, Лорано, Флора, кишмиш Запорозький, які легко пристосовуються до відмінних від традиційних агроєкологічних умов вирощування, завдяки високій біологічній пластичності.

Встановлено, що за період досліджень 2019–2021рр. спостерігались коливання рівня стійкості проти хвороб в залежності від погодних умов, однак більшість досліджуваних сортів (Байконур, Юпітер, кишмиш 342/венгерський, Орігінал, Лідія) проявили високу і середню (Подарок Несветая, Пам'яті учителя, Ромбік, Столетіє, Смарагд, Віктор, Благовест, Нізіна, Богатяновський, Ланселот, Блек

гранд, Лівія, Одеський сувенір, Ванюша, Лорано, Флора, кишмиш Запорозький) стійкість проти мікозних хвороб винограду (мілдью та оїдіуму) на рівні 2,5–3,5 балів за 5-ти бальною шкалою, що дає можливість їх вирощування в умовах північно-східного Лісостепу України з обмеженням пестицидного тиску у виноградних агроєкосистемах. Стійкість проти хвороб сорту Юпітер (середній бал ураження проти мілдью – 2,0; середній бал ураження проти оїдіуму – 2,3;) вища за контрольний сорт Лідія (середній бал ураження проти мілдью – 2,1; середній бал ураження проти оїдіуму – 2,5;). Сорти винограду Аркадія, Вальок, Галбена ноу показали високу стійкість до дії збудника мілдью (середній бал ураження листя – 2,5–3,5; середній бал ураження грон – 2,0–2,3), але виявилися не стійкими до дії оїдіуму (середній бал ураження листя – 4,0–4,3; середній бал ураження грон – 4,3). Форми винограду Ізюмінка (4,1 бали проти мілдью, 4,0 бали проти оїдіуму), Красное пламя (4,6 бали проти мілдью, 4,3 бали проти оїдіуму) виявились дуже сприйнятливими до дії збудників основних грибних патогенів винограду. Вирощування сортів Красное пламя, Ізюмінка, Аркадія, Юліан, кишмиш Лучистий, які є нестійкими до дії збудників оїдіуму і мілдью, в даних агроєкологічних умовах, є екологічно і економічно недоцільним, оскільки потребує додаткових пестицидних обробок.

Бібліографічні посилання:

1. Antonenko, A. M., Vavrinevych, O. P., Omelchuk, S. T., Stavnichenko, P. V., & Novokhatska, O. O. (2015). Aktualnist vykorystannia ta hihienichna otsinka zmin asortymentu ta obsiahiv zastosuvannia funhitsydiv dlia zakhystu vynogradnykiv u silskomu hospodarstvi Ukrainy ta Yevropy [Relevance of use and hygienical assessment of changes in the range and scope of fungicides for protection of vineyards in agriculture of Ukraine and Europe]. In *International scientific-practical forum of pedagogues, psychologists and medics* October scientific forum15» (197–197) (in Ukrainian).
2. Arestova, N. O., & Rjabchun, I. O. (2020). Izmenenie vredonosnosti fitopatogenov v zavisimosti ot meteorologicheskikh uslovij na vinogradnikah Nizhnego Pridon'ja [Changes in the harmfulness of phytopathogens depending on meteorological conditions in the vineyards of the Lower Don region]. *Plodovodstvo i jagodovodstvo Rossii*, 58, 102–108. doi: 10.31676/2073-4948-2019-58-102-108 (in Russian).
3. Arestova, N. O., Rjabchun, I. O., & Rjabushhenko, N. G. (2020). Razvitie osnovnyh mikofov na rastenijah razlichnykh sortov vinograda v uslovijah donskoj ampelograficheskoi kolleksii [Development of the main mycoses on plants of various grape varieties under the conditions of the Don ampelographic collection]. *Russkij vinograd*, 14, 44–50. doi: 10.32904/2712-8245-2020-14-44-50 (in Russian).
4. Babych, I. M., Mukoid, R. M., & Vasylyv, V. P. (2018). Netradytsiini sorty vynuhradu v Ukraini [Unconventional grape varieties in Ukraine]. *Novitni tekhnolohii: zbirnyk naukovykh prats*, 3 (7), 117–121 (in Ukrainian).
5. Baranets, L. O., & Leshchenko, A. O. (2015). Systema zakhystu vynogradnykh nasadzhen preparatamy kompanii Nufarm na foni epifitotiniho rozvytku oidiumu ta znachnoi chyselnosti hronovoi lystokrutky [The system of protection of vineyards with Nufarm preparations against the background of epiphytic development of powdery mildew and a significant number of vine leaf-roller]. *Vynohradarstvo i vynorobstvo*, 52, 16–22 (in Ukrainian).
6. Calonneca, A., Cartolaroa, P., Poupotb, C., Dubourdieub, D., & Darriet, D. (2004). Effects of *Uncinula necator* on the yield and quality of grapes (*Vitis vinifera*) and wine. *Plant Pathology*, 53, 434–445. doi: 10.1111/j.1365-3059.2004.01016.x.
7. Chougule, Archana, Vijay Kumar Jha, and Debajyoti Mukhopadhyay (2016). «AgroKanti: location-aware decision support system for forecasting of pests and diseases in grapes.» *Information Systems Design and Intelligent Applications*. Springer, New Delhi, 677–685. doi: 10.1007/978-81-322-2755-7_70
8. Fedorenko, M. H., Kovalova, I. A., Herus, L. V., & Burhelia, N. Ye. (2018). Rezultaty bahatorichnoho vyprovuvannia novykh henotypiv vynuhradu stolovoho napriamku vykorystannia [The results of many years of testing new genotypes of table grapes]. *NNTs «Instytut vynohradarstva i vynorobstva im. Vle Tairova»*. Odesa, NNTs «IVIV im. Vle Tairova», 55, 146 (in Ukrainian).
9. Hel, I. M. (2018). Sortyment vynuhradu Lvivshchyny dlia vyroshchuvannia ekobezpechnoi produktsii v amatorskomu vynohradarstvi [Assortment of grapes of Lviv region for growing environmentally friendly products in amateur viticulture]. *Zhurnal ahrobiolohii ta ekolohii*, 5(1), 89 (in Ukrainian).
10. Jakushina, N. A., Stranishvskaja E. P., Radionovskaja, Ja. Je., Cibul'njak, Ju. A., & Hizhnjak, Ju.E. (2006). Metodicheskie rekomendacii po primeneniju fitosanitarnogo kontrolja v zashhite promyshlennykh vinogradnykh nasazhdenij Juga Ukrainy ot vreditelej i boleznej [Guidelines for the use of phytosanitary control in the protection of industrial vineyards in the South of Ukraine from pests and diseases]. *Jalta. Nacional'nij Institut vinograda i vina «Magarach»*, 13 (in Russian).

11. Klechkovskiy, Y., Bolshakova, V., & Shmatkovska, K. (2019). Efficiency of modern fungicides in protection of vineyards from fungal diseases. *Interdepartmental Thematic Scientific Collection of Plant Protection and Quarantine*, 65, 76–86. doi: 10.36495/1606-9773.2019.65.76-86 (in Ukrainian).
12. Kovalova, I. (2020). Sortovi aspekty rozrobky biznes-planiv vyroshchuvannya stolovoho vynuohradu [Varietal aspects of development of business plans for growing table grapes]. *Zbirnyk naukovykh prats*, 74, 128–134 (in Ukrainian). doi: 10.32848/0135-2369.2020.74.23
13. Kozar, I. M., Berezovska, O. O., & Voloshyna, N. P. (2001). Rekomendatsii shchodo zakhystu vynuohradnykiv vid khvorob ta shkidnykiv [Recommendations for the protection of vineyards from diseases and pests]. *Odesa. IViV im. V. Ye. Tairova*, 61 (in Ukrainian).
14. Kucherenko, V., & Bilko, M. (2020). Quantitative content of methanol in wines of isabel grape varieties and its impact on consumer health, 16. doi: 10.24263/2225-2924-2020-26-6-4
15. Laskavyi, V. M., Hetman, N. H., Herus, L. V., Kovalova, I. A., & Fedorenko, M. H. (2016). Vplyv ampeloekologichnykh umov rehionu vyroshchuvannya na riven proiavu riadu pokaznykiv stolovykh sortiv vynuohradu suchasnoi selektsii na prykladi Zaporizkoi ta Odeskoi oblasti Ukrainy [Influence of ampelocological conditions of the region of cultivation on the level of manifestation of a number of indicators of table grape varieties of modern selection on the example of Zaporizhia and Odessa regions of Ukraine]. *Vynohradarstvo i vynorobstvo*, 53, 124–129 (in Ukrainian).
16. Laskavyi, V. M., Kuzmenko, O. R., & Hetman, N. H. (2020). Rezultaty doslidzhen stolovykh sortiv vynuohradu v ahroklimatychnykh umovakh pivdennoho stepu Ukrainy [Results of research of table grape varieties in agro-climatic conditions of the southern steppe of Ukraine]. *NNTs «Instytut vynuohradarstva i vynorobstva im. V.le Tairova»*. *Odesa. NNTs «IViV im. V.le Tairova»*, 52 (in Ukrainian).
17. Laskavyi, V. M., Kuzmenko, O. R., Hetman, N. H., & Shaburova, I. I. (2017). Zymostiikist ta stiikist proty khvorob perspektyvnykh sortiv vynuohradu v Zaporizkii oblasti [Winter hardiness and disease resistance of promising grape varieties in the Zaporozhye region]. *NNTs «Instytut vynuohradarstva i vynorobstva im. V.le Tairova»*. *Odesa. NNTs «IViV im. V.le Tairova»*, 54, 110 (in Ukrainian).
18. Laskavyi, V., Kuzmenko, O., & Hetman, N. (2020). Adaptivnyi potentsial tekhnichnykh sortiv vynuohradu v umovakh pivdennoho stepu Ukrainy [Adaptive potential of technical grape varieties in the conditions of the southern steppe of Ukraine]. *Peredhirne ta hirske zemlerobstvo i tvarynnytstvo*, 68(1), 125. doi: 10.32636/01308521.2020-(68)-1-9 (in Ukrainian).
19. Lyashenko, H. V., & Soborova, O. M. (2016). The dynamics of berries quality indicators of technical kinds of grapes during a ripening period. *Ukrainian hydrometeorological journal*, 18, 90–96. doi: <https://doi.org/10.31481/uhmj.18.2016.10>
20. Malaschuk, O. S. (2017). Rozvytok ta stanovlennia vynuohradarstva na pivdni Ukrainy v druhii polovyni XIX stolittia [Development and formation of viticulture in the south of Ukraine in the second half of the XIX century]. *Zaporizhzhia Historical Review*, 1(48), 37–42 (in Ukrainian).
21. Oshchypok, O. S. (2020). Efektyvnist zakhystu vid zbudnykiv khvorob shkolky vynuohradu vid mildiu pry kraplynnomu zroshenni v umovakh pivdnia Ukrainy [The effectiveness of protection against pathogens of grape seedlings from mildew under drip irrigation in the south of Ukraine]. *NNTs «Instytut vynuohradarstva i vynorobstva im. V.le Tairova»*. *Odesa. NNTs «IViV im. V.le Tairova»*, 68 (in Ukrainian).
22. Pasichnyk, S. V. (2010). Perspektyvni sorty vynuohradu na Chernihivshchyni [Promising grape varieties in Chernihiv region]. *Zbirnyk naukovykh prats vykladachiv*, 86 (in Ukrainian).
23. Patil, S. S., & Thorat, S. A. (2016). Early detection of grapes diseases using machine learning and IoT. *Second international conference on Cognitive Computing and Information Processing (CCIP)*. IEEE, doi: 10.1109/CCIP.2016.7802887
24. Sandika, B., Avil, S., Sanat, S., & Srinivasu, P. (2016). Random forest based classification of diseases in grapes from images captured in uncontrolled environments. *IEEE 13th international conference on signal processing (ICSP)*. IEEE. doi: 10.1109/ICSP.2016.7878133
25. Sannakki, S., Rajpurohit, V. S., Sumira, F., & Venkatesh, H. (2013). A neural network approach for disease forecasting in grapes using weather parameters. *2013 Fourth International Conference on Computing, Communications and Networking Technologies (ICCCNT)*. IEEE. doi: 10.1109/ICCCNT.2013.6726613
26. Sannakki, S. S., Rajpurohit, V. S., Nargund, V. B., & Kulkarni, P. (2013). Diagnosis and classification of grape leaf diseases using neural networks. *2013 Fourth International Conference on Computing, Communications and Networking Technologies (ICCCNT)*. IEEE, doi: 10.1109/ICCCNT.2013.6726616
27. Sheidyk, K. A., Kardkovach, I., Liubka, O. S., & Savina, O. I. (2017). Stan ta sortovi potentsial vynuohradu v Zakarpatskii oblasti [Condition and varietal potential of grapes in the Transcarpathian region]. *Hromadske obiednannia «VEKTOR POShUKU»*, Dnipro, 15 (in Ukrainian).
28. Shtirbu, A. V., & Shmatkovska, K. A. (2018). Poshyrennia sezonnykh khvorob i shkidnykiv na vynuohradnykakh z riznoiui skhemoiu sadinnia i vysotoiu shtambu kushchiv v umovakh pivnichnoho Prychornomia [Distribution of seasonal diseases and pests in vineyards with different planting patterns and height of the bush trunk in the northern Black Sea region]. *NNTs «Instytut vynuohradarstva i vynorobstva im. V.le Tairova»*. *Odesa. NNTs «IViV im. V.le Tairova»*, 55, 152 (in Ukrainian).
29. Talash A.I. (2008). Metodika provedenija ispytanj sredstv zashhity protiv «sezonnnykh» vobuditelej boleznej na vinogradnikah v polevykh uslovijah [Methodology for testing means of protection against «seasonal» pathogens in vineyards in the field]. *Krasnodar*, 12. (in Russian).
30. Zhang, H., Godana, E. A., Sui, Y., Yang, Q., Zhang, X., & Zhao, L. (2020). Biological control as an alternative to synthetic fungicides for the management of grey and blue mould diseases of table grapes: a review. *Critical Reviews in Microbiology*, 46.4, 450–462. doi: 10.1080/1040841X.2020.1794793

Tatarynova V.I., PhD (Agricultural Sciences), Associate Professor, Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine
Vlasenko V.A., Doctor (Agricultural Sciences), Professor, Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine
Burdulaniuk A.O., PhD (Agricultural Sciences), Associate Professor, Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine
Bakumenko O.M., PhD (Agricultural Sciences), Associate Professor, Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine
Demchenko V.M., PhD (Agricultural Sciences), Associate Professor, Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine
Yemets O.M., PhD (Biological Sciences), Associate Professor, Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine
Rozhkova T.O., PhD (Biological Sciences), Associate Professor, Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine
Sakhoshko M.M., PhD (Agricultural Sciences), Sumy branch of the Ukrainian Institute of Plant Variety Examination, Sumy, Ukraine

Influence of agroecological factors on the phytosanitary condition of grape agrocenoses in the conditions of the north-eastern forest steppe of Ukraine

In 2019–2021 in the grape agrocenosis of the training laboratory of horticulture and viticulture of Sumy National Agrarian University a study was conducted to study the impact of agri-environmental factors on the level of development of the main mycoses of grapes. Data on the degree of resistance of grape plants of different grape varieties to the main phytopathogens (mildew, powdery mildew) in typical soil and climatic conditions of the north-eastern forest-steppe of Ukraine are given. The collection of domestic and foreign selection, which includes about 30 varieties and forms of grapes, has been studied. It was found that the meteorological conditions of 2021 contributed to the epiphytotic development of mildew and oidium. There were fluctuations in the level of disease resistance depending on weather conditions during the study period 2019–2021. Selected varieties and forms of grapes with high resistance to pathogens of mildew (*P. viticola*) and powdery mildew (*U. necator* (Schw.): Baikonur, Yupiter, kyshmysh 342/vienherskyi, Orihinal, Lidiia (maximum leaf damage – 2.5–3, 0 points, berries – 2.0–3.0 points, average – 2.3–2.8 points). A high level of resistance of the Yupiter variety (average lesion score 2.3) to the causative agent of powdery mildew compared to the control (Lidiia variety – 2.5 points) was noted. It is proved that most of the studied varieties showed average resistance to fungal diseases of grapes (mildew and powdery mildew) at the level of 3.0–3.5 points (Podarok Niesvietaia, Pamiati uchytelia, Rombik, Stolietiie, Smarahd, Viktor, Blahoviest, Nizina, Bohatianovskyi, Lanselot, Bliak hrاند, Liviia, Odeskyi souvenir, Vaniusha, Lorano, Flora, kyshmysh Zaporozhskyi). The most susceptible to the action of pathogens of major fungal pathogens were forms of grapes Iziiminka (4.1 points against mildew, 4.0 points against oidium.), Krasnoie plamia (4.6 points against mildew, 4.3 points against oidium). Among the studied varieties and hybrid forms immune to oidium and mildew were not detected. The study found that the biological characteristics of grape varieties (Baikonur, Yupiter, kyshmysh 342/vienherskyi, Orihinal, Lidiia, Podarok Niesvietaia, Pamiati uchytelia, Rombik, Stolietiie, Smarahd, Viktor, Blahoviest, Nizina, Bohatianovskyi, Lanselot, Bliak hrاند, Liviia, Odeskyi souvenir, Vaniusha, Lorano, Flora, kyshmysh Zaporozhskyi) meet the growing conditions and can be recommended for introduction into production in the agro-climatic zone of the north-eastern forest-steppe of Ukraine. Growing varieties with high adaptive potential will allow to obtain environmentally friendly products of high quality.

Key words: grapevine, downy mildew, powdery mildew, meteorological conditions, degree of damage, resistance to diseases.

ТЕХНОЛОГІЧНІ ТА АГРОЕКОЛОГІЧНІ ПОКАЗНИКИ ГРУП СОРТІВ СОЇ ЗА СТИГЛІСТЮ

Ткачук Олександр Петрович

доктор сільськогосподарських наук, доцент
Вінницький національний аграрний університет, м. Вінниця, Україна
ORCID: 0000-0002-0647-6662
tkachukop@ukr.net

Алексєєв Олексій Олександрович

кандидат сільськогосподарських наук, доцент
Вінницький національний аграрний університет, м. Вінниця, Україна
ORCID: 0000-0001-5807-4932
alekseev_oleksiy@ukr.net

Передумовами подальшого підвищення урожайності насіння сої в Україні за інтенсивного землеробства та екстремальних погодних умов є вирощування у господарствах кілька сортів різних груп стиглості. Визначальним чинником при структурному розподілі між групами сортів сої за періодом стиглості мають бути показники продуктивності, якості урожаю, технологічності і стійкості до несприятливих екологічних умов.

Мета – проаналізувати групи сортів сої за скоростиглістю за показниками екологічності, технологічності вирощування, стійкістю до несприятливих умов вегетації, рівнем урожайності та вмістом білка і жиру у насінні, що дозволить рекомендувати оптимальний структурний розподіл між сортами різних груп стиглості в Україні. Дослідження проводили опрацюванням Державного реєстру сортів рослин, придатних для поширення в Україні на 2022 рік. Оцінювали рекомендовані до вирощування в Україні усі внесені до реєстру групи сортів сої за урожайністю насіння, стійкістю до хвороб, несприятливих погодних умов, зокрема посухи, вилягання рослин і осипання насіння.

Серед груп стиглості сої найчисельнішою є середньо ранньостиглі сорти, що складають 56% від усіх сортів. Група ранньостиглих сортів у структурі займає 25%, середньостиглі – 11%, ультра скоростиглі – 6%, і сорти середньо пізньостиглої групи за кількістю є найменш чисельними – 2% або лише 4 сорти. Найвищою урожайністю насіння в Україні відзначаються середньоранньостиглі сорти сої – 2,73 т/га. Саме сорти цієї групи мають бути основними у структурі сої в Україні. Найвищий вміст білка у насінні встановлений в ультра скоростиглих сортах – 40,7%, жиру – в середньостиглих сортах – 21,6%. Найвищою стійкістю до вилягання рослин, осипання насіння, до посухи та хвороб відзначаються ультра скоростиглі та середньо пізньостиглі сорти сої. Тому доповнюючими до середньо ранньостиглих сортів сої мають бути ультра скоростиглі та середньо пізньостиглі сорти. Частка ранньостиглих та середньостиглих має бути найменша.

Ключові слова: соя, групи сортів, стиглість, продуктивність, якість, технологічні показники, екологічні характеристики.

DOI <https://doi.org/10.32845/agrobio.2022.2.22>

Вступ. Соя, як культура, що може забезпечити людині доступним рослинним білком для харчування, кормом для тваринницької галузі та сировиною для технічних потреб, відзначається постійним нарощуванням її посівних площ. Найбільші країни виробники сої – США, Бразилія і Аргентина, вирощують її переважно на родючих ґрунтах, із сприятливими вологозабезпеченістю і тепловим режимом, у так званому соєвому поясі (Grigorchuk, 2011; Kirilesko & Movchan, 2016).

Україна має суттєвий потенціал для нарощування як посівних площ, так і урожайності сої. Сприятливими регіонами для вирощування сої в Україні є зона Лісостепу, у якій зосереджено близько 60% усіх посівних площ під соєю, Полісся, де її посівні площі у структурі займають 24% і Степ – 16% посівних площ (Kovbasa et al., 2021; Bulgakov et al., 2019).

При подальшій посушливості клімату в Україні із підвищенням суми позитивних та активних температур впродовж вегетаційного періоду, зменшенням кількості опадів, поширенням ґрунтової і повітряної посухи, істотно зростатиме роль сортів сої у збереженні її ста-

більної продуктивності та подальшому підвищенні їх урожайності (Bandura et al., 2019).

Зростання посівних площ і валових зборів насіння сої в Україні останніми роками значною мірою вимагає впровадження у сільськогосподарське виробництво нових, адаптованих до конкретних ґрунтово-кліматичних умов, з високою стійкістю до несприятливих чинників довкілля, високотехнологічних сортів. Сучасні сорти сої, крім високої урожайності, повинні відзначатися високим вмістом білка і жиру, оптимальною тривалістю вегетаційного періоду, стійкістю до хвороб, шкідників та інших несприятливих чинників навколишнього середовища, технологічністю при вирощуванні, здатністю фіксувати значні обсяги симбіотичного азоту (Kuznietsova et al., 2020).

Важливим завданням сучасних сортів сої є їх висока адаптивність до несприятливих чинників та здатність максимально реалізувати свій потенціал продуктивності у поєднанні з високою якістю насіння (Shevnikov, 2009).

Сучасні сорти сої повинні відзначатися високими адаптивними властивостями. Також важливою складовою сортового складу сої має бути якість урожаю, еколо-

гічна стійкість до несприятливих чинників навколишнього середовища та економічна доцільність вирощування (Petrychenko, 2012; Kotov et al., 2018).

При виборі сорту сої необхідно враховувати природно-кліматичні умови, де він буде вирощуватися, хімічний склад насіння, висоту закладки нижніх бобів. Важлива наявність у бобі сої не менше 3-х насінин і 10–11 продуктивних вузлів на стеблі. Рослина повинна бути компактною, із закінченим типом росту. Також достиглий і готовий до збирання сорт не повинен розтріскуватися і обсіпатися (Gunko et al., 2021).

Проте, на сьогодні існує ряд об'єктивних обставин, які не дозволяють швидкими темпами підвищити продуктивність сої. Серед них – невідповідність сортової політики до наявного асортименту сортів сої різних груп стиглості, які були б придатні до вирощування у конкретних ґрунтово-кліматичних умовах України (Nahorni, 2010; Kaminsky et al., 2005).

При виборі сорту сої, важливою його характеристикою є інтенсивність росту на початкових етапах. Сорти, які характеризуються високою енергією початкового росту, швидко закривають поверхню ґрунту та зумовлюють менше випаровування вологи з ґрунту. Також важливою характеристикою сортів сої має бути їх висока посухостійкість, зокрема це мають бути сорти, які рекомендовані до вирощування у Степу України. Це дозволить ефективно зберігати та використовувати незначні запаси вологи за рахунок зменшення випаровування та повного покриття ґрунту листовим апаратом, що буде повільніше реагувати на дефіцит вологи (Guntianskiy, 2008; Didur et al., 2021).

В Україні достатньо великий сортимент сої різних груп стиглості: ультра скоростиглі, ранньостиглі, середньо ранньостиглі, середньостиглі та середньо пізньостиглі. В умовах інтенсивного землеробства з екстремальними погодними умовами важливо вирощувати у господарствах кілька сортів різних груп стиглості (Mukhailov et al., 2011; Hrushetskiy et al., 2021). Проте визначальним чинником при структурному розподілі між цим групами сортів мають бути показники продуктивності, якості урожаю, технологічності і стійкості до несприятливих умов.

Мета статті – проаналізувати групи сортів сої за скоростиглістю за показниками екологічності, технологічності вирощування, стійкістю до несприятливих умов вегетації, рівнем урожайності та вмістом білка і жиру у насінні, що дозволить рекомендувати оптимальний структурний розподіл між сортами різних груп стиглості в Україні.

Матеріали і методи досліджень. Дослідження проводили опрацюванням Державного реєстру сортів рослин, придатних для поширення в Україні на 2022 рік за даними Українського інституту експертизи сортів рослин. Досліди проводилися у Лісостеповій ґрунтово-кліматичній зоні впродовж п'яти попередніх років до періоду включення сортів сої до Державного реєстру. Оцінювали рекомендовані до вирощування в Україні усі внесені до реєстру групи сортів сої за стиглістю. Сорти сої, відповідно до державної кваліфікаційної експертизи, для визначення придатності до поширення в Україні оцінюють

за урожайністю насіння, стійкістю до хвороб, несприятливих погодних умов, зокрема посухи, вилягання рослин і осипання насіння. Проводили оцінку стійкості до ураження найпоширенішими хворобами сої: пероноспороз (*Peronospora manshurica* Sydow), аскохітоз (*Ascochyta blight* *jaecola* Abramov), бактеріоз (*Pseudomonas savastoni* *pv. glycinea*), септоріоз (*Septoria glycines* T. Hemmi), фузаріоз (*Fusarium* Link.).

Відносна стійкість сортів сої до хвороб, посухи, вилягання рослин і осипання насіння визначається за дев'ятибальною шкалою (1–9 балів), за якою 9 балів відповідає найвищій стійкості, а 1 бал – найнижчій. Використовується така градація: 9 балів – стійкість відмінна; 7 балів – стійкість добра; 5 балів – стійкість задовільна; 3 бали – стійкість погана; 1 бал – стійкість дуже погана.

Показники, за якими проводили екологічну оцінку сортів сої, встановлюються відповідно до Методики проведення експертизи сортів рослин групи зернових, круп'яних та зернобобових на придатність до поширення в Україні. Досліди проводилися на ділянках 10–25 м² у чотириразовій повторності.

Висоту рослин сої визначають перед збиранням у двох несуміжних повтореннях. Висоту прикріплення нижніх бобів – вимірюванням відстані від поверхні ґрунту до місця прикріплення нижнього бобу у 25 рослин.

Визначення стійкості сортів сої до основних хвороб проводили за відсотком уражених рослин, стійкість до посухи визначали на основі візуальної оцінки рослин впродовж вегетації. Проводили порівняння досліджуваних показників на основі математично-статистичного кореляційно аналізу.

Об'єкт досліджень – групи сортів сої за стиглістю, включені до Державного реєстру сортів рослин, придатних для поширення в Україні на 2022 рік.

Предмет досліджень – показники технологічності, агроекологічної стійкості, продуктивності та якості урожаю груп сортів сої за стиглістю.

Результати. В Україні придатні до вирощування сорти сої, що належать до п'яти груп стиглості: ультраскоростиглі – з вегетаційним періодом до 85 діб; ранньостиглі – 86–105 діб; середньо ранньостиглі – 106–125 діб; середньостиглі – 126–135 діб та середньо пізньостиглі – 136–145 діб. Загалом до Державного реєстру сортів рослин України на 2022 рік занесені 283 сорти сої. Серед груп стиглості сої найчисельнішою є середньо ранньостиглі сорти, що складають 56% від усіх сортів. Група ранньостиглих сортів у структурі займає 25%, середньостиглі – 11%, ультра скоростиглі – 6%, і сорти середньо пізньостиглої групи за кількістю є найменш чисельними – 2% або лише 4 сорти (табл. 1).

Основними показниками технологічності сортів сої є висота прикріплення нижніх бобів, висота рослин, стійкість рослин до вилягання та стійкість бобів сої до осипання насіння. Середня висота прикріплення нижніх бобів ультра скоростиглих, ранньостиглих та середньо ранньостиглих сортів сої була однаковою і складала 13 см. У середньостиглих сортів сої середня висота прикріплення нижніх бобів була на 2 см більша і складала 15 см. Найбільшу середню висоту прикріплення

Сортимент сортів сої за групами стиглості в Україні

| № | Група стиглості сортів | Тривалість вегетаційного періоду, днів | Кількість сортів у Державному реєстрі України, станом на 2021 рік |
|---|------------------------|--|---|
| 1 | Ультраскоростиглі | до 85 | 17 |
| 2 | Ранньостиглі | 86–105 | 72 |
| 3 | Середньоранньостиглі | 106–125 | 159 |
| 4 | Середньостиглі | 126–135 | 31 |
| 5 | Середньопізньюстиглі | 136–145 | 4 |

нижніх бобів мала група середньо пізньюстиглих сортів сої, що була на 4 см більша, ніж ультра скоростиглих, ранньостиглих і середньо ранньостиглих сортів сої та склала 17 см. Саме високе розміщення нижніх бобів від поверхні ґрунту сприяє більш повному збиранню урожаю при мінімальних втратах, тому саме у сортів середньо пізньюстиглої групи висота прикріплення нижніх бобів є найкращою для механізованого збирання (табл. 2).

Найнижчу середню висоту рослин мали ультра скоростиглі сорти сої – 75 см. Ранньостиглі і середньо ранньостиглі сорти сої були на 6 см вищі за ультраскоростиглі та мали середню висоту 81 см. Середньостиглі сорти сої були на 10 см вищі, ніж ультра скоростиглі і мали середню висоту 85 см. Найвищими були сорти середньо пізньюстиглої групи – 92 см, що були на 17 см вищими за ультра скоростиглі.

Найвищу середню стійкість до вилягання стебла мали сорти сої ультра скоростиглої та середньо пізньюстиглої груп – по 8,5 балів. Якщо висока стійкість до вилягання рослин сої ультра скоростиглої групи забезпечується найнижчою висотою рослин, порівняно з сортами сої інших груп стиглості, то сорти середньо пізньюстиглої групи були найвищими серед усіх груп. У цієї групи сортів висока стійкість рослин до вилягання стебла забезпечується високою міцністю стебла через його великий діаметр, порівняно

з сортами інших груп стиглості. Стійкість до вилягання ранньостиглих, середньо ранньостиглих і середньостиглих сортів сої була однаковою і становила 8,1–8,2 бали. Сорти цих груп стиглості за висотою займали проміжне місце між ультра скоростиглими та середньо пізньюстиглими.

Найвищу середню стійкість до осипання насіння мали сорти середньо пізньюстиглої групи – 8,8 балів та ультра скоростиглої групи – 8,6 балів. Ранньостиглі сорти сої мали найнижчу середню стійкість до осипання насіння – 7,9 балів, а сорти середньо ранньостиглої та середньостиглої груп мали середню стійкість до осипання насіння – 8,1 та 8,3 бали.

Показниками агроєкологічної стійкості сортів сої є їх стійкість до посухи і хвороб. Найбільш посухостійкими виявилися ультра скоростиглі сорти з середнім балом стійкості 8,4 та середньо пізньюстиглі – з балом 8,3. Якщо у сортів ультра ранньостиглої групи посухостійкість забезпечується коротким вегетаційним періодом та формуванням урожаю до посухи, то у сортів середньо пізньюстиглої групи – за рахунок формування урожаю у пізні строки, після посухи. В той же час середньостиглі сорти сої мали найнижчий бал посухостійкості – 7,9, а ранньостиглі та середньо ранньостиглі сорти – 8,0 балів. Таким чином, найбільш стійкими до посухи виявилися сорти сої груп ультра скоростиглі і середньо пізньюстиглі (табл. 3).

Таблиця 2

Показники технологічності груп стиглості сортів сої в Україні

| № | Група стиглості сортів | Тривалість вегетаційного періоду, днів | Висота прикріплення нижнього боба, см | Висота рослини, см | Стійкість до вилягання, бал | Стійкість до осипання насіння, бал |
|---|------------------------|--|---------------------------------------|--------------------|-----------------------------|------------------------------------|
| 1 | Ультраскоростиглі | 85 | 13 | 75 | 8,5 | 8,6 |
| 2 | Ранньостиглі | 99 | 13 | 81 | 8,1 | 7,9 |
| 3 | Середньоранньостиглі | 115 | 13 | 81 | 8,2 | 8,1 |
| 4 | Середньостиглі | 129 | 15 | 85 | 8,2 | 8,3 |
| 5 | Середньопізньюстиглі | 141 | 17 | 92 | 8,5 | 8,8 |

Таблиця 3

Показники агроєкологічної стійкості, урожайності та якості насіння груп стиглості сортів сої в Україні

| № | Група стиглості сортів | Посухостійкість, бал | Стійкість до хвороб, бал | Урожайність насіння, т/га | Вміст білка в насінні, % | Вміст жиру в насінні, % |
|---|------------------------|----------------------|--------------------------|---------------------------|--------------------------|-------------------------|
| 1 | Ультраскоростиглі | 8,4 | 8,8 | 2,34 | 40,7 | 21,0 |
| 2 | Ранньостиглі | 8,0 | 8,5 | 2,59 | 40,1 | 21,2 |
| 3 | Середньоранньостиглі | 8,0 | 8,6 | 2,73 | 40,3 | 21,3 |
| 4 | Середньостиглі | 7,9 | 8,6 | 2,52 | 39,4 | 21,6 |
| 5 | Середньопізньюстиглі | 8,3 | 9,0 | 2,53 | 38,7 | 21,2 |

Середня стійкість до хвороб у всіх груп сортів сої за скоростиглістю була високою. Найбільш стійкими до хвороб виявилися сорти середньо пізньостиглої групи – 9,0 балів. Це найвищий бал з можливих. Ультраскоростиглі сорти мали середній бал стійкості до хвороб 8,8, середньо ранньостиглі і середньостиглі – по 8,6 балів, а ранньостиглі – 8,5 балів.

Визначальним показником усіх груп сортів сої за стиглістю є їх середня урожайність. Найвища урожайність встановлена у сортів середньо ранньостиглої групи – 2,73 т/га. Ранньостиглі сорти сої мали урожайність на 5,1% меншу – 2,59 т/га. Середньопізньостиглі і середньостиглі сорти сої мали урожайність на 7,3–7,7% меншу, ніж урожайність середньо ранньостиглих сортів і становила 2,53 і 2,52 т/га відповідно. Найнижчу середню урожайність мали сорти сої ультраскоростиглої групи – 2,34 т/га, що було на 14,3% менше, ніж урожайність середньо ранньостиглої групи.

Найвищий середній вміст білка у насінні мали сорти ультра скоростиглої групи – 40,7%. У середньо ранньостиглої групи вміст білка у насінні був на 0,4% менший – 40,3%, у ранньостиглої групи – на 0,6% менший – 40,1%. Найнижчий середній вміст білка у насінні мали сорти середньо пізньостиглої і середньостиглої груп, відповідно 38,7 та 39,4%, що було на 2,0 та 1,3% менше, ніж у сортів ультра скоростиглої групи.

Середній вміст жиру у насінні сортів сої усіх груп стиглості був приблизно однаковим і становив 21,0–21,6%. Найвищий середній вміст жиру мали сорти середньостиглої групи, а найменший – ультра скоростиглої.

Аналіз отриманих показників засвідчує, що середньо ранньостиглі сорти сої, які відзначаються найвищою середньою урожайністю насіння, є найбільш чисельними за кількістю. Середньо пізньостиглі сорти сої мали най-

більшу висоту прикріплення нижніх бобів, найбільшу висоту рослин, найвищі бали стійкості до вилягання рослин, осипання насіння, до хвороб, але мали найменший вміст білка у насінні. Середньостиглі сорти сої мали найбільший вміст жиру у насінні, але найменший бал посухостійкості. Ранньостиглі сорти сої мали найнижчий бал стійкості до вилягання рослин, осипання насіння та до хвороб. Ультра скоростиглі сорти сої мали найвищий бал стійкості до вилягання рослин, посухи та найвищий вміст білка у насінні, проте мали найнижчу урожайність, найменший вміст жиру у насінні та найменшу висоту рослин.

Проведений математично-статистичний аналіз одержаних показників встановив, що між середньою тривалістю вегетаційного періоду сортів сої усіх груп стиглості та середньою висотою прикріплення нижніх бобів у них, встановлений сильний позитивний кореляційний зв'язок $r = 0,866$. Тобто, чим більший вегетаційний період груп сортів сої, тим вище прикріплюються нижні боби від поверхні ґрунту у них (табл. 4).

Між середньою тривалістю вегетаційного періоду груп сортів сої та їх середньою висотою рослин встановлений сильний позитивний кореляційний зв'язок $r = 0,947$. Тобто, чим більший вегетаційний період груп сортів сої, тим більша їх висота рослин.

Між середньою тривалістю вегетаційного періоду груп сортів сої та їх середнім вмістом білка у насінні встановлений сильний негативний кореляційний зв'язок $r = -0,923$. Тобто, чим більший вегетаційний період груп сортів сої, тим менший вміст білка у їх насінні.

Між середньою тривалістю вегетаційного періоду груп сортів сої та середнім вмістом жиру у їх насінні встановлений середній позитивний кореляційний зв'язок $r = 0,607$. Тобто, чим більший вегетаційний період груп сортів сої, тим більший вміст жиру у їх насінні.

Таблиця 4

Коефіцієнти кореляції між досліджуваними чинниками груп стиглості сортів сої в Україні

| № | Чинник 1 | Чинник 2 | Коефіцієнт кореляції, r |
|----|---|---|-------------------------|
| 1 | Тривалість вегетаційного періоду, діб | Висота прикріплення нижніх бобів, см | 0,866 |
| 2 | Тривалість вегетаційного періоду, діб | Висота рослин, см | 0,947 |
| 3 | Тривалість вегетаційного періоду, діб | Вміст білка у насінні, % | -0,923 |
| 4 | Тривалість вегетаційного періоду, діб | Вміст жиру у насінні, % | 0,607 |
| 5 | Висота прикріплення нижніх бобів, см | Висота рослин, см | 0,920 |
| 6 | Висота прикріплення нижніх бобів, см | Стійкість рослин до осипання насіння, бал | 0,674 |
| 7 | Висота прикріплення нижніх бобів, см | Стійкість рослин до хвороб, бал | 0,699 |
| 8 | Висота прикріплення нижніх бобів, см | Вміст білка у насінні, % | -0,959 |
| 9 | Висота рослин, см | Вміст білка у насінні, % | -0,981 |
| 10 | Стійкість рослин до вилягання, бал | Стійкість рослин до осипання насіння, бал | 0,953 |
| 11 | Стійкість рослин до вилягання, бал | Псухостійкість, бал | 0,925 |
| 12 | Стійкість рослин до вилягання, бал | Стійкість рослин до хвороб, бал | 0,935 |
| 13 | Стійкість рослин до вилягання, бал | Урожайність насіння, т/га | -0,656 |
| 14 | Стійкість рослин до осипання насіння, бал | Псухостійкість, бал | 0,778 |
| 15 | Стійкість рослин до осипання насіння, бал | Стійкість рослин до хвороб, бал | 0,960 |
| 16 | Стійкість рослин до осипання насіння, бал | Урожайність насіння, т/га | -0,602 |
| 17 | Псухостійкість, бал | Стійкість рослин до хвороб, бал | 0,807 |
| 18 | Псухостійкість, бал | Урожайність насіння, т/га | -0,674 |
| 19 | Псухостійкість, бал | Вміст жиру у насінні, % | -0,821 |

Між середньою висотою прикріплення нижніх бобів груп сортів сої та середньою висотою їх рослин встановлений сильний позитивний кореляційний зв'язок $r = 0,920$. Тобто, чим більша висота рослин груп сортів сої, тим вище розміщені у них нижні боби.

Між середньою висотою прикріплення нижніх бобів груп сортів сої та їх середньою стійкістю до осипання насіння встановлений сильний позитивний кореляційний зв'язок $r = 0,674$. Тобто, чим більша висота прикріплення нижніх бобів рослин груп сортів сої, тим більша їх стійкість до осипання насіння.

Між середньою висотою прикріплення нижніх бобів груп сортів сої та їх середньою стійкістю до хвороб встановлений сильний позитивний кореляційний зв'язок $r = 0,699$. Тобто, чим більша висота прикріплення нижніх бобів груп сортів сої, тим більша стійкість у них до хвороб.

Між середньою висотою прикріплення нижніх бобів груп сортів сої та середнім вмістом білка у їх насінні встановлений сильний негативний кореляційний зв'язок $r = -0,959$. Тобто, чим більша висота прикріплення нижніх бобів груп сортів сої, тим менший вміст білка у насінні.

Між середньою висотою рослин груп сортів сої та середнім вмістом білка у їх насінні встановлений сильний негативний кореляційний зв'язок $r = -0,981$. Тобто, чим більша висота рослин груп сортів сої, тим менший вміст білка у них.

Між середнім балом стійкості рослин до вилягання груп сортів сої та їх середнім балом стійкості до осипання насіння встановлений сильний позитивний кореляційний зв'язок $r = 0,953$. Тобто, чим більший бал стійкості груп сортів сої до вилягання, тим більший у них бал стійкості до осипання насіння.

Між середнім балом стійкості рослин до вилягання груп сортів сої та їх середнім балом посухостійкості встановлений сильний позитивний кореляційний зв'язок $r = 0,925$. Тобто, чим більший бал стійкості груп сортів сої до вилягання, тим більший їх бал посухостійкості.

Між середнім балом стійкості рослин до вилягання груп сортів сої та їх середнім балом стійкості до хвороб встановлений сильний позитивний кореляційний зв'язок $r = 0,935$. Тобто, чим більший бал стійкості груп сортів сої до вилягання, тим більший їх бал стійкості до хвороб.

Між середнім балом стійкості рослин до вилягання груп сортів сої та їх середньою урожайністю насіння встановлений середній негативний кореляційний зв'язок $r = -0,656$. Тобто, чим більший бал стійкості груп сортів сої до вилягання, тим менша їх урожайність насіння.

Між середнім балом стійкості рослин до осипання насіння груп сортів сої та їх середнім балом посухостійкості встановлений сильний позитивний кореляційний зв'язок $r = 0,778$. Тобто, чим більший бал стійкості груп сортів сої до осипання насіння, тим більший їх бал посухостійкості.

Між середнім балом стійкості рослин до осипання насіння груп сортів сої та їх середнім балом стійкості до хвороб встановлений сильний позитивний кореляційний зв'язок $r = 0,960$. Тобто, чим більший бал стійкості груп сортів сої до осипання насіння, тим більший їх бал стійкості до хвороб.

Між середнім балом стійкості рослин до осипання насіння груп сортів сої та їх середньою урожайністю насіння встановлений середній негативний кореляційний зв'язок $r = -0,602$. Тобто, чим більший бал стійкості груп сортів сої до осипання насіння, тим менша їх урожайність.

Між середнім балом посухостійкості рослин груп сортів сої та середнім балом їх стійкості до хвороб встановлений сильний позитивний кореляційний зв'язок $r = 0,807$. Тобто, чим більший бал посухостійкості груп сортів сої, тим більша їх стійкість до хвороб.

Між середнім балом посухостійкості рослин груп сортів сої та їх середньою урожайністю насіння встановлений сильний негативний кореляційний зв'язок $r = -0,674$. Тобто, чим більший бал посухостійкості груп сортів сої, тим нижча їх урожайність насіння.

Між середнім балом посухостійкості рослин груп сортів сої та середнім вмістом жиру у їх насінні встановлений сильний негативний кореляційний зв'язок $r = -0,821$. Тобто, чим більший бал посухостійкості груп сортів сої, тим нижчий вміст жиру у їх насінні.

Обговорення. Як зазначає Д.С. Діма (Dima, 2018), протягом останніх років безперервне зростання посівних площ під сою в Європі, здебільшого в Центральній та Східній, ставить перед фермерами складні завдання щодо вибору оптимальних сортів та застосування адекватної технології вирощування, які б гарантували максимальне зростання урожайності та якості насіння сої. Водночас ця ситуація створює новий імпульс для селекціонерів з метою створення нових сортів сої з комплексом цінних ознак та характеристик. Показники врожайності, якості, екологічності та технологічності різних сортів сої дозволяють фахівцям з агрономії рекомендувати фермерам оптимальні сорти для конкретної зони вирощування сої.

Саме зазначені показники ми досліджували у контексті різних груп стиглості сої в умовах постійного зростання її посівних площ в Україні, як країні Східної Європи, де останніми роками цей процес набув інтенсивного росту.

Jiang B.J., Zhang S.W., Han T.F. (2019) зазначають, що ранньостиглі сорти сої забезпечують найвищий і стабільний урожай насіння, порівняно з середньостиглими. В той же час завдяки короткому вегетаційному періоду ультраранні сорти не встигають забезпечити достатньо високі врожаї насіння, але характеризуються стабільною врожайністю за роками, що дозволяє їх висівати в дещо пізніші строки, як страхову культуру та використовувати в якості попередника для озимих зернових. А середньостиглі сорти сої часто страждають від посухи в другій половині літа, тому їх високі врожаї можна сформувати лише при достатньому зволоженні в цей період.

Наші дослідження підтверджують думку (Jaing et al., 2019) про найвищу урожайність ранньостиглих сортів сої в Україні. Зокрема, група середньо ранньостиглих та ранньостиглих сортів відзначалась найвищою урожайністю – відповідно 2,73 та 2,59 т/га. В той же час ультра скоростиглі сорти сої характеризувалися найнижчою урожайністю насіння в Україні – 2,34 т/га через дуже короткий їх вегетаційний період. Середньостиглі

сортів сої були більш продуктивні за ультра скоростиглі, але менш продуктивні за ранньостиглі та середноранньостиглі з середньою урожайністю 2,52–2,53 т/га.

У північно-західній Європі прохолодні та вологі кліматичні умови створюють проблеми для сої з точки зору її досягання та отримання достатньої врожайності, а також через прояв хвороб рослин. Щоб збільшити шанси на успішне впровадження сої в Бельгії та визначити основні проблеми у її вирощуванні, як зазначають науковці (Rapponcourt et al., 2018), необхідно вирощувати ранньостиглі сорти сої. Ці сорти змогли досягти фази стиглості до початку жовтня. При цьому врожайність насіння та вміст білка становили від 2,00 до 2,92 т/га і 35,5–43,3% відповідно. Високорослі сорти дозрівають пізніше, але мають більш високий вміст білка в порівнянні з більш низькорослими сортами. Толерантність до вилягання корелювала з урожаєм насіння та вмістом білка сої, але не залежала від висоти рослин. Сприйнятливості до хвороб сої відображала значні відмінності між сортами.

Проблема прохолодної та вологою погоди для України не актуальна. Вона може спостерігатися один раз на 5 років. Виходячи з цього, в Україні досягають сорти сої включно із середньо пізньостиглою групою з тривалістю вегетаційного періоду до 141 доби. Проблема розвитку хвороб сої для України також не настільки важлива, як для Бельгії, оскільки нашими дослідженнями виявлено дуже високий бал стійкості до них – 8,5–9 балів при 9-ти максимальних балах. При цьому урожайність насіння сої та вміст білка у ньому в Україні в середньому є наближеними до цих показників у Бельгії. Також підтверджено тезу (Rapponcourt et al., 2018), що при збільшенні висоти рослин сої зростає тривалість вегетаційного періоду (коефіцієнт кореляції 0,947), але спростовано тезу зростання вмісту білка у насінні сої при збільшенні висоти її рослин (коефіцієнт кореляції – 0,981). Також підтверджено в умовах України зворотну кореляційну залежність між стійкістю рослин до вилягання та урожайністю насіння сої (коефіцієнт кореляції – 0,656), а залежностей між виляганням рослин сої і вмістом білка у їх насінні, а також висотою рослин, не виявлено.

Урожайність сої є складною кількісною ознакою, на яку сильно впливають умови навколишнього середовища. Дослідження 173 генотипів сої в трьох різних екологічних зонах Китаю показали, що сорти сої з більшою висотою рослин, кількістю вузлів основного стебла, гілок, бобів, зерен і масою 1000 зерен або більш тривалими періодами росту можуть мати вищу врожайність (Li et al., 2020).

Ці твердження для умов України співпадають лише для сортів від ультра скоростиглих до середньо ранньостиглих, які і становлять у структурі груп стиглості значну більшість.

У Туреччині досліджували висоту рослин сої та прикріплення нижніх бобів, кількість бобів на рослині, урожай насіння, масу 1000 насінин, характеристики вмісту олії та білка. Урожайність насіння коливалася від 3,66 до 4,43 т/га у середньому за два роки (Onat, 2018).

Порівняно з Українськими рівнями урожайності сої, можна констатувати, що кліматичні умови у Туреччині є більш сприятливими для вирощування сої, що дозволяють отримати рівень урожайності на 25,4–38,4% вищу.

Урожайність різних сортів сої в Казахстані коливається в межах від 2,09 до 4,39 т/га залежно від групи стиглості (Didorenko et al., 2021), що приблизно відповідає умовам України.

Попит на сою в Індонезії, за даними Aminah, Palad M.S. and Sahur A. (2020) дуже високий, проте внутрішнього виробництва недостатньо для потреб населення в сої, тому його необхідно задовольняти за рахунок імпорту. Повільні темпи покращення виробництва сої в Індонезії викликані низькою урожайністю, яка сягає лише 1,30 т/га. Тоді як потенційний приріст урожайності сої може досягти 2,20 т/га. Основним обмежуючим фактором підвищення урожайності насіння сої в Індонезії є чутливість рослин сої до значної посухи, що викликає стресові умови. Отримані результати показують, що спостерігається зниження врожайності насіння сої до 50% разом зі зниженням доступності ґрунтової вологи.

В умовах України рівень урожайності сої є у 2,1 рази вищий, ніж у Індонезії через відсутність потужної ґрунтової посухи. Підвищує високу стійкість до цього несприятливого агроекологічного чинника високий бал посухостійкості сортів сої, що внесені до Державного реєстру в Україні – 7,9–8,4 бали із 9-ти максимально можливих балів.

Висновки. Отже, найвищою урожайністю насіння в Лісостепу України відзначаються середноранньостиглі сорти сої – 2,73 т/га. Серед сортів цієї групи стиглості найбільш урожайними є Подяка, Езра, Стайн 07Ж22, Саска, Сяйво, Сіпрес, Мальвіна, СВХ15Т1С1, ЕС Композитор, Турізас, Еліна. Саме сорти цієї групи мають бути основними у структурі сої в умовах Лісостепової ґрунтово-кліматичної зони України. Найвищий вміст білка у насінні встановлений в ультра скоростиглих сортів – 40,7% (сорт Беркана, Райдуга, Голубка та Мелодія), жиру – в середньостиглих сортів – 21,6% (сорт Валентія, Васильківська, Тена, Аполон). Найвищою стійкістю до вилягання рослин, осипання насіння, до посухи та хвороб відзначаються ультра скоростиглі та середньо пізньостиглі сорти сої. Тому доповнючими до середньо ранньостиглих сортів сої мають бути ультра скоростиглі та середньо пізньостиглі сорти. Частка ранньостиглих та середньостиглих має бути найменша.

Бібліографічні посилання:

1. Aminah, Palad, M.S. & Sahur, A. (2020). Drought levels of several soybean's variety (Glycine Max L. Merrill). International conference on sustainable cereals and crops production systems in the tropics, 484.
2. Bandura, V., Mazur, V., Yaroshenko, L. & Rubanenko, O. (2019). Research on sunflower seeds drying process in a monolayer tray vibration dryer based on infrared radiation. INMATEN Agricultural Engineering, 57(1), 233–242.
3. Bulgakov, V., Kaletnik, H., Goncharuk, I., Ivanovs, S. & Usenko, M. (2019). Results of experimental investigations of a flexible active harrow with loosening teeth. – Agronomy Research. 17 (5), 1839–1845.

4. Derzhavnyi reiestr sortiv roslyn, prydatnykh dlia poshyrennia v Ukraini na 2021 rik. [State Register of Plant Varieties Suitable for Distribution in Ukraine for 2021]. Kyiv. 2021, 537. (in Ukrainian).
5. Didorenko, S.V., Abugaliyeva, A.I., Ageyenko, A.V. (2021). Monitoring quality and yield capacity of soybean varieties during the creation of various ecotypes in Kazakhstan. *Agrivita*, 43(3), 558–568.
6. Didur, I., Chynchuk, O., Pansyryeva, H., Olifirovych, S., Olifirovych, V., Tkachuk, O. (2021). Effect of fertilizers for *Phaseolus vulgaris* L. productivity in Western Forest-Steppe of Ukraine. *Ukrainian Journal of Ecology*, 11(1), 419–424.
7. Dima, D.C. (2018). The yield performance of various soybean genotypes in five experimental fields in Romania and Bulgaria in 2015 and 2016. *Scientific papers. Series A. Agronomy*, 61(2), 81–84.
8. Grigorchuk, N.F. (2011). Ispolzovanie soi v voprose sovershenstvovaniya struktury posevnykh ploschadey [The use of soybeans in improving the structure of sown areas]. *Feed and feed production. Vinnytsia. Vol. 69. P. 162-166.* (in Ukrainian).
9. Gunko, I., Hraniak, V., Yaropud, V., Kupchuk, I., Rutkevych, V. (2021). Optical sensor of harmful air impurity concentration. *Przegląd Elektrotechniczny*, 7, 76–79. doi: 10.15199/48.2021.07.15
10. Guntyanskiy, R.A. (2008). Konkurentospromozhnist sortiv soi z riznoi tryvalistiu vehetatsiinoho periodu u vidnoshenni do bur'ianiv [Competitiveness of soybean varieties with different vegetation duration in relation to weeds]. *Breeding and seed production. Kyiv*. 95, 266–272. (in Ukrainian).
11. Hrushetskiy, S., Yaropud, V., Kupchuk, I. & Semenysheva, R. (2021). The heap parts movement on the shareboard surface of the potato harvesting machine. *Bulletin of the Transilvania University of Braşov. Series II: Forestry, Wood Industry, Agricultural Food Engineering*. 14 (63)1, 127–140. doi: 10.31926/but.fwi.2021.14.63.1.12
12. Jiang, B.J., Zhang, S.W. & Han, T.F. (2019). Natural variations of FT family genes in soybean varieties covering a wide range of maturity groups. *BMC Genomics*, Mar, 20, 20.
13. Kaminskiy, V.F., Vyshnivskiy, P.S., Dvoretzka, S.P., Holodna, A.V. (2005). Znachennia zernovykh bobovykh kultur ta napriamky intensyfikatsii yikh vyrobnytstva [Importance of grain legumes and directions of intensification of their production]. *Breeding and seed production. Kyiv*, 90, 14–22. (in Ukrainian).
14. Kirilesko, O.L. & Movchan, K.I. (2016). Formuvannia vrozhaivosti zernobobovykh kultur v umovakh Zakhidnoho Lisostepu Ukrainy [Formation of legume yields in the Western Forest-Steppe of Ukraine]. *Feed and feed production. Vinnytsia*, 82, 127–132. (in Ukrainian).
15. Kotov, B., Spirin, A., Tverdokhlib, I., Polyevoda, Y., Hryshchenko, V. & Kalinichenko, R. (2018). Theoretical researches on cooling process regularity of the grain material in the layer. *INMATEH Agricultural Engineering*, 54(1), 87–94.
16. Kovbasa, V., Solona, O., Deikun, V. & Kupchuk, I. (2021). Functions derivation of stresses in the soil and resistance forces to the motion of a plough share for cavity creation. *UPB Scientific Bulletin, Series D: Mechanical Engineering*. 83(3), 305–318.
17. Kuznietsova, I., Bandura, V., Paziuk, V., Tokarchuk, O., Kupchuk, I. (2020). Application of the differential scanning calorimetry method in the study of the tomato fruits drying process. *Agraarteadus*, 31(2), 173–180. doi: 10.15159/jas.20.14
18. Li, M.M., Liu, Y., Zhao, L. (2020). Identification of traits contributing to high and stable yields in different soybean varieties across three Chinese latitudes. *Frontiers in Plant Science*, Jan 21, 10.
19. *Metodyka provedennia ekspertyzy sortiv roslyn hrupy zernovykh, krup'ianykh ta zernobobovykh na prydatnist do poshyrennia v Ukraini [Methods of examination of plant varieties of cereals, cereals and legumes for suitability for distribution in Ukraine]*. Kyiv. 2016. 81 p. URL: <https://sops.gov.ua/uploads/page/5a5f4147d3595.pdf> (in Ukrainian).
20. Mykhailov, V.H., Shcherbyna, O.Z., Romaniuk, L.S. & Starychenko, V.M. (2011). Kharakterystyka skorostyhykh i serednostyhykh sortiv soi dlia zony Lisostepu i Polissia Ukrainy [Characteristics of early-ripening and medium-ripening soybean varieties for the zone Forest-steppe and Polissya of Ukraine]. *Breeding and seed production. Kyiv*, 100, 306–314. (in Ukrainian).
21. Nahorni, V.I. (2010). Vplyv strokiv i sposobiv sivy na urozhainist sortiv soi. [The influence of timing and methods of sowing on the yield of soybean varieties]. *Feed and feed production. Vinnytsia*, 66, 91–95. (in Ukrainian).
22. Ofitsiini opysy sortiv roslyn ta pokaznyky hospodarskoi prydatnosti [Official descriptions of plant varieties and indicators of economic suitability]. *Protection of plant variety rights. Bulletin. Kyiv*, 2019, 3, 87, 88. Access mode: https://agro.me.gov.ua/storage/app/sites/1/buleteny_prava%20na%20sorty/bull_2019/byuleten-vipusk-3-2019.pdf (in Ukrainian).
23. Ofitsiini opysy sortiv roslyn ta pokaznyky hospodarskoi prydatnosti [Official descriptions of plant varieties and indicators of economic suitability]. *Protection of plant variety rights. Bulletin. Kyiv*, 2020, 1, 227, 599. Access mode: <https://www.sops.gov.ua/uploads/page/5ea7d5a005828.pdf> (in Ukrainian).
24. Ofitsiini opysy sortiv roslyn ta pokaznyky hospodarskoi prydatnosti [Official descriptions of plant varieties and indicators of economic suitability]. *Protection of plant variety rights. Bulletin. Kyiv*. 2020. Issue. 2. P. 328-330. Access mode: https://agro.me.gov.ua/storage/app/sites/1/buleteny_prava-2020.pdf (in Ukrainian).
25. Ofitsiini opysy sortiv roslyn ta pokaznyky hospodarskoi prydatnosti [Official descriptions of plant varieties and indicators of economic suitability]. *Protection of plant variety rights. Bulletin. Kyiv*. 2020. Issue. 5. P. 168-170. Access mode: https://sops.gov.ua/uploads/page/buleten/B_5_2020.pdf (in Ukrainian).
26. Onat, B. (2018). Evaluation some agronomic and quality traits of some soybean varieties grown as a double crop in mediterranean environment in Turkey. – *Fresenius Environmental Bulletin*, 27(4), 2590–2597.
27. Pannecoucq, J., Goormachtigh, S., Van Waes, J. (2018). Screening for soybean varieties suited to Belgian growing conditions based on maturity, yield components and resistance to *Sclerotinia sclerotiorum* and *Rhizoctonia solani* anastomosis group 2-IIIB. *Journal of Agricultural Science*, 156(3), 342–349.
28. Petrychenko, V.F. (2012). Naukovi osnovy vyrobnytstva i vykorystannia soi u tvarynnystvii [Scientific bases of soybean production and use in animal husbandry]. *Feed and feed production. Vinnytsia*, 71, 3–11. (in Ukrainian).
29. Shevnikov, M.Ya. (2009). Produktivnist sortiv soi v umovakh livoberezhnoi chastyny Lisostepu Ukrainy [Productivity of soybean varieties in the conditions of the left-bank part of the Forest-Steppe of Ukraine]. *Bulletin of the Poltava State Agrarian Academy. Poltava. № 4. P. 37-41.* (in Ukrainian).

Tkachuk O.P., Doctor (Agricultural Sciences), Associate Professor Vinnytsia National Agrarian University, Vinnytsia, Ukraine

Alekseev O.O., PhD (Agricultural Sciences), Associate Professor Vinnytsia National Agrarian University, Vinnytsia, Ukraine

Technological and agroecological indicators of groups of soybean varieties by maturity

Prerequisites for further increase in soybean seed yield in Ukraine under intensive agriculture and extreme weather conditions are the cultivation of several varieties of different maturity groups on farms. The determining factor in the structural distribution between groups of soybean varieties by maturity should be indicators of productivity, yield quality, manufacturability and resistance to adverse environmental conditions.

The aim is to analyze groups of soybean varieties by precocity in terms of environmental friendliness, cultivation, resistance to adverse growing conditions, yield and protein and fat content in seeds, which will recommend the optimal structural distribution between varieties of different maturity groups in Ukraine. The research was conducted by developing the State Register of Plant Varieties Suitable for Distribution in Ukraine in 2022. All registered groups of soybean varieties recommended for cultivation in Ukraine were evaluated in terms of seed yield, resistance to diseases, adverse weather conditions, including drought, plant lodging and seed shedding.

Among the groups of soybean ripeness, the most numerous are medium-early varieties, which make up 56% of all varieties. The group of early-ripening varieties in the structure occupies 25%, medium-ripening – 11%, ultra-early-ripening – 6%, and varieties of medium-late ripening group are the least numerous – 2% or only 4 varieties. Medium-early soybean varieties have the highest seed yield in Ukraine – 2.73 t / ha. It is the varieties of this group that should be the main ones in the structure of soybeans in Ukraine. The highest protein content in seeds is found in ultra-early varieties – 40.7%, fat – in medium-ripe varieties – 21.6%. Ultra-early and medium-late soybean varieties have the highest resistance to plant lodging, seed shedding, drought and disease. Therefore, ultra-early and medium-late varieties should be complementary to medium-early soybean varieties. The share of early and middle-ripe should be the smallest.

Key words: soybean, groups of varieties, ripeness, productivity, quality, technological indicators, ecological characteristics.

УРОЖАЙНІСТЬ ТА ЯКІСТЬ ЗЕРНА ПШЕНИЦІ ТВЕРДОЇ ОЗИМОЇ ЗАЛЕЖНО ВІД ВИКОРИСТАННЯ КОМПЛЕКСНИХ БІОЛОГІЧНО АКТИВНИХ ПРЕПАРАТІВ

Ярчук Ігор Іванович

доктор сільськогосподарських наук, професор
Дніпровський державний аграрно-економічний університет
м. Дніпро, Україна
ORCID: 0000-0002-8107-0582
i.i.yarchur@gmail.com

Мельник Тарас Віталійович

кандидат сільськогосподарських наук,
директор
Товариство з обмеженою відповідальністю «ХІКС Україна»,
м. Синельниково, Дніпропетровська обл., Україна
ORCID: 0000-0002-5280-6482
t.melnyk@gmail.com

Погасій Владислав Олексійович

студент
Дніпровський державний аграрно-економічний університет
м. Дніпро, Україна
ORCID: 0000-0002-3479-9813
vladislavpogasij@gmail.com

Розробка технологій, які дозволять збільшити обсяги зборів якісного зерна пшениці твердої є нагальною проблемою.

Польові досліді з вивчення можливості підвищення урожайності та якості зерна пшениці твердої озимої за рахунок використання сучасних біологічно активних препаратів проводили на дослідному полі Дніпровського державного аграрно-економічного університету (зона північного Степу). Грунтовий покрив представлений чорноземом звичайним малогумусним середньосушлинковим. Досліді проводили з сортом пшениці твердої озимої сорту Континент по чорному пару на двох фонах мінерального живлення: – $P_{15} + N_{30}$ і високий $N_{30}P_{60}K_{40} + N_{30}$. Обробку рослин (насіння) проводили сучасними комплексними біологічно активними препаратами як восени, так і навесні. Також використовували у два строки і ретардант Хлормекватхлорид 750.

Встановлено, що на низькому фоні мінерального живлення ($P_{15} + N_{30}$) всі препарати мали позитивний вплив на такі показники як кількість продуктивних стебел на 1 м^2 і продуктивна кущистість. Найбільший ефект було отримано при використанні Біогумус + Айдар, АКМ (навесні), АКМ (восени) та Марс ELBi (навесні). Особливістю використання даних комплексних препаратів було те, що всі вони на низькому фоні мінерального живлення по пару позитивно впливали на основні показники елементів структури урожаю, але за умов відносно достатнього поживного режиму позитивна дія більшості препаратів зникає. Лише препарати Біогумус + Айдар та Хлормекват-хлорид 750 (навесні) були здатні покращувати показники елементів структури урожаю як на низькому фоні, так і на високому фоні мінерального живлення.

Підвищення урожайності зерна пшениці твердої озимої також спостерігалось, в основному, на низькому фоні (пар, $P_{15} + N_{30}$). Найбільш ефективними виявились препарати АКМ (восени) і Марс ELBi (навесні). Прибавка при їх застосуванні склала 1,45 і 1,34 т/га (у відсотках відповідно 36,9 і 33,5 %). Деяко менші прибавки отримані при використанні препаратів АКМ (навесні) – 1,16 т/га, Хлормекват-хлорид 750 (навесні) – 0,71 т/га, Біогумус + Айдар – 0,71 т/га, що відповідає 29,1; 17,9 та 17,7 %. На високому фоні мінерального живлення (пар, $N_{30}P_{60}K_{40} + N_{30}$), ефективність дії досліджуваних препаратів була вкрай низькою і в більшості випадків отримували урожайність меншу за контроль.

Якість зерна самою високою була у найменш урожайному 2016 році. Значно підвищили вміст білка у посушливому 2016 році за всіх умов мінерального живлення препарати Антистрес, АКМ, Хлормекват-хлорид 750 та Біогумус + Айдар. У той же час у відносно сприятливому 2014 році позитивного ефекту від препаратів не спостерігалось. Найбільший вміст білка в зерні спостерігався на контролі.

Таким чином, сучасні комплексні (полікомпонентні) біологічно активні препарати здатні підвищити урожайність та якість зерна лише за умов невисокого рівня забезпечення рослин елементами живлення.

Ключові слова: пшениця тверда озима, ріст і розвиток рослин, комплексні біологічно активні препарати, продуктивність, якість зерна.

DOI <https://doi.org/10.32845/agrobio.2022.2.23>

Вступ. Україна має величезний потенціал ґрунтово-кліматичних умов для розвитку сільськогосподарського виробництва. Його подальший розвиток, зокрема рослинництва, дасть можливість не тільки забезпечити власне населення якісною продукцією, а і значною мірою мати економічний і політичний зиск з експорту зерна. Україна впевнено входить у десятку найбільших виробників зерна пшениці в світі (7–10 місце залежно від умов року), а серед експортерів займає п'яте місце, що дає можливість отримувати приблизно 3,1 мільярди доларів щороку (FAO, 2021).

Якщо високі валові збори зерна пшениці відповідають сприятливим ґрунтово-кліматичним умовам країни, то якість зерна залишається на доволі низькому рівні, і особливо це стосується твердої пшениці (Gyrka et al., 2018). Серед світових виробників зерна твердої пшениці Україна взагалі не значиться, хоча щорічно за даними національної програми «Зерно України» виробляє 290 тисяч тонн макаронної продукції. Однак, якість вітчизняної продукції в більшості випадків вкрай низької якості через використання високобілкових сортів пшениці м'якої. Для того щоб задовольнити попит власного населення в макаронній та круп'яній продукції необхідно приблизно один мільйон тонн зерна пшениці твердої, а для цього площа її посівів у степових і лісостепових районах повинна складати близько 250 тис. га.

Необхідно також зазначити світову тенденцію до поступового збільшення посівних площ під цією культурою (Ronis, 1986). За даними Food and Agriculture Organization of the United Nation (FAO, 2021) основні світові виробники зерна пшениці твердої це Канада (5,5 млн т.), Італія (4,2 млн т), Туреччина (3,8 млн т). При цьому площа, що відведена під цю культуру займає: 2,3; 1,4 та 1,5 млн га, відповідно. В цілому ж у світі пшениця тверда займає приблизно 15 млн га. У вирощуванні такої важливої культури Україна значно відстає; за рік збирається лише 30 тис. т зерна (Maliyenko, 2019).

Існує багато причин значного відставання у виробництві зерна пшениці твердої, крім однієї – невідповідність ґрунтово-кліматичних умов. По-перше так вже традиційно склалося, що в Україні здавна локшину готували з борошна м'яких пшениць. Крім того, через свої біологічні особливості (Pabriani & Idntae, 1988) пшениця тверда має певні відмінності в технології вирощування (Yarchuk et al., 2019; Melnyk et al., 2020), а також існують і деякі проблеми з реалізацією зерна.

Значний вплив на розвиток та формування продуктивності рослин пшениці мають попередники та добрива (Miloserdov et al., 1982). Їх вплив не обмежується лише урожайністю, вони суттєво впливають і на якість продукції (Voloshin, 1985; Kul'bida & Artyushenko, 1992).

Добрива та стимулятори росту виконують багатofункціональну дію: покращують рівень мінерального живлення, стимулюють ріст та розвиток рослин, активують захисні функції рослин проти хвороб, шкідників, стресових умов, тим самим підвищуючи продуктивність (Kamins'kyu, 2017; Tkachuk, 2014; Shevchuk et al., 2014; Hryhoryshyn, 2016).

У цілому, науковці країни мають певні надбання з технології вирощування пшениці твердої і готові надати інформацію щодо оптимальних режимів її вирощування

(Deryugin et al., 1992; Ostapov et al., 2001). Встановлені найкращі строки сівби, норми висіву попередники та добрива пшениці твердої озимої (Vyblou & Vyblova, 1991; Tarasenko et al., 1997). Всі ці питання відносно детально вивчено і вони знайшли свої відображення в технологіях вирощування пшениці твердої озимої.

Сучасні умови ведення сільського господарства вимагають максимального розкриття потенціалу продуктивності рослин (Cherenkov & Shevchenko, 2016). Це спонукає до розробки нових прийомів і технологій вирощування зернових культур для більш повного розкриття потенціалу стійкості та продуктивності рослин (Gyrka et al., 2016; Zayets' & Romanenko, 2017).

Як у світовій практиці, так і в Україні спостерігається тенденція до зниження витрат при вирощуванні сільськогосподарських культур, зокрема пшениці озимої (Netis, 1998; Zhyvotkov et al., 1992). Це вимагає від науковців і практиків вдосконалювати існуючі елементи технології вирощування з метою підвищення урожайності в різні за погодними умовами роки з обов'язковим зменшенням витрат на одиницю продукції (Zhemela & Musatov, 1989; Moshkov, 1984; Sayko & Murashev, 1982).

Останнім часом значної популярності у виробничників набуло використання на посівах різного роду препаратів, дія яких спрямована на активацію фізіолого-біохімічних процесів (Volkohon, 2006; Vinyukov, 2014; Skachok et al., 2008; Artem'yeva, 2015; Yarchuk & Poznyak, 2018). Це дає можливість підвищити продуктивність і одночасно знизити витрати на вирощування сільськогосподарських культур (Semina, 2010).

Більшість розробників біологічно активних препаратів не дають наукове обґрунтування механізму їх дії, лише запевнюють у зростанні урожайності (Vakulenko et al., 2000). Негативним є також відсутність достовірної процедури тестування таких препаратів у різних ґрунтово-кліматичних умовах (Anishyn, 2012).

Більшість з цих препаратів довела свою ефективність, але всі вони переважно вивчалися без урахування природної родючості ґрунту і рівня мінерального живлення. Крім того, ми вважали за необхідне вивчити реакцію пшениці твердої озимої на сучасні комплексні біологічно активні препарати в умовах північного Степу. Це дасть можливість вдосконалити технології вирощування пшениці твердої озимої.

Матеріали і методи досліджень. Польові досліді розпочали у 2013 році на дослідному полі Дніпровського державного аграрно-економічного університету. Ґрунтовий покрив представлений чорноземом звичайним малогумусним середньосуглинковим. Потужність гумусованого профілю 75 см. Вміст гумусу (за Тюрнімом) у верхній частині гумусо-акумулятивного горизонту становить 3,1–3,2 %. Вміст у верхньому шарі ґрунту (0–20 см) азоту, що легко гідролізується (за Тюрнімом та Коновою), становить 8,0–8,5 мг/100 г ґрунту, рухомого фосфору (за Чириковим) – 9,0–10,0 мг/100 г ґрунту і обмінного калію (за Масловою) – 14,0–15,0 мг/100 г ґрунту.

Двофакторний польовий дослід закладали методом розщеплених ділянок. Облікова площа ділянок складала 30 м², повторність триразова.

У досліджах вивчали реакцію пшениці твердої озимої сорту Континент на препарати з різною біологічною активністю по пару. На попереднику створювали по два фони мінерального живлення: низький – $P_{15} + N_{30}$ і високий $N_{30}P_{60}K_{40} + N_{30}$. Використовували для цього аміачну селітру (34 %), потрійний суперфосфат (46 %) і калій хлористий (60 %). Восени в ґрунт вносили Біогумус (гранульований, передпосівне внесення – 8,0 т/га) + Айдар (обприскування восени – 1,5 л/га); Реаком-СР-зерно (обробка насіння 1,25 л/т) + Реаком-СР-зерно (обприскування восени – 1,25 л/га); Антистрес (обприскування восени – 1,7 кг/га); Марс ELBi (обприскування восени – 750 мл/га, тобто 500 мл Марс EL (темного розчину) та 250 мл Бішофіту (світлого розчину)); АКМ (обприскування восени – 500 мл/га); Вимпел (обприскування восени – 1,25 л/га); Хлормекватхлорид 750 (обприскування восени – 1,5 л/га). Весною використовували ті ж самі препарати: Хлормекват-хлорид 750 (обприскування навесні – 1,5 л/га); Антистрес (обприскування навесні – 1,7 кг/га); Марс ELBi (обприскування навесні – 750 мл/га, тобто 500 мл темного розчину та 250 мл світлого); АКМ (обприскування навесні – 500 мл/га).

Двома препаратами проводили обробку насіння до сівби – Айдар та Реаком-СР-зерно. Препарат Біогумус вносили перед сівбою розкидачем, інші ж препарати – шляхом обприскування рослин. Восени рослини обприскували за три тижні до припинення осінньої вегетації, тобто в нашому випадку у другій декаді жовтня. Середньобагаторічна дата припинення осінньої вегетації в нашій зоні – 7 листопада. В подальшому цей період для скорочення будемо позначати як «осінь». Навесні обробку ділянок проводили після відновлення весняної вегетації за середньодобової температури +10 °С. Далі в тексті даний період буде позначатися як «весна».

Показники технологічних якостей зерна визначали в лабораторії агробіологічних ресурсів озимих зернових культур ДУ Інститут зернових культур НААН України за методиками, передбаченими діючими ДСТУ: маса 1000 насінин (ДСТУ 4138-2002); натура (ГОСТ 10840-64); кількість та якість клейковини визначали шляхом ручного відмивання у воді (ГОСТ 13586.1-68); вміст білка в зерні – методом інфрачервоної спектроскопії (ГОСТ 10846-91).

У роки проведення досліджень погодні умови, в основному, були характерними для зони Степу. Відносно сприятливими для росту і розвитку пшениці були умови вегетації 2013/14 і 2014/15 рр., менш сприятливими – 2015/16 і 2016/17 рр.

Агротехніка в досліджах відповідала зональним рекомендаціям з вирощування пшениці для умов північного Степу, крім чинників, які були поставлені на вивчення.

Результати. За особливостями росту та розвитку рослин під впливом препаратів в осінній період вегетації можна було спостерігати лише на трьох варіантах: контроль, Біогумус + Айдар та Реаком-СР-зерно, бо обробка на інших варіантах відбувалася пізно восени та навесні. У зв'язку з коротким періодом осінньої вегетації особливих розбіжностей у рості та розвитку рослин на цих трьох варіантах не спостерігалось.

При відновленні весняної вегетації аналіз перезимівлі рослин показав, що застосування всіх препаратів сприяло підвищенню виживаності рослин (табл. 1). Найбільший ефект, незалежно від рівня мінерального живлення, було отримано від застосування препаратів Вимпел і Реаком-СР-зерно. Крім того, на низькому фоні ($P_{15} + N_{30}$) підвищення відбулося під дією препарату АКМ, а на підвищеному фоні ($N_{30}P_{60}K_{40} + N_{30}$) – під дією Антистрес.

Добра перезимівля рослин сприяла в подальшому формуванню високих показників елементів структури урожаю. Так, по пару з мінімальним внесенням мінеральних добрив ($P_{15} + N_{30}$) всі препарати виявили позитивну дію і за багатьма вирішальними показниками (кількість продуктивних стебел на 1 м², продуктивна куцистість) перевищували контроль (табл. 2). Найбільш ефективними в середньому за роки досліджень були препарати Біогумус + Айдар, АКМ (весна), АКМ (осінь) та Марс ELBi (весна). За умов кращого забезпечення мінеральними елементами ($N_{30}P_{60}K_{40} + N_{30}$) більшу ефективність виявили препарати Біогумус + Айдар, Хлормекват-хлорид 750 (весна) та Вимпел.

Однаково високі показники елементів структури урожаю незалежно від фону живлення в середньому за роки досліджень формували препарати Біогумус + Айдар та Хлормекват-хлорид 750 (весна).

Особливістю використання комплексних препаратів було те, що всі вони на низькому фоні мінерального живлення позитивно впливали на основні показники елементів структури урожаю, але за умов відносно достатнього поживного режиму позитивна дія більшості препаратів зникає.

Слід відзначити, що використані нами препарати по-різному впливали на розвиток рослин і формування основних елементів структури урожаю пшениці твердої озимої. Такі препарати як Реаком-СР-зерно, Марс ELBi, Антистрес (осінь), Антистрес (весна), Хлормекват-хлорид 750 (осінь) позитивно впливали на сформування високої продуктивної куцистості (табл. 2). Таким чином, під дією цих препаратів збільшується густина продуктивного стеблостою, але при

Таблиця 1

Перезимівля рослин пшениці твердої озимої залежно від препаратів (2014-2017 рр.), % рослин що вижили

| Варіант | Рівень мінерального живлення | |
|-----------------------|---|-------------------------------|
| | $P_{15} + N_{30}$ | $N_{30}P_{60}K_{40} + N_{30}$ |
| Контроль | 80,9 | 84,6 |
| Біогумус + Айдар | 86,5 | 79,6 |
| Реаком-СР-зерно | 90,4 | 87,2 |
| Антистрес | 82,5 | 93,3 |
| Марс ELBi | 84,5 | 85,2 |
| АКМ | 89,5 | 84,0 |
| Вимпел | 91,6 | 89,4 |
| Хлормекват-хлорид 750 | 84,3 | 88,9 |
| НІР05 | 2014 р. – 1,9; 2015 р. – 1,3; 2016 р. – 2,2; 2017 р. – 2,1. | |

Елементи структури врожайності пшениці твердої озимої по пару залежно від препаратів (2014–2017 рр.)

| Препарат | Кількість на 1 м ² , шт. | | | Продуктивна кущистість | Кількість зерен в колосі, шт. | Маса зерна з колоса, г | Маса 1000 зерен, г |
|--|-------------------------------------|--------|--------------|------------------------|-------------------------------|------------------------|--------------------|
| | рослин | стебел | | | | | |
| | | всього | продуктивних | | | | |
| Фон живлення – P ₁₅ + N ₃₀ | | | | | | | |
| Контроль | 146 | 431 | 347 | 2,9 | 24,4 | 1,39 | 57,8 |
| Біогумус + Айдар* | 146 | 433 | 385 | 2,7 | 26,4 | 1,48 | 56,5 |
| Реаком-СР-зерно* | 136 | 482 | 427 | 3,2 | 22,9 | 1,30 | 57,2 |
| Антистрес* | 137 | 449 | 408 | 3,1 | 18,8 | 1,04 | 55,1 |
| Марс ELBi* | 126 | 415 | 383 | 3,3 | 25,2 | 1,34 | 53,1 |
| АКМ* | 173 | 478 | 441 | 2,7 | 22,0 | 1,42 | 64,3 |
| Вимпел* | 133 | 420 | 388 | 3,1 | 27,8 | 1,42 | 51,6 |
| Хлормекват-хлорид 750* | 149 | 458 | 424 | 2,9 | 21,9 | 1,22 | 55,8 |
| Хлормекват-хлорид 750** | 122 | 407 | 381 | 3,2 | 27,7 | 1,46 | 52,7 |
| Антистрес** | 132 | 422 | 378 | 3,1 | 27,6 | 1,35 | 49,4 |
| Марс ELBi** | 141 | 463 | 409 | 3,0 | 33,1 | 1,66 | 50,3 |
| АКМ** | 160 | 452 | 416 | 2,9 | 27,6 | 1,48 | 53,5 |
| Фон живлення – N ₃₀ P ₆₀ K ₄₀ + N ₃₀ | | | | | | | |
| Контроль | 141 | 500 | 460 | 3,3 | 23,9 | 1,21 | 51,8 |
| Біогумус + Айдар* | 157 | 544 | 503 | 3,3 | 23,5 | 1,28 | 55,0 |
| Реаком-СР-зерно* | 133 | 444 | 420 | 3,3 | 25,5 | 1,28 | 51,3 |
| Антистрес* | 142 | 437 | 398 | 3,1 | 23,5 | 1,19 | 51,4 |
| Марс ELBi* | 145 | 460 | 403 | 3,0 | 25,1 | 1,31 | 52,5 |
| АКМ* | 133 | 407 | 365 | 2,8 | 23,3 | 1,28 | 55,5 |
| Вимпел* | 149 | 505 | 470 | 3,2 | 23,0 | 1,23 | 54,4 |
| Хлормекват-хлорид 750* | 155 | 519 | 492 | 3,2 | 21,5 | 1,04 | 49,3 |
| Хлормекват-хлорид 750** | 161 | 528 | 489 | 3,1 | 23,0 | 1,25 | 55,7 |
| Антистрес** | 122 | 411 | 375 | 3,2 | 25,8 | 1,26 | 52,2 |
| Марс ELBi** | 164 | 515 | 472 | 3,0 | 22,7 | 1,12 | 50,3 |
| АКМ** | 155 | 493 | 458 | 3,1 | 22,5 | 1,22 | 55,1 |

Примітка: * – застосовували препарат восени; ** – застосовували препарат навесні.

цьому маса зерна з колоса майже не знижується. Навпаки, препарати Біогумус + Айдар і Вимпел сприяли збільшенню маси зерна з колоса. А такі препарати як Марс ELBi (весна) та АКМ (весна) здатні одночасно позитивно впливати і на масу зерна з колоса і на продуктивну кущистість.

У середньому за чотири роки на низькому фоні мінерального живлення найбільші прибавки урожайності пшениці твердої озимої одержані за використання препаратів АКМ (осінь) – 1,45 т/га і Марс ELBi (весна) – 1,34 т/га, відповідно 36,9 % і 33,5 % (табл. 3). Деяко менші прибавки отримані при використанні препаратів АКМ (весна) – 1,16 т/га, Хлормекват-хлорид 750 (весна) – 0,71 т/га, Біогумус + Айдар – 0,71 т/га, що відповідає 29,1; 17,9 та 17,7 %.

На високому фоні мінерального живлення (N30P60K40 + N30), відносно низького фону (P15 + N30), ефективність дії досліджуваних препаратів була значно нижчою, і в більшості випадків отримували урожайність меншу за контроль. Лише три препарати з досліджуваних виявили позитивний вплив по пару на урожайність на підвищеному фоні. Це Біогумус + Айдар, що забезпечив прибавку 0,89 т/га або 19,1 %; Хлормекват-хлорид 750 (весна) – 0,67 т/га або 14,2 % та Вимпел – 0,49 т/га або 10,4 %.

Для пшениці важливе значення має якість зерна, особливо для сортів пшениці твердої, висока урожайність повинна поєднуватись з високим вмістом білка (Mineyev, 1981; Nikolayev et al., 1999). За даними ДСТУ 3768-2019 вміст білка в зерні пшениці твердої першого класу повинен бути не менше 14 % (Natsional'nyy standart Ukrainy, 2019).

Відповідно даних наданих лабораторією агробіологічних ресурсів озимих зернових культур ДУ Інститут зернових культур НААН України в нашому досліді якість зерна пшениці твердої озимої сорту Континент сильно коливалась по роках. У більшості варіантів самі високі показники вмісту білка в зерні спостерігалися у найменш урожайному 2016 році (табл. 4).

Додаткове внесення мінеральних добрив у посушливому 2016 році сприяло підвищенню вмісту білка в зерні. І навпаки, у відносно сприятливому 2014 році внесення більш високих норм мінеральних добрив призвело до зниження вмісту білка в зерні пшениці твердої озимої. Зниження вмісту білка може бути пояснено ефектом «розбавлення», коли при підвищенні урожайності маса зернівки збільшується за рахунок небілкової частини ендосперму, а маса білкової частини, тобто зародка, залишається майже незмінною (Tarasenko, 1999).

Врожайність зерна пшениці твердої озимої по пару залежно від фону мінерального живлення та біологічно-активних препаратів (2014–2017 рр.), т/га

| Препарат (фактор В) | Фон живлення – P15 + N30 (фактор А) | | | Фон живлення – N30P60K40 + N30 (фактор А) | | |
|-------------------------|--|----------|-------|--|----------|--------|
| | врожайність, т/га | прибавка | | врожайність, т/га | прибавка | |
| | | т/га | % | | т/га | % |
| Контроль | 3,99 | - | - | 4,69 | - | - |
| Біогумус + Айдар* | 4,70 | 0,71 | 17,7 | 5,58 | 0,89 | 19,1 |
| Реаком-СР-зерно* | 4,62 | 0,63 | 15,8 | 4,58 | - 0,11 | - 2,4 |
| Антистрес * | 3,61 | - 0,38 | - 9,4 | 4,08 | - 0,61 | - 12,9 |
| Марс ELBi* | 4,12 | 0,13 | 3,2 | 4,45 | - 0,24 | -5,2 |
| АКМ* | 5,44 | 1,45 | 36,3 | 3,77 | - 0,92 | - 19,6 |
| Вимпел* | 4,60 | 0,61 | 15,2 | 5,18 | 0,49 | 10,4 |
| Хлормекват-хлорид 750* | 4,65 | 0,66 | 16,5 | 4,53 | -0,16 | - 3,4 |
| Хлормекват-хлорид 750** | 4,70 | 0,71 | 17,9 | 5,36 | 0,67 | 14,2 |
| Антистрес** | 4,63 | 0,64 | 16,1 | 3,73 | -0,96 | - 20,5 |
| Марс ELBi** | 5,33 | 1,34 | 33,5 | 4,74 | 0,05 | 1,0 |
| АКМ** | 5,15 | 1,16 | 29,1 | 4,92 | 0,23 | 5,0 |
| НІР05 | 2014 р.: А – 0,08; В – 0,19; АВ – 0,27; 2015 р.: А – 0,04; В – 0,10; АВ – 0,14; 2016 р.: А – 0,06; В – 0,16; АВ – 0,22; 2017 р.: А – 0,08; В – 0,20; АВ – 0,29. | | | | | |

Примітка: * – застосовували препарат восени; ** – застосовували препарат навесні

Таблиця 4

Якість зерна пшениці твердої озимої по пару залежно від препаратів і фону мінерального живлення

| Варіант | | Показник | | | | | |
|--|-------------|----------------|-------|-------------------|------|----------------------|-------|
| | | вміст білка, % | | натура зерна, г/л | | маса 1000 насінин, г | |
| препарат | час обробки | рік | | | | | |
| | | 2014 | 2016 | 2014 | 2016 | 2014 | 2016 |
| Рівень мінерального живлення – P15 + N30 | | | | | | | |
| Контроль | осінь | 14,39 | 14,13 | 759 | 726 | 49,60 | 42,60 |
| Біогумус + Айдар | | 14,18 | 15,00 | 756 | 714 | 46,30 | 42,85 |
| Реаком-СР-зерно | | 14,18 | 13,48 | 752 | 712 | 44,80 | 42,33 |
| Антистрес | | 12,92 | 15,10 | 749 | 721 | 47,50 | 40,82 |
| Марс ELBi | | 12,25 | 13,88 | 750 | 712 | 49,90 | 41,38 |
| АКМ | | 11,94 | 15,72 | 749 | 718 | 47,90 | 41,49 |
| Вимпел | | 13,58 | 14,59 | 752 | 703 | 50,10 | 39,46 |
| Хлормекват-хлорид 750 | весна | 11,34 | 15,20 | 753 | 712 | 48,50 | 37,81 |
| Хлормекват-хлорид 750 | | 12,66 | 14,41 | 752 | 705 | 47,30 | 38,00 |
| Антистрес | | 12,17 | 14,88 | 755 | 701 | 48,40 | 38,55 |
| Марс ELBi | | 11,43 | 14,58 | 744 | 716 | 49,50 | 40,49 |
| АКМ | | 11,98 | 14,76 | 749 | 712 | 49,90 | 39,03 |
| Рівень мінерального живлення – N30P60K40 + N30 | | | | | | | |
| Контроль | осінь | 14,12 | 14,68 | 747 | 707 | 44,00 | 41,73 |
| Біогумус + Айдар | | 13,52 | 15,48 | 747 | 703 | 47,10 | 39,31 |
| Реаком-СР-зерно | | 12,54 | 15,43 | 747 | 708 | 45,90 | 39,84 |
| Антистрес | | 13,36 | 15,29 | 742 | 713 | 16,80 | 40,61 |
| Марс ELBi | | 14,13 | 14,30 | 749 | 715 | 50,00 | 42,99 |
| АКМ | | 12,78 | 14,77 | 747 | 710 | 49,10 | 40,71 |
| Вимпел | | 12,30 | 15,19 | 747 | 706 | 47,90 | 39,73 |
| Хлормекват-хлорид 750 | весна | 12,00 | 14,78 | 747 | 694 | 48,60 | 36,35 |
| Хлормекват-хлорид 750 | | 11,48 | 14,23 | 741 | 711 | 48,30 | 38,12 |
| Антистрес | | 11,24 | 15,25 | 740 | 708 | 46,80 | 38,61 |
| Марс ELBi | | 11,48 | 14,58 | 741 | 710 | 48,80 | 39,65 |
| АКМ | | 11,73 | 15,53 | 744 | 686 | 46,90 | 36,52 |

Найбільш ефективними серед препаратів у посушливому 2016 році за всіх умов мінерального живлення були Антистрес, АКМ, Хлормекват-хлорид 750 та Біогумус + Айдар.

У той же час у відносно сприятливому 2014 році позитивного ефекту від препаратів не спостерігалось. Найбільший вміст білка в зерні спостерігався на контролі. До першого класу зерна за вмістом білка можна було віднести варіанти на низькому фоні Біогумус + Айдар і Реаком-СР-зерно, а на високому – Марс ELBi. Якість зерна на інших варіантах відповідала третьому і навіть четвертому класу.

Препарати, які вивчалися, не вплинули позитивно на натуру зерна незалежно від року та рівня мінерального живлення. Всі вони поступалися контролю. У сприятливому 2014 році за цим показником вони трохи не дотягували до рівня першого класу.

Незалежно від року і фону мінерального живлення маса тисячі насінин стабільно збільшувалася лише за використання препарату Марс ELBi.

Обговорення. Пшениця тверда озима має надзвичайно велике народногосподарське значення, але в країні уваги їй приділяється недостатньо. Навіть у сучасній вітчизняній науковій літературі вона зустрічається вкрай рідко. Незважаючи на те, що річна потреба в зерні пшениці твердої складає приблизно мільйон тон зерна, збирають її в Україні лише 30 тис. т (Maliyenko, 2019). До того ж якість такого зерна невисока. Існує нагальна потреба як у збільшенні виробництва зерна пшениці твердої озимої, так і в покращанні його якості.

Отримані результати польових дослідів з вивчення дії сучасних комплексних (багатокомпонентних) препаратів показали можливість підвищення продуктивності рослин пшениці твердої. Ці препарати знайшли широке застосування (Vyblou & Vyblova, 1991; Skachok et al., 2008; Vinyukov, 2014; Zayets' & Romanenko, 2017). Але не було інформації відносно впливу комплексних препаратів на продуктивність та якість зерна пшениці твердої озимої.

Особливістю проведення дослідів з комплексними препаратами було те, що до їх складу входить, як правило, (окрім Хлормекват-хлорид 750) цілий комплекс речовин різного спрямування і дії, що значно ускладнює

аналіз їх впливу на рослини залежно від погодних і технологічних чинників. Інколи можливо лише констатувати сам факт дії. Саме багатокомпонентністю і може пояснюватися нестабільність дії препаратів по роках.

Препарати, які були використані в ході дослідів, за своєю дією на основні елементи урожаю умовно можна поділити на три групи. Частина препаратів була здатна підвищувати продуктивну кущистість і тим самим підвищувати густоту продуктивного стеблостою, при цьому мало змінюючи масу зерна з колоса. До таких препаратів можна віднести Реаком-СР-зерно, Марс ELBi, Антистрес (осінь), Антистрес (весна), Хлормекват-хлорид 750 (осінь). Препарати другої групи впливали переважно на масу зерна з колоса, збільшуючи її. Тобто сприяли формуванню урожайності за рахунок крупності колоса. До них можна віднести такі препарати як Біогумус + Айдар, Вимпел. Ще одна група препаратів здатна одночасно підвищувати як продуктивну кущистість, так і масу зерна з колоса. До них відносяться Марс ELBi (весна) та АКМ (весна).

Висновки. Польові дослідів показали, що комплексні біологічно активні препарати здатні суттєво підвищити урожайність пшениці твердої озимої за умов невисокого забезпечення мінеральними речовинами. Чим краще рослини забезпечені поживними речовинами, тим нижча ефективність дії препаратів. Хлормекват-хлорид 750 виявляв позитивний ефект лише за умови високого агрофону. Серед препаратів, що вивчалися найбільш стабільність у суттєвому підвищенні зернової продуктивності пшениці твердої озимої виявив препарат Марс ELBi при внесенні після відновлення весняної вегетації (при середньодобовій температурі + 10 °С) нормою витрат 750 мл/га. Якість зерна по роках сильно різнилась, у найменш урожайний, посушливий 2016 рік вміст білка в зерні був найвищим. Серед препаратів, що досліджувалися, в посушливому році незалежно від рівня мінерального живлення більше за інших сприяли підвищенню вмісту білка препарати Антистрес, АКМ, Біогумус + Айдар, Хлормекват-хлорид 750. А у відносно сприятливому за вологозабезпеченням 2014 році збільшення вмісту білка в зерні пшениці твердої озимої при застосуванні препаратів не спостерігалось.

Бібліографічні посилання:

1. Anishyn, L.A. (2012). Rehulatory rostu roslyn: sumnivy i fakty. [The growth regulators for plants: doubts and facts]. Propozytsiia, 5, 64–65 (in Ukrainian).
2. Artemieva, K.S. (2015). Efektyvnist pozakorenykh pidzhyvlen ridkymy orhano-mineralnymy dobryvamy posivny yachmeni yarohe [The efficiency of foliar nutrition with liquid organo-mineral fertilizers of spring barley crops]. Kharkiv, Ahrokhimiia i gruntoznavstvo, 83, 110–113 (in Ukrainian).
3. Cherenkov, A.V. & Shevchenko, M.S. (2016). Zernobobovi kultury – stratehichniy faktor rehuliuвання bilkovoho balansu ta rodiuchosti gruntiv [Grain legumes are a strategic factor in regulating the protein balance and soil fertility]. Biuletyn Instytutu silskoho hospodarstva stepovoi zony NAAN Ukrainy, 11, 5–11 (in Ukrainian).
4. Deryugin, I.I., Novikov, N.N. & Mokrievich, G.L. (1992). Vliyanie urovnya mineralnogo pitaniya na urozhaynost i kachestvo zerna tverdoy pshenitsyi pri vyiraschivanii na karbonatnom chernozeme [Influence of the level of mineral nutrition on the yield productivity and grain quality of winter wheat growing on carbonate chernozem]. Izv. Timiryazev. s.-h. akad, 1, 27–34.
5. Food and Agriculture Organization of the United Nation, FAO. 2021. Mirovoe prodovolstvie i selskoe hozyaystvo – karmannyiy statisticheskiy spravochnik 2021 [World food supplies and agriculture – pocket statistic manual]. Rim. doi: 10.4060/cb4478en (in Ukrainian).
6. Gyrka, A.D., Bokun, O.I., Viniukov, O.O., Ischenko, V.A. & Gyrka, T.V. (2016). Effect of soil tillage and sowing systems of winter wheat on agrophysical properties and soil nutritious regime. Biuletyn Instytutu silskoho hospodarstva stepovoi zony NAAN Ukrainy, 11, 49–53.

7. Gyrka, A.D., Gasanova, I.I., Gyrka, T.V. & Bokun, O.I. (2018). Growth, development and productivity of winter wheat depending on the soil tillage and sowing systems. *Byuleten Instytutu sil'skoho hospodarstva stepovoyi zony NAAN Ukrayiny*, 2 (1), 88–93.
8. Hryhoryshyn, V.V. (2016). Ekolohichna bezpeka zastosuvannya inhibitoriv rostu roslyn [Ecological safety of plant growth inhibitor usage]. *Matezialy XII Miedzynazodowej naukowii – pzactyaznej Konfereney «Naukowa myse informecyjne pomieki, 2016»*. *Przemyse i Nauke i studia*, 11, 30–31 31 (in Ukrainian).
9. Kaminskyi, V.F. (2017). Biolohichne zemlerobstvo v umovakh zminy klimatu [Biological agriculture in conditions of changing climate]. *Posibnyk ukrainskoho khliboroba*. Kharkiv, 1, 28–31 (in Ukrainian).
10. Kulbida, V.V. & Artyushenko, A.A. (1992). Znachenie sevooborota v proizvodstve vysokokachestvennogo zerna ozimoy pshenitsyi [Meaning of the crop rotation in the production of the winter wheat grain of high quality]. *Vesnik s.-kh. nauki*, 2, 56–61 (in Ukrainian).
11. Maliyenko, M., 25th September, 2019. URL: <http://agro-business.com.ua/agro/ahronomiia-sohodni/item/15004-tverda-pshenytsia.html>
12. Melnyk, T.V., Yarchuk, I.I. & Masliov, S.V. (2019). Efficiency of cultivation of hard winter wheat of variety Kontyent in conditions of the northern Steppe of Ukraine. *Grain Crops*, 3 (1), 45–51.
13. Miloserdov, N.M., Vyiblov, B.R. & Vyiblova, A.V. (1982). Stabilynye urozhai ozimoy pshenitsyi pri intensivnom zemledelii i chernyie paryi [Sustainable yield of the winter wheat in conditions of active agriculture and after fellow]. *Vesnik s.–h. nauki*, 7, 92–102 (in Russian).
14. Mineev, V.G. (1981). Agrohimicheskie osnovy povysheniya kachestva zerna pshenitsyi [Agricultural-chemical basics of increasing the grain quality]. *Moskva, Kolos*, 288 (in Russian).
15. Moshkov, B.S. (1984). Biologicheskie razlichiya pozdnykh i rannykh sortov pshenitsyi [Biological differences between late and early wheat varieties]. *Problemy kultivirovaniya rasteniy v reguliruemykh usloviyah*. L., 51–64 (in Russian).
16. DSTU 3768:2019 «Pshenytsia. Tekhnichni umovy» (2019) [National standard of Ukraine DSTU 3768:2019 'Wheat. Technical conditions']. *Derzhspozhyvstandart Ukrainy. DP «Ukr NDNTs»*. Kyiv, 19 (in Ukrainian).
17. Netis, I.T. (1998) *Naukove obgruntuvannya ta rozrobka enerhozberihaiuchykh tekhnolohii vyroshchuvannya ozymoi miakoi i tverdoy pshenitsyi na zroshuvanykh zemliakh pivdnia Ukrainy* [Scientific validation and development of energy-saving technologies of winter soft wheat cultivation on irrigated soil of the South of Ukraine]. *Avtoref. dys. d-ra s.-h. nauk: 06.01.09*. Kherson, 34 (in Ukrainian).
18. Nikolaev, E.V., Izotov, A.M., Tarasenko, B.A. & Gritsay, A.D. (1999). Kachestvo zerna tverdoy ozimoy pshenitsyi v zavisimosti ot rezhima i normy azotnykh udobreniy [Grain quality of winter hard wheat depending on the regime and rates of nitrogen fertilizers]. *Visnik KHAU. Hark. gos. agram. un-t. Harkov*, 25–31 (in Russian).
19. Ostapov, V.I., Lorynets, F.A. & Rudakov, U.M. (2001). Urozhainist ozymoi pshenitsyi v zalezhnosti vid poperednykh, obrobittu gruntu ta dobryh na zvychainomu chernozemi pivnichnogo Stepu Ukrainy [Productivity of winter wheat depending on the predecessors, soil preparation, and fertilizers on normal chernozem of the Northern Step of Ukraine]. *Visnyk Dnipropetrovskoho derzhavnogo ahrarnoho universytetu. Dnipropetrovsk*, 1, 75–77 (in Ukrainian).
20. Pabiani, G. & Idntae, C. (1988). Durum wheat: chemistry and technology. *Amer. assoc. of cereal chemists*. St. Faul. Minn. 332. 14.
21. Ronis, N.B. (1986). Mirovoe proizvodstvo zerna tverdoy pshenitsyi [World production of winter wheat grain]. *Zernovoe hozyaystvo*, 5, 37–38 (in Russian).
22. Sayko, V.F. & Murashev, V.V. (1982). Seleksiya i sortovaya agrotehnika pshenitsyi intensivnogo tipa [Selection and varietal agrotechnics of the winter wheat of intensive type]. *Sortovaya agrotehnika*. Moskva, Kolos, 198–300 (in Russian).
23. Semina, S.A. (2010). Formirovanie produktivnosti yarovoy myagkoy pshenitsyi pri primenenii regulatorov rosta i mikroudobreniy [Yield productivity forming of the spring soft wheat using the growth regulators and micro fertilizers]. *Niva Povolzhya. Penza*, 3 37–41 (in Russian).
24. Shevchuk, O.A., Kryshchal, O.O. & Shevchuk, V.V. (2014). Ekolohichna bezpeka ta perspektyva zastosuvannya syntetychnykh rehuliatoriv rostu roslyn [Ecological safety and the prospect of usage of synthetic plant growth regulators]. *Visnyk Vinnytskoho politekhnichnogo instytutu. Vinnytsia*, 1 (112), 34–39 (in Ukrainian).
25. Skachok, L.M., Potapenko, L.V. & Yarosh, T.M. (2008). Efektyvnist biolohichnykh dobryh i stymuliatoriv rostu na polovykh kulturakh [Effectivity of biological fertilizers and growth stimulators at field crops]. *Silskohospodarska mikrobiolohiia. Chernihiv*, 7, 122–130 (in Ukrainian).
26. Tarasenko, B.A. (1999). O povyshenii kachestva zerna ozimoy pshenitsyi [On the increasing of quality of winter wheat]. *Nauchnyie trudy KGAU : Selskohozyaystvennyie nauki*. Simferopol, 58, 3–9 (in Russian).
27. Tarasenko, B.A., Izotov, A.M. & Gritsay, A.D. (1997). Optimalnyie parametryi agrokomplesksa (srok seva h norma vyiseva) tehnologiyi vyirashchivaniya tverdoy ozimoy pshenitsyi [Optimal parameters of agrocomplex (sowing terms and sowing rates) technologies of winter hard wheat cultivating]. *Voprosy stabilizatsii i povysheniya effektivnosti APK Kryima v issledovaniya molodykh uchenykh. Sb. nauch. tr. Kryimskogo SHI. Simferopol*, 25–28 (in Russian).
28. Tkachuk, O.O. (2014). Ekolohichna bezpeka ta perspektyva zastosuvannya rehuliatoriv rostu roslyn [Ecological safety and prospect of plant growth stimulators usage]. *Visnyk Vinnytskoho politekhnichnogo instytutu. Vinnytsia*, 3 (114), 41–44 (in Ukrainian).
29. Vakulenko, V.V. Vakulenko, V.V. & Shapoval, O.A. (2000). Novyye regulyatoryi rosta v selskokhoziaystvennom proyzvodstve [New growth stimulator in agricultural production]. *Nauchnoe obespechene y sovershenstvovanye metodolohyy ahrokhymycheskoho obsluzhyvaniya zemledelyia Rossyy*. Moskva, 71–89 (in Russian).
30. Viniukov, O.O. (2014). Efektyvnist zastosuvannya mineralnogo mikrodobryva Syzam pry vyroshchuvanni silskohospodarskykh kultur [Effectivity of mineral micro fertilizers usage Syzam for growing of agricultural crops]. *Visnyk Tsentru naukovooho zabezpechennia APV Kharkivskoi oblasti. Kharkiv*, 17, 201–208 (in Ukrainian).

31. Volkohon, V.V. (2006). Mikrobnі preparaty yak faktor pidvyshchennia zasvoiuvanosti roslynamy mineralnykh dobryh [Microbe preparations as a factor of increase of absorption of mineral fertilizers by plants]. Silskohospodarska mikrobiolohiia. Chernihiv, 4, 21–30 (in Ukrainian).
32. Voloshin, O.S. (1985). Vliyanie predshestvennikov na urozhaynost, tehnologicheskie i hlebopekarnye kachestva ozimoy pshenitsy [Influence of predecessors on yield productivity, technological and baking qualities of winter wheat]. Stepnoe zemledelie, 19, 28–32 (in Russian).
33. Vyiblov, B.R. & Vyiblova, A.V. (1991). Reaktsiya sortov ozimoy myagkoy i ozimoy tverdoy pshenits na kompleks agrotehnicheskikh priemov [Reaction of winter soft and hard wheat crops on complex of agricultural methods]. Visn. ahrar. nauky, 8, 27–29 (in Russian).
34. Yarchuk, I.I., Melnyk, N.V. & Masliiov, S.V. (2019). Yield of durum winter wheat depending on the seeding rate under the conditions of the northern Steppe of Ukraine. Advances of Science/ Proceeding of articles the international scientific conference. Czech Republic, Karlovy Vary – Ukraine, Kyiv. 5 April 2019. 388–397.
35. Zaiets, S.O. & Romanenko, O.L. (2017). Produktivnist sortiv pshenytsi ozymoi zalezho vid zastosuvannia rehuliatora rostu roslyn aminototal v umovakh zroshennia [Productivity of winter wheat crops depending on usage of growth regulators in conditions of chernozem]. Zernovi kultury, 1 (1), 293–300 (in Ukrainian).
36. Zhemela, H.P. & Musatov, A.H. (1986). Ahrotekhnichni osnovy pidvyshchennia yakosti zerna [Agritechnical basics of the increasing of the grain quality]. Kyiv: Urozhay, 160 (in Ukrainian).
37. Zhyvotkov, L.O., Dushko, M.V. & Stepanenko, O.Ia. (1992). Resursozberihaiucha i ekolohichno chysta tekhnolohiia vyroshchuvannia ozymoi pshenytsi [Resource-saving and ecologically clean technology of winter wheat cultivating]. K. Urozhay, 224 (in Ukrainian).

Yarchuk I.I., Doctor (Agricultural Sciences), Professor, Dnipro State Agrarian and Economic University, Dnipro, Ukraine
Melnyk T.V., PhD (Agricultural Sciences), director of 'HKS Ukraina' LLC, Synelnykovo, Dnipropetrovsk oblast, Ukraine
Pohasiy V.O., PhD student, Dnipro State Agrarian and Economic University, Dnipro, Ukraine

Productivity and quality of winter durum wheat depending on the usage of complex biologically active preparations

It is an urgent need to develop the technologies which will allow increasing the amount of quality grain of winter durum wheat.

The field studies on the possibility of increasing the productivity and quality of winter wheat grain based on the usage of modern biologically active preparations were held at the study field of the Dnipro State Agrarian and Economic University (zone of the Northern Steppe). The ground coat is ordinary chernozem with low content of endohumus, middle loam. The study was held with the winter durum wheat crop Kontynent after fallow with two mineral backgrounds: – $P_{15} + N_{30}$ and high $N_{30}, P_{60}, K_{40} + N_{30}$. The plants (seeds) were treated with modern complex biologically active preparations both in autumn and spring. Also, the retardant Khlormekvatkhloryd 750 was used in two terms.

It was found that on a low background of mineral nutrition ($P_{15} + N_{30}$), all the preparations had a positive effect on such indicators as the number of productive stems per 1 m² and productive bushiness. The best effect was obtained when using Biogumus + Aidar, AKM (spring), AKM (autumn), and Mars ELBi (spring). The peculiarity of using these complex preparations was that all of them on the low background of mineral nutrition on fallow had a positive effect on the main indicators of the elements of yield structure, but with a relatively sufficient nutrient regime, the positive effect of most of the preparations disappears. Only preparations Biogumus + Aidar and Khlormekvatkhloryd 750 (on the fallow) were able to improve the indicators of elements of the structure of the crop at both low and high background of mineral nutrition.

An increase in grain yield of durum winter wheat was also observed mainly on the low background (fallow, $P_{15} + N_{30}$). The most effective were AKM (autumn) and Mars ELBi (spring) preparations. The increase after their usage was 1.45 i 1.34 t/ha (in percent 36.9 i 33.5 % respectively). Slightly smaller increases were obtained using AKM (spring) – 1.16 t/ha, Khlormekvatkhloryd 750 (spring) – 0.71 t/ha, Biogumus + Aidar – 0.71 t/ha, which corresponds to 29.1; 17.9 and 17.7%. On a high background of mineral nutrition efficiency of the studied preparations was extremely low, and in most cases, the yield was lower than the control.

Grain quality was the highest in the less productive 2016 year. Significantly increased the protein content in the drought year 2016 under all conditions of mineral nutrition preparations Antistress, AKM, Khlormekvatkhloryd 750, and Biogumus + Aidar. At the same time in a relatively favorable 2014, the positive effect of preparations was not observed. The highest protein content in the grain was observed in the control.

Thus, modern complex (multicomponent) biologically active preparations are able to increase the yield and quality of grain only if the level of plant nutrition is low.

Key words: winter durum wheat, plant growth, complex biologically active drugs, productivity, grain quality.

ВПЛИВ ОБРОБКИ ПОСІВІВ ЧАСНИКУ АМІНОКИСЛОТАМИ НА ЗБЕРЕЖЕНІСТЬ ЦИБУЛИН

Яценко Вячеслав Васильович

доктор філософії, старший викладач

Уманський національний університет садівництва, м. Умань, Україна

ORCID: 0000-0003-2989-0564

slaviksklavin16@gmail.com

У статті проаналізовано дані, пов'язані з формуванням технологічних властивостей часнику за використання розчинів амінокислот для обробки посівів, що впливало на зберігання цибулин. Дослідження проводилось у 2017–2020 рр. в умовах Правобережного Лісостепу України. Представлено результати дослідження з впливу обробки органічними кислотами: саліцилова (300 ppm), гіберелінова (150 ppm) та аскорбінова кислоти (200 ppm) на рослинах часнику (*Allium sativum* L.). Упродовж періоду зберігання вивчали природні втрати маси, відсоток уражених цибулин, відсоток пророслих й всохлих цибулин. Цибулини часнику закладали на зберігання в один день, у триразовій повторності, маса середнього зразка 10 кг. Зберігали у холодильній камері Polair Standard KXH–8,81 за температури $5 \pm 0,3$ °C та відносної вологості повітря 75 %, а також в неконтрольованих умовах у полімерних ящиках. Результати показали, що накопичені втрати вологи збільшувалися з розміром цибулини та терміном зберігання. Великий вплив на втрату маси мала холодопильна система зберігання, де відзначали найменші втрати маси (8,7–14,7 %), порівняно з неконтрольованими умовами. Так система зберігання за кімнатної температури зафіксувала найвище значення (30,4–39,8 %). Найменші загальні втрати маси зафіксували за використання саліцилової та аскорбінової кислот – 30,4 і 35,8 %, тоді як холодильною системою – 8,7 і 9,6 %. Відсоток проростання коливався від 24,8–30,0 % за зберігання у неконтрольованих умовах та 6,5–10,4 % за холодильної системи зберігання. Відсоток всохлих цибулин коливався від 2,9–4,4 % і 0,7–1,1 % за кімнатної і холодильної систем зберігання. Пророслих цибулин за кімнатної й холодильної систем було у межах 1,7–3,4 та 1,2–1,7 %; уражених патогенами – 1,1–2,2 і 0,6–1,3 % відповідно до систем зберігання. Найнижчі показники уражених цибулин, відсоток пророслих й всохлих цибулин відзначали за використання на посівах саліцилової та аскорбінової кислот. Отримані дані можуть слугувати теоретичною основою для виробників з огляду на цілі, для яких вирощується продукція (для реалізації в свіжому вигляді, переробки або зберігання).

Ключові слова: втрата маси, умови зберігання, цибулина.

DOI <https://doi.org/10.32845/agrobio.2022.2.24>

Вступ. Часник (*Allium sativum*) культивується з давніх часів у всьому світі. За споживанням і об'ємами виробництва займає друге місце серед Цибулевих. Часник володіє лікувальними властивостями, є важливим інгредієнтом для приготування більшості спецій у всьому світі. Часник використовується як у свіжому, так і у висушеному стані в харчовій промисловості. Його висушують у різні продукти, такі як пластівці та порошок. Часник в основному вживається як приправа до різних готових страв, таких як майонез і томатний соус, заправка для салатів, м'ясних виробів та маринуваних продуктів (De Iserpi et al., 2021).

В Україні часник збирають з липня по серпень і зберігають при кімнатній температурі або у холодильниках, щоб задовольнити попит споживачів. Коли часник проростає, його період спокою та ефективний термін зберігання закінчуються, а якість знижується, що призводить до зниження ціни продажу (Iglesias & Fraga, 1998; Mann & Lewis, 1956). Вчені вказали, що період спокою часнику залежить від температури та часу зберігання.

Згідно Державного стандарту, часник 1-го ґатунку повинен мати такі характеристики: цибулина дозріла, здорова, чиста та компактна, зберігає зовнішні луски, не має видимих проростків, пошкоджень комахами чи знебарвлення через вплив сонця, зубки виповнені, добре розвинені та непошкоджені (ДСТУ). Ці характеристики разом з розміром і відсутністю фізіологічних порушень,

таких як гниль цибулин, є важливими для визначення якості продукту. Науковці (Cantwell, 2004; Hidayat et al., 2022; Singh et al., 2014) вказують на те, що цибулина також повинна мати високий відсоток сухих речовин і сухих розчинних речовин (>35% в обох випадках). Тим не менш, це не дослідження внутрішніх якісних характеристик часнику, які доповнюють загальні критерії норми ДСТУ, а ті, які використовуються як фактори для прогнозування терміну зберігання.

Часник не вважається продуктом, що швидко псується (Sharma et al., 2020; Kashmire & Cantwell, 1992). Добре збережена висушена шийка та зовнішні луски подовжують термін зберігання, хоча в кінцевому підсумку він проросте (кінець періоду спокою). Його метаболізм посилиться, якість почне змінюватися, стане більш вразливим до мікроорганізмів і хвороб (Brewster, 1994; Akan & Gunes, 2021). Важливою функцією технології зберігання, транспортування та збуту часнику є збереження в стані спокою якомога довше (Castaño et al., 2005). Адекватне розуміння фізіології спокою є необхідністю для розробки оптимальної системи зберігання (Akan et al., 2022; Hidayat et al., 2022).

Під час зберігання сахароза і крохмаль значно втрачаються, інші неспоживані вуглеводи перетворюються в глюкозу і накопичуються в тканинах та сприяють посиленню проростання зубків (Cantwell et al., 2003). За зберігання при 10 °C упродовж 30 днів підвищується інтенсивність проростання і відсоток

сходів (Youssef, 2013; Sasmitaloka et al., 2021). Індуктивний ефект холодного зберігання залежить не тільки від температурного режиму, а й від його тривалості зберігання та відносної вологості повітря (Del Pozo & Gonzalez, 2005; Madhu et al., 2019).

Ми бачимо, що важливо розуміти, як змінюється якість часнику вирощеного за різних умов і його зберігання в різних середовищах, пов'язувати це з періодом спокою і, таким чином, мати можливість передбачати термін придатності продукту до споживання. Виробництво часнику є сезонним, і більша частина цієї продукції використовується для внутрішнього споживання протягом усього року. Тому належне зберігання є важливим для подолання проблеми попиту та пропозиції. За існуючою системою основна маса часнику зберігається у неконтрольованих умовах, де його кладуть у купи під укриті матеріали, і витримують у атмосферних умовах впродовж 5 місяців. Загальні втрати маси при цьому методі становлять близько 50 %, що здебільшого пов'язано з втратою вологи та ураженням часнику шкідниками і фітопатогенами.

Мета дослідження – виявити вплив обробки посівів амінокислотами (гіберелінова, аскорбінова та саліцилова) і підживлення мікроелементами (Fe, Zn, B) на технологічні властивості (збереженість) цибулин часнику озимого сорту Любаша у неконтрольованих умовах і за холодильної системи зберігання.

Матеріали і методи досліджень. Дослідження впливу органічних кислот проводили впродовж 2017–2020 рр. в умовах Правобережного Лісостепу України на дослідному полі кафедри овочівництва Уманського національного університету садівництва відповідно до загальноприйнятих методик (Bondarenko & Yakovenko, 2001). Ґрунт дослідного поля – чорнозем опідзолений важкосуглинковий. Погодні умови вегетаційних періодів 2017–2019 рр. за основними метеорологічними показниками були не однаковими, тому ефективність досліджених заходів оцінено об'єктивно, а отримані дані були достовірними.

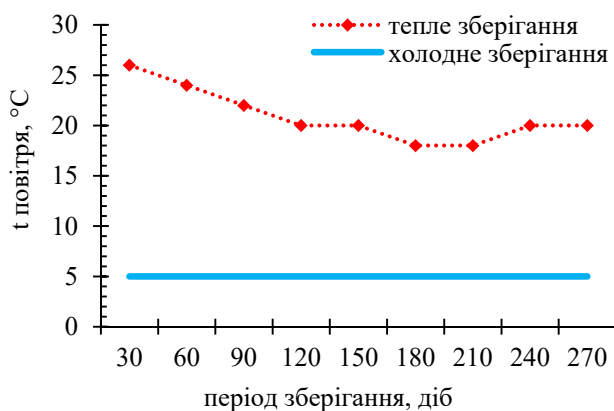


Рис. 1. Показники температури повітря (°C) за умов теплового і холодного зберігання (2017–2020)

Висаджування зубків часнику виконували за схемою 45×6 см, 5–10 жовтня. Загальна площа дослідів 400 м²; дослідної ділянки 100 м²; облікова площа 10 м². Варіанти дослідів розміщували системно, повторність – чотириразова.

Дворазову обробку рослин проводили на 40 та 50 добу після початку весняного відростання. В умовах Правобережного Лісостепу України на 40 та 50 добу від початку весняного відростання спостерігається інтенсивне наростання вегетативної маси рослин часнику і саме в цей період спостерігаються останні весняні заморозки.

Однофакторний дослід складався з обробки посівів часнику розчинами саліцилової кислоти (СА) – C₆H₄(OH)COOH (300 ppm) (Shama et al., 2016), гіберелінової кислоти (ГК₃) – C₁₉H₂₂O₆ (150 ppm) (Abd-Elkader, 2016) та аскорбінової кислоти (АК) – C₆H₈O₆ (200 ppm) (Naz et al., 2016), а також контроль – обробка водою.

Режими зберігання часнику. На зберігання товарну продукцію (стандартні цибулини – діаметром не менше ніж 25 мм) закладали одразу після збору врожаю (DSTU 3233–95, 1995). Зберігання проводили згідно з рекомендаціями MacKay (1984). Цибулини часнику озимого на зберігання закладали впродовж одного дня, у триразовій повторності, маса середнього зразка 10 кг. Зберігали у холодильній камері Polair Standard KXH–8,81 за температури 5 ± 0,3° С та відносної вологості повітря 75 %, у полімерних ящиках № 6 ОСТ 10–15–86 (DSTU 4971:2008, 2009). Зберігання тривало 270 днів. Упродовж даного періоду показники температури повітря та відносної вологості за неконтрольованого режиму в кімнатних умовах були відносно стабільними, а у холодильній камері – суворо контрольованими і зберігалися на одному рівні впродовж всього періоду.

Статистичний аналіз. Для аналізу мінливості ознак використовували показник коефіцієнта варіації – відношення середнього квадратичного відхилення (SD) до середнього арифметичного (\bar{X}), що виражається у відсотках: CV = SD/ \bar{X} .

Для порівняння мінливості ознак, що виражені в різних одиницях вимірювання, застосовували коефіцієнт

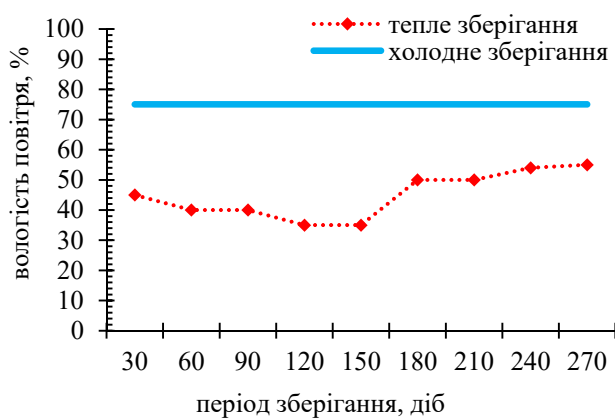


Рис. 2. Показники відносної вологості повітря (%) за умов теплового і холодного зберігання (2017–2020)

варіації. Ступінь варіювання вимірювали за шкалою відношень: $CV < 10\%$ – варіація слабка; $CV 11\text{--}25\%$ – середня; $CV > 25\%$ – значна (Chacon et al., 2005), з використанням комп'ютерних програм Excel та Statistica 10.

Статистичну обробку отриманих результатів проводили з розрахунком середнього арифметичного (\bar{x}) стандартного відхилення (SD), визначеного за допомогою Microsoft Excel 2019.

Результати. Як логістичний етап зберігання забезпечує мінімальні втрати якості та кількості впродовж попередньо визначеного терміну. Показниками збереженості є: вихід стандартної продукції, розмір втрат та термін зберігання. Вихід стандартної продукції і втрати пов'язані зворотною залежністю. Обидва показники залежать від умов і термінів зберігання (Kodera et al., 2002; Pusik & Nordiyenko, 2011).

При зберіганні цибулин часнику в них відбуваються різноманітні біохімічні процеси та випаровування вологи, яка знаходиться в тканинах. Це призводить до зменшення абсолютної і збільшення відносної кількості сухих речовин. Тому за динамікою останніх можна судити про інтенсивність вище вказаних процесів та їх вплив на лежкість і якість матеріалу часнику, що зберігається. Стан спокою розглядається як блокування процесу поділу клітин, зумовлене зниження фізіолого-біохімічних процесів.

Результати досліджень демонструють, що максимальні втрати маси цибулини відбуваються у перший період (0–30 днів) після збору врожаю – 14,8–18,2 % за теплового і 3,8–6,2 % за холодного зберігання. Динаміка втрат маси цибулини була наступною: за зберігання у неконтрольованих умовах, починаючи з 60-ої до 180-ої доби, щомісячні втрати поступово зростали (в середньому з 1,8 до 3,1 %/міс.), починаючи з 210-ої доби – знижувалися (в середньому з 2,8 до 2,0 %/міс.)

За холодного зберігання у контрольованих умовах втрати були значно нижчі, а їх динаміка дещо відрізнялася. Так, починаючи з 60-ої до 150-ої доби спостерігали зниження втрати маси цибулини (в середньому з 0,7 до 0,4 %/міс.), починаючи з 180-ої, відзначали істотне збільшення втрат маси цибулини (в середньому з 0,6 до 1,6 %/міс.) (табл. 1).

Відзначено, що продукція дослідних варіантів, посіви якої оброблялися розчинами амінокислот, характеризувалася нижчими показниками втрат маси цибулини за зберігання у неконтрольованих умовах у період 0–240 днів, відносно контролю та впродовж всього терміну за холодного зберігання у контрольованих умовах. Якщо виокремлювати найбільш ефективний варіант обробки рослин, кращим виявився варіант із саліциловою та аскорбіновою кислотами, де сумарні втрати склали 30,4 і 35,8 % та 8,7 і 9,6 % за зберігання у неконтрольованих і контрольованих умовах відповідно (рис. 3).

Отже, виходячи з отриманих результатів, можна зробити висновок, що для тривалого зберігання, незалежно від умов, доцільно використовувати ті цибулини, посіви яких оброблялися саліциловою та аскорбіновою кислотами, що сприяло істотному зниженню сумарних втрат маси.

Найбільша кількість уражених цибулин відзначалася у варіанті з використанням гіберелінової кислоти 3,1 і 1,5 % за теплового і холодного зберігання, що більше відносно контролю на 0,9 і 0,2 % відповідно до способу зберігання.

Загалом, за використання гіберелінової кислоти відзначали найбільші втрати від ураження хворобами, проростання та усохлих цибулин, що можна пояснити високою фізіологічною активністю кислоти і відповідно її впливом на спокій зубків (табл. 2).

Дані отримані іншими науковцями вказують на те, що загалом, часник оброблений GA3 упродовж всього періоду

Таблиця 1

Структура щомісячних втрат маси цибулини за теплового зберігання, %

| Варіант | Втрати маси цибулини (%) у період зберігання, днів після збору врожаю | | | | | | | | |
|--------------------------------------|---|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 30 | 60 | 90 | 120 | 150 | 180 | 210 | 240 | 270 |
| Зберігання у неконтрольованих умовах | | | | | | | | | |
| Контроль | 18,2 | 2,2 | 2,5 | 2,7 | 3,0 | 3,5 | 3,1 | 2,6 | 2,0 |
| СА | 14,8 | 1,4 | 1,6 | 1,9 | 2,3 | 2,6 | 2,5 | 2,0 | 1,3 |
| ГК | 17,8 | 1,8 | 1,9 | 2,2 | 2,7 | 3,3 | 2,8 | 2,5 | 2,5 |
| АК | 17,3 | 1,7 | 1,8 | 2,1 | 2,7 | 3,1 | 2,6 | 2,4 | 2,1 |
| Xmed | 17,0 | 1,8 | 2,0 | 2,2 | 2,7 | 3,1 | 2,8 | 2,4 | 2,0 |
| SD | 1,32 | 0,29 | 0,34 | 0,29 | 0,25 | 0,33 | 0,23 | 0,23 | 0,43 |
| CV,% | 8 | 16 | 17 | 13 | 9 | 11 | 8 | 10 | 22 |
| Зберігання у холодильній камері | | | | | | | | | |
| Контроль | 6,4 | 0,9 | 0,6 | 0,5 | 0,5 | 0,7 | 1,1 | 1,6 | 2,4 |
| СА | 3,8 | 0,6 | 0,4 | 0,4 | 0,3 | 0,6 | 0,6 | 0,8 | 1,2 |
| ГК | 6,2 | 0,7 | 0,5 | 0,4 | 0,4 | 0,6 | 0,9 | 1,3 | 1,4 |
| АК | 4,4 | 0,6 | 0,4 | 0,4 | 0,3 | 0,5 | 0,7 | 0,9 | 1,4 |
| Xmed | 5,2 | 0,7 | 0,5 | 0,4 | 0,4 | 0,6 | 0,8 | 1,2 | 1,6 |
| SD | 1,12 | 0,12 | 0,08 | 0,04 | 0,08 | 0,07 | 0,19 | 0,32 | 0,47 |
| CV,% | 22 | 17 | 17 | 10 | 22 | 12 | 23 | 28 | 29 |

Примітка: СА – саліцилова кислота; ГК – гіберелінова кислота; АК – аскорбінова кислота

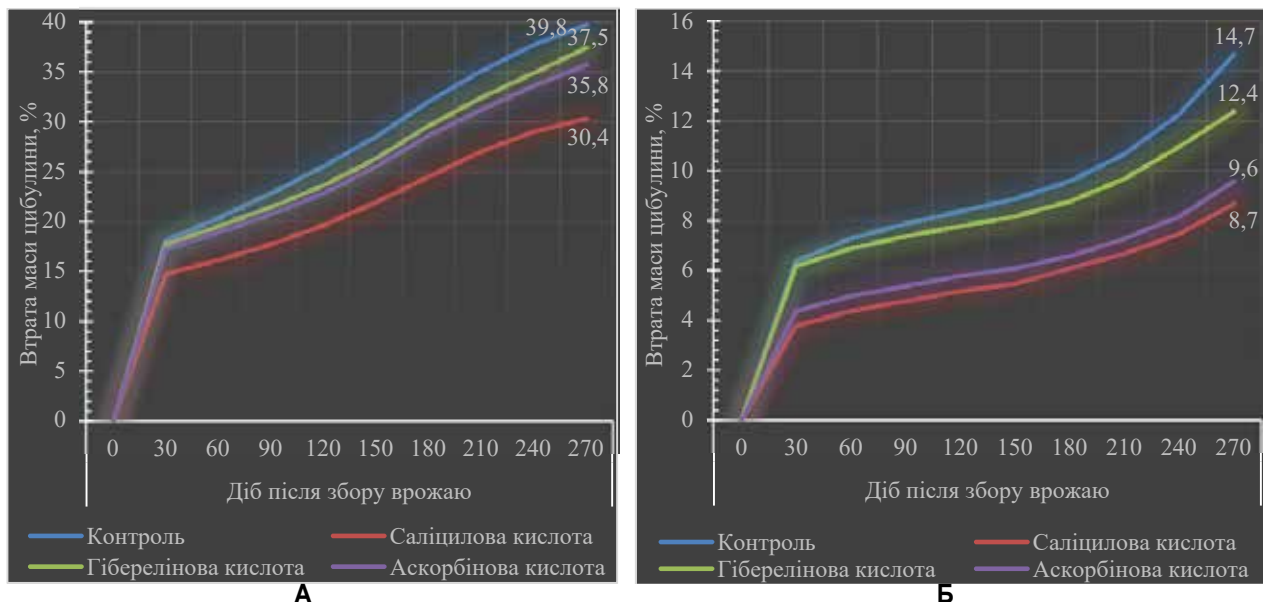


Рис. 3 Динаміка сумарних втрат маси цибулин часнику, обробленого амінокислотами за теплого (А) і холодного (Б) зберігання (2017–2020)

Таблиця 2

Розподіл втрат маси цибулини по категоріям на кінець періоду зберігання

| Варіант | Природні втрати маси, % | Втрати за рахунок ураження хворобами, % | Пророслі цибулини, % | Усохлі цибулини, % |
|--------------------------------------|-------------------------|---|----------------------|--------------------|
| Зберігання у неконтрольованих умовах | | | | |
| Контроль | 29,8 | 2,2 | 3,4 | 4,4 |
| СА | 24,6 | 1,1 | 2,2 | 2,5 |
| ГК | 25,9 | 3,1 | 5,3 | 3,2 |
| АК | 30,0 | 1,2 | 1,7 | 2,9 |
| Xmed | 27,6 | 1,9 | 3,2 | 3,3 |
| SD | 2,37 | 0,82 | 1,39 | 0,71 |
| CV,% | 9 | 43 | 44 | 22 |
| Зберігання у холодильній камері | | | | |
| Контроль | 10,4 | 1,3 | 1,3 | 1,7 |
| СА | 6,0 | 0,6 | 1,3 | 0,8 |
| ГК | 8,0 | 1,5 | 1,7 | 1,2 |
| АК | 6,5 | 0,7 | 1,2 | 1,2 |
| Xmed | 7,7 | 1,0 | 1,4 | 1,2 |
| SD | 1,71 | 0,38 | 0,19 | 0,32 |
| CV,% | 22 | 37 | 14 | 26 |

Примітка: СА – саліцилова кислота; ГК – гіберелінова кислота; АК – аскорбінова кислота

холодного зберігання показав кращий відсоток схожості за весняного садіння. Ці результати узгоджуються із спостереженням (Rahman et al., 2008). Частка зубків у цибулині збільшувалася за використання гіберелінів, які підвищили схожість та/або лікування, що ймовірно, може бути пов'язано з підвищенням вмісту амінокислот в ембріоні, який є джерелом гідролітичного ферменту, необхідного для перетворення ендоспермічного крохмалю, коли зубки відновлюють ріст (Mayer & Poljakoff, 1989; Soyler & Khawar, 2007; Таууба et al., 2012).

Середні дані втрат маси цибулини, наведені на рисунку 4, показують, що за зберігання у неконтрольованих умовах динаміка втрат маси наростає до 180 доби

і потім поступово знижується. Це пов'язано з більш інтенсивним диханням та закінченням періоду спокою зубків.

За зберігання у холодильній камері динаміка втрати маси була дещо іншою. Так, низька температура сприяла зниженню інтенсивності дихання цибулин та відповідно, продовженню періоду спокою зубків, що підтверджується зниженням втрат маси цибулини з 60 до 150 доби і поступовим зростанням втрат з 180 доби.

Обговорення. Cantwell M.I. (Cantwell, 2004) вказав, що часник можна зберігати при кімнатній температурі (20–30 °C) протягом 1 або 2 місяців. Однак цибулини з часом втрачають свою твердість, стають губчастими і змінюються через втрату води.

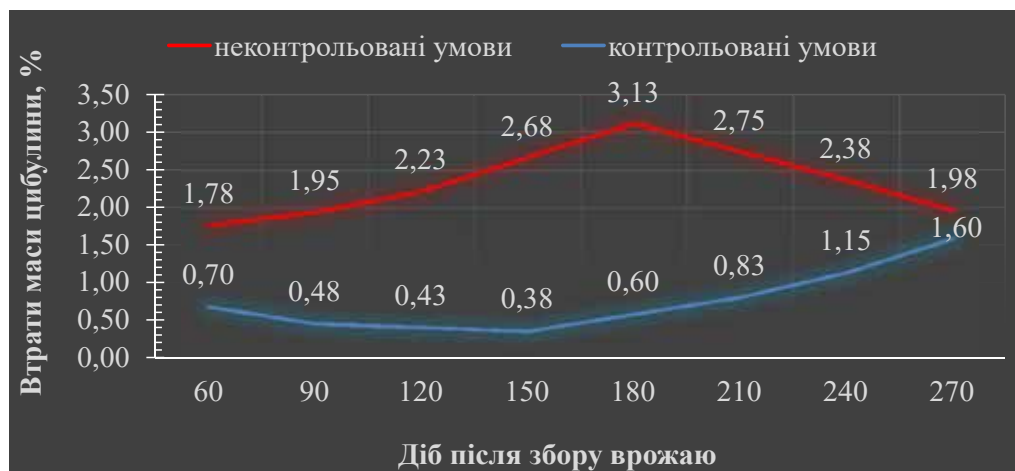


Рис. 4. Усереднені показники (без врахування періоду 0–30 діб) втрат маси цибулини часнику залежно від температурного режиму (2017–2020)

У часнику, що зберігається при температурі від 5 до 18 °С, період спокою швидко закінчується; оптимальна температура від –1 до 0 °С.

Miedema P. (Miedema, 1994), повідомляє, що температура від 10 до 20 °С викликала проростання, а J. L. Brewster та H.D. Rabinowitch (Brewster & Rabinowitch, 1990) додає, що частота дихання була більшою при 5, 10 і 15 °С, ніж при 0 °С або 20 °С. A.A. Abdalla та L.K. Mann (Abdalla & Mann, 1963), вказують, що у цибулин, які зберігалися при 10 і 15 °С, було більше сходів, ніж при низьких (0 °С) або високих (40 °С) температурах.

G. Volk та ін. (Volk et al., 2004) повідомили, що цибулини часнику, зібрані влітку, часто зберігаються при кімнатній температурі між моментом збору врожаю і досушуванням, а також споживанням або посадкою восени. Якість цих цибулин зазвичай різко погіршується через 6 місяців після збору врожаю. Цибулини часнику зберігали при –3 або 5 °С впродовж 6 місяців, щоб визначити, чи можна зберегти цибулини для весняної посадки. Реакція на умови холодного зберігання була залежною від сорту. Виявлено, що більшість висушених цибулин часнику, які зберігалися при –3 °С протягом 6 місяців, успішно формували зубчики в цибулинах при посадці наступної весни. На відміну від високоякісних цибулин, утворених після зберігання –3 °С, цибулини, які зберігалися при 0 °С впродовж 6 місяців, часто утворювали бічні зубчики та мали нещільні луски. В іншому дослідженні цибулини часнику, які зберігалися при температурі 0, 5, 15 або 23 °С, демонстрували вищу інтенсивність росту пагонів у зубчиках під час зберігання, ніж цибулини, які зберігалися при –3 °С. Після 9 місяців зберігання при температурі –3 °С цибулини, які потім витримували

при кімнатній температурі, зберігали якісні характеристики свіжозібраного часнику (твердість, смак) протягом щонайменше 2 місяців. Ці дослідження показують, що висушений часник можна висаджувати навесні та вживати цілий рік, якщо цибулини зберігаються при –3 °С.

Шість партій по 360 цибулин часнику сорту Perla зберігали протягом 190 днів при 0, 5, 20 і 30 °С та відносній вологості 70 %, та при кімнатній температурі (17,7±7 °С). Систематично реєстрували втрату маси, суб'єктивну твердість цибулин, внутрішній індекс проростання, вміст сухих розчинних речовин і сухої речовини в зубчиках. Втрата маси та індекс внутрішнього проростання мали негативну кореляцію з суб'єктивною твердістю. Зберігання при 5 °С, 20 °С і кімнатній температурі викликало проростання, а подальший ріст вплинув на втрату стійкості та кольору. Повне проростання (>100%) спричинило втрату маси на 9–11% при цих температурах (Vázquez-Barrios et al., 2006).

Висновки. Отже, в результаті проведених досліджень вивчено динаміку зміни втрат маси цибулини часнику залежно від обробки посівів розчинами амінокислот. Виявлено, що найбільш інтенсивні втрати маси проходять у перший місяць після збору врожаю за рахунок накопиченого об'єму вологи. Вивчено різницю втрат маси цибулини за категоріями залежно від чинників вирощування та системи зберігання, де вказується, що за холодильної системи зберігання цибулини менше всихають, проростають, уражуються патогенами та істотно повільніше втрачають масу, що прямо впливає на товарність продукції впродовж періоду зберігання. Отримані дані слугуватимуть теоретичною основою виробникам з огляду які на цілі вирощується продукція (реалізація в свіжому вигляді, переробки або зберігання).

Бібліографічні посилання:

1. Abdalla, A.A. & Mann, L.K. (1963). Bulb development in the onion (*Allium cepa*) and the effect of storage temperature on bulb rest. *Hilgardia*, 35(5), 85–112.
2. Abd-Elkader, D. Y. (2016) Effect of Foliar Spraying with Micronutrients and Salicylic Acid on Growth, Yield and Quality of Garlic Plants. *Alexandria Journal of Agricultural Sciences*, 61(6), 651.
3. Akan S. & Gunes, N. (2021). Potential effects of storage period, warehouse locations, and methyl jasmonate in long-term stored garlic bulbs. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 45, 79–90. doi: 0.3906/tar-2004-104.

4. Akan, S., Yarali K. F. & Horzum, Ö. (2022). Differential response of softneck and hardneck garlic ecotypes to quality attributes for long-term storage. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 34, 346–357. doi: 10.9755/ejfa.2022.v34.i4.2845.
5. Bondarenko, H. L. & Yakovenko, K. I. (2001). *Metodyka doslidnoyi spravy v ovochivnytstvi i bashtannytstvi* [Methodology of experimental work in vegetable and melon]. Osnova, Kharkiv, 369 (in Ukrainian).
6. Brewster, J. L. & Rabinowitch, H.D. (1990). *Allium sativum*. Onions and Allied Crops: Biochemistry Food Science and Minour Crops. vol. III, CRC Press, Boca Raton, 109–158.
7. Brewster, J.L. (1994). Onions and other vegetable alliums. CAB International, University Press, UK.
8. Cantwell, M.I. (2004). Garlic. Recommendations for maintaining postharvest quality. Access mode: URL: https://postharvest.ucdavis.edu/Commodity_Resources/Fact_Sheets/Datastores/Vegetables_English/?uid=16&ds=799
9. Castaño, E., Mercado-Silva, E., Gonzalez, F., Gorrostieta, C., Chamorro, J., Vazquez, E., Aguirre Torres, V. (2005). Statistical Functional Modeling of Quality Changes of Garlic under Different Storage Regimes. *Journal of Data Science*, 4(2) 233–246. doi: 10.6339/JDS.2006.04(2).245
10. Chacon, M., Pickersgill, P., & Debouck, D. (2005). Domestication patterns in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) and the origin of the Mesoamerican and Andean cultivated races. *Theoretical and Applied Genetics*, 110(3), 432–444. doi: 10.1007/s00122-004-1842-2
11. Contwell, M.I., Kang, J. & Hong, G. (2003). Heat treatments control sprouting and rooting of garlic cloves. *Postharvest Biological Technology*, 30, 57–65.
12. De Iseppi, A., Curioni, A., Marangon, M., Vincenzi, S. & Lomolino, G. (2021). Garlic greening: Pigments' biosynthesis and control strategies. *Italian Journal of Food Science*, 33, 73–83. doi: 10.15586/ijfs.v33i1.1939.
13. Del Pozo, A. & Gonzalez, G. (2005). Developmental responses of garlic to temperature and photoperiod. *Agricultural Technology*, 65, 119–126.
14. DSTU 3233–95. Chasnyk svizhyy; Tekhnichni umovy [DSTU 3233–95. Fresh garlic; Technical conditions]. (1995). Kyiv: Derzhstandart Ukrayiny (in Ukrainian).
15. DSTU 4971:2008. Tekhnichni umovy. Yashchyky polimerni bahatooborotni dlya ovochiv i fruktiv [DSTU 4971:2008. Specifications. Boxes polymeric multiturnaround for vegetables and fruit]. (2009). Kyiv (in Ukrainian).
16. Hidayat, T. & Sasmitaloka, K. (2022). Quality Changes of Garlic Bulbs at Various Levels of Initial Moisture Content and Storage Temperature. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1024, 012021. doi: 10.1088/1755-1315/1024/1/012021
17. Hidayat, T., Sasmitaloka, K. & Setyadjit. (2022). Quality Changes of Garlic Bulbs at Various Levels of Initial Moisture Content and Storage Temperature. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1024, 012021. doi: 10.1088/1755-1315/1024/1/012021
18. Iglesias, E. I. & Fraga, R. (1998). Suitable packaging and storage methods for postharvest preservation of garlic irradiated and unirradiated. *Alimentaria*. 295, 91–96.
19. Kashmire, F.R. & Cantwell, M. (1992). *Postharvest handling systems: underground vegetables (Rotos, tubers and bulbs)*. *Postharvest Technology of Horticultural Crops*. Publication 3311 (2nd ed.), University of California, Davis CA, USA, 271.
20. Kodera, Y., Ayabe, M., Ogasawara, K., Yoshida, S., Hayashi, N., Ono, K. (2002). Allixin Accumulation with Long-term Storage of Garlic. *Chemical & pharmaceutical bulletin*, 50(3), 405–407. doi: 10.1248/cpb.50.405
21. MacKay, S. (1984). *Home storage of fruits and vegetables*. (Rev.). Ithaca, NY: Northeast Regional Agricultural Engineering Service, 240.
22. Madhu, B., Mudgal, V. & Singh Champawat, P. (2019). Storage of garlic bulbs (*Allium sativum* L.): A review. *Journal of Food Process Engineering*, 42(6): 170–189. doi: 10.1111/jfpe.13177
23. Mann, L.K. & Lewis D.A. (1956). Rest and dormancy in garlic. *Hilgardia* 26(3), 161–189.
24. Mayer, A.M. & Poljakoff, M.A. (1989). *The Germination of Seeds*. 4th ed. UK: Pergamon Press, 52–56.
25. Miedema, P. (1994). Bulb dormancy in onion. I. The effects of temperature and cultivar on sprouting and rooting. *J. Hortic. Sci.*, 69, 29–39.
26. Naz, H., Akram, N. A. & Ashraf, M. (2016). Impact of ascorbic acid on growth and some physiological attributes of cucumber (*Cucumis Sativus*) plants under water-deficit conditions. *Pakistan Journal of Botany*, 48(3), 879.
27. Pusik, L. M. & Hordiyenko, I. M. (2011). *Tekhnolohiia zberihannya plodiv, ovochiv ta vynohradu Kharkiv* [Technology of storage of fruits, vegetables and grapes Kharkiv]. Maydan, 198 (in Ukrainian).
28. Rahman, H.M., Haquel, S.M., Karim, A.M. & Ahmed, A. (2008). Effects of Gibberellic acid on breaking dormancy in garlic (*Allium sativum* L.). *International Journal of Agriculture and Biology*, 1560(1), 63–65.
29. Sasmitaloka, K., Hidayat, T., Arif, A. & Jamal, I. (2021). The dormancy breaking of garlic seeds through thermal shock storage methods and soaking in gibberellin acid. *IOP Conference Series. Earth and Environmental Science*, 653, 012108. doi: 10.1088/1755-1315/653/1/012108
30. Shama, M. A., Moussa, S. A. M. & Abo El Fade, N. I. (2016). Salicylic acid efficacy on resistance of garlic plants (*Allium sativum*, L.) to water salinity stress on growth, yield and its quality. *Alex.Sci.Exc.J.*, 37(2), 167.
31. Sharma, S. S., Dhall, R. K., Mittal, T. & Bhatia, S. (2020). Physio-chemical behavior of γ -irradiated garlic bulbs under ambient storage conditions. *Journal of Stored Products Research*, 87, 101629. doi: 10.1016/j.jspr.2020.101629
32. Singh, R., Dubey, B.K. & Bhonde, S.R. (2014). Studies on some genotypes for yield, quality and storage in garlic. *SAARC Journal of Agriculture*. 10(2), 165–169. doi: 10.3329/sja.v10i2.18337
33. Soyler, D. & Khawar, K.M. (2007). Seed germination of caper (*Capparis ovate* var. *herbacea*) using α naphthalene acetic acid and Gibberellic acid. *International Journal of Agricultural Biology*, 9, 35–37.
34. Tayyaba, H., Khalid, H., Saba, S. & Ahtisham, U. (2012). Effect of Gibberellic acid (GA_3) on morphological and physiological attributes of ispaghol (*Plantago ovata* L.). *International Journal of Water Resources and Arid Environments*, 2(6), 190–196.

35. Vázquez-Barrios, M.E, G. López-Echevarría, E. Mercado-Silv, E. Castaño-Tostado & León-González, F. (2006). Study and prediction of quality changes in garlic cv. Perla (*Allium sativum* L.) stored at different temperatures. *Scientia Horticulturae*, 108(2), 127–132.
36. Volk, G.M., Rotindo, K.E. & Lyons, W. (2004). Low-temperature storage of garlic for spring planting. *HortScience*, 39(3), 571–573.
37. Youssef, S.N. (2013). Growth and bulbing of garlic as influenced by low temperature and storage period treatments. *Journal of Rural Observation*, 5(2), 47–56.

Yatsenko V.V., Doctor of Philosophy, Senior Lecturer, Uman National University of Horticulture, Uman, Ukraine

The effect of spraying garlic crops with amino acids on the storage of bulbs

*The article analyzes data related to the formation of technological properties of garlic during storage after spraying crops with amino acid solutions. The research was conducted in 2017–2020 in the conditions of the Right Bank Forest Steppe of Ukraine. The results of a study on the effect of spraying with organic acids: salicylic (300 ppm), gibberellic (150 ppm) and ascorbic acid (200 ppm) on garlic plants (*Allium sativum* L.) are presented. During the storage period, the natural weight loss, the percentage of affected bulbs, the percentage of germinated and dried bulbs were studied. Garlic bulbs were stored in one day, in three repetitions, the weight of the average sample was 10 kg. They were stored in a Polair Standard KHN–8.81 refrigerating chamber at a temperature of 5 ± 0.3 °C and a relative humidity of 75 %, as well as in uncontrolled conditions in polymer boxes. The results showed that accumulated moisture loss increased with bulb size and shelf life. The cold storage system had a great influence on the weight loss, where the lowest weight loss was noted (8.7–14.7%), compared to uncontrolled conditions. Thus, the storage system at room temperature recorded the highest value (30.4–39.8%). The lowest total mass losses were recorded with the use of salicylic and ascorbic acids – 30.4 and 35.8%, while with the refrigeration system – 8.7 and 9.6%. Germination percentage ranged from 24.8–30.0% for storage under uncontrolled conditions and 6.5–10.4% for refrigerated storage. The percentage of dried bulbs ranged from 2.9–4.4% and 0.7–1.1% under room and refrigerated storage systems. Sprouted bulbs under room and refrigeration systems were in the range of 1.7–3.4 and 1.2–1.7%; affected by pathogens – 1.1–2.2 and 0.6–1.3%, according to the storage systems. The lowest rates of affected bulbs, the percentage of germinated and dried bulbs were noted for the use of salicylic and ascorbic acids on crops. The obtained data can serve as a theoretical basis for producers considering the purposes for which products are grown (for fresh sale, processing or storage).*

Key words: weight loss, storage conditions, bulb.