

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 колеґія 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 3 (49), 2022

ЗМІСТ

| | |
|---|----|
| Li Fang Determination of methyl parathion in vegetables by high performance liquid chromatography..... | 3 |
| Білоусова З. В., Кенсва В. А. Вплив системи мінерального живлення на роботу листового апарату рослин пшениці озимої..... | 9 |
| Клименко Г. О., Кирильчук К. С., Шерстюк М. Ю., Зубцова І. В., Клименко І. М., Демиденко Ю. В. Оцінка стану та структури популяції рідкісного виду <i>dactylorhiza incarnata</i> (L.) Soó. В урбанізованому середовищі (м. Суми)..... | 16 |
| Коваленко М. О., Жатова Г. О. Ісиву на ріст та розвиток рослин сорго зернового в умовах північно-східного Лісостепу України | 25 |
| Колосок І. О. Особливості формування урожайності гібридів соняшнику в умовах північно-східного лісостепу України..... | 32 |
| Коплик Я. В. Степові фітоценози України: особливості й історія вивчення..... | 40 |
| Паливода Ю. М., Гавій В. М. Вплив обробки насіння метаболічно активними речовинами на фотосинтетичну продуктивність проростків пшениці м'якої (<i>triticum aestivum</i> L.) за моделювання водного дефіциту..... | 49 |
| Третяк Т. О., Дреґваль І. В., Севериновська О. В. Особливості ЕЕГ студенток-біологинь з різною ефективністю наочно-образного мислення..... | 56 |
| Троценко Н. В., Мельник А. В. Стресостійкість кіноа та роль ендофітних симбіонтів у її формуванні..... | 66 |
| Ярошенко Н. П., Скляр В. Г. Оцінка онтогенетичної та віталітетної структур популяцій <i>Asarum europaeum</i> L. у Геттінгенському лісі, Нижня Саксонія, Німеччина | 76 |



Видавничий дім
«Гельветика»
2022

Мельничук С. Д., д.б.н., професор,
Сумський національний аграрний
університет (Україна)

Мищенко Ю. Г., д.с.-г.н., доцент,
Сумський національний аграрний
університет (Україна)

Оничко В. І., к.с.-г.н., доцент,
Сумський національний аграрний
університет (Україна)

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

Скляр В. Г., д.б.н., професор,
Сумський національний аграрний
університет (Україна)

Скляр Ю. Л., к.б.н., доцент,
Сумський національний аграрний
університет (Україна)

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

Федорчук М. І., д.с.-г.н., професор,
Миколаївський національний аграрний
університет (Україна)

Хаблак С. Г., д.б.н., доцент, AGR
group (Україна)

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

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»).

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 № 7 від 29.11.2022 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. № 0123/019

© Сумський національний
аграрний університет, 2022

DETERMINATION OF METHYL PARATHION IN VEGETABLES BY HIGH PERFORMANCE LIQUID CHROMATOGRAPHY

Li Fang

PhD student

Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine,

School of Resources and Environment, Henan Institute of Science and Technology, Xinxiang, China

ORCID: 0000-0002-6322-4162

lifangday@163.com

Organophosphorus pesticides are one of the most widely used insecticides, which are mainly used in grain, vegetables and fruits. Methyl parathion is a kind of organophosphorus pesticide, which belongs to nerve agent. It can cause different degrees of poisoning to human and livestock and cause serious environmental pollution. Therefore, it is of great significance to establish an effective method for detecting methyl parathion residues in agricultural products. The determination of methyl parathion is often carried out by gas chromatography, but because of the strong polarity and thermal instability of methyl parathion, gas chromatography brings certain difficulty. The High Performance Liquid Chromatography (HPLC) method was researched for the testing of Methyl Parathion residues in vegetables, and the chromatographic conditions for sample extraction, purification and detection were screened and optimized. In vegetables, the matrix is complex, the pesticide residue is low, and there are many interference factors. The main residual components are not easy to separate, enrich and purify, so the detection of related pesticides is not accurate. After lots of experimental exploration, the chromatographic conditions by acetonitrile extraction agent, methanol:water (73:27) as mobile phase and UV detection wavelength choosing 270 nm was selected finally. What's more, QuEChERS (Quickly, Easy, Cheap, Effective, Rugged, Safe) method, a new pretreatment technology for pesticide residue detection in agricultural products developed in the world recent years, was used for pretreatment of three kinds of vegetables, and PSA and GCB were selected as purifying agents for sample pretreatment ultimately. The experimental results displayed that the chromatographic peak area of Methyl Parathion exhibiting a good linear relationship with its concentration in the 0.05 μM ~20 μM range, and the standard curve equation is $Y=4833.5x-32.64$, the correlation coefficient is 99.96%. The average recoveries of Methyl Parathion in three kinds of vegetables (Lettuce, Cucumber and tomato) were between 87.38% and 114.12% at the three spiked levels of 0.5, 2 and 8 μM , and the relative standard deviation (RSD) was between 1.72% and 6.2%. This method has the good points of simple operation, accurate and reliable, and is suitable for the detection of MP pesticide residues in various vegetables.

Key words: Methyl Parathion, pesticide residue, High Performance Liquid Chromatography.

DOI <https://doi.org/10.32845/agrobio.2022.3.1>

Introduction. The use of pesticides can largely protect crops from pests and diseases, which has become an indispensable part of production materials in modern agriculture (Jiang, et al., 2016; Kumar et al., 2018; Qiao, Qian et al., 2018). Organophosphorus pesticides are widespread pesticides in agricultural production in China (Li et al., 2014; Ng et al., 2015; Yu. et al., 2016), which have the advantages of high efficacy, variety, and easy degradation (Khan et al., 2021). Therefore, Methyl parathion is widely used in the control of various crop pests due to its low price and wide range of efficacy (Chen et al., 2021; Eddleston et al., 2020; Liao et al., 2016). However, Long-term abuse and illegal use of pesticides not only have seriously threatened the ecological environment (Anakwue, 2019; Fang et al., 2021; Kumar et al., 2018; Saethre et al., 2012; Wang et al., 2020; Wei et al., 2022; Zhao et al., 2013), but also causes great harm to human's health by inhibiting the activity of cholinesterase in nervous system, even fatal or carcinogenic (Huang & Huang, 2012; Kalipci et al., 2010). So, it is very meaningful to build a reliable and efficient detect method for pesticide residues (Liu et al., 2014; Lu et al., 2018). Organophosphorus pesticide residual can be detected by gas chromatography, but most of the organophosphorus pesticides have strong polarity and thermal instability, which brings certain difficulties to gas chromatography analysis

(Chen, 2010). HPLC method has combined the advantages of common liquid chromatography and gas chromatography, and then developed after appropriate improvement. It has the function of separating and preparing water-soluble substances by liquid chromatography at room temperature, and the characteristics of gas chromatography (i.e., high pressure, high speed, high resolution, and high sensitivity) and good repeatability, small sample quantity, easy to multiple measurements (Ashraf et al., 2022; Gao et al., 2017; Harshit et al., 2017; Rana et al., 2011; Vichapong et al., 2016).

In this study, High Performance Liquid Chromatography (HPLC) was utilized to determine MP in different vegetables. This method has the good points of simple operation, accurate and reliable, and is suitable for the detection of MP pesticide residues in various vegetables (Chen, & Li, 2013; Pang et al., 2011; Tan, et al., 2009; Wang, Chen, Cao, & Li, 2015).

Materials and methods. *Experimental Instruments and Reagents.*

Experimental instruments were:

UPLC-PDA (I-Class PLUS, Waters Corporation, Milford, MA, USA);

Vortex Shaker (IKA Vortex 3, Germany);

Millipore filter system (Millipore Corporation, Bedford, MA, USA);

Centrifuge (Sigma 3K 30, Germany).

In research were used such reagents as:

HPLC-grade acetonitrile (MREDA Technology Inc, USA);

Methanol (Dikma Beijing, China);

Primary secondary amine (PSA, Tianjin Bona Aijer Technology Co., LTD); Graphitized carbon black (GCB, Hangzhou Micron Pie Technology Co., LTD);

NaCl (Sinopharm Chemical Reagent Co. LTD).

Chromatographic conditions. Chromatographic column was Shim-Pack: VP-ODS; Mobile phase was methanol and water, and the ratio was determined by experiment results; The flow rate was 1.0mL/min; The sample size was 5 μ L; Quantitatively determined by calculating the peak areas.

Preparation of standard solution. Methyl parathion pesticide stock solution is dissolved in acetonitrile to 20 μ M/L, stored at -18 $^{\circ}$ C for use. The standard reserve solution was diluted step by step to obtain standard solutions with concentrations of 0.05 μ M, 0.1 μ M, 0.5 μ M, 1 μ M, 5 μ M and 10 μ M, respectively.

Sample preparation. Lettuce, cucumber, and tomato were obtained from the Plant factory in Henan Institute of Science and Technology, and vegetables can be grown without any pesticides there. Each vegetable sample was washed and dried, and then cut them into pieces and put them into a homogenizer for homogenization. 10 g sample were weigh into a 50 ml centrifuge tube; 2 g NaCl and 10 mL acetonitrile are added, blended, and vortex for 3 min, then centrifuged for 5min at 3,500 rpm. An aliquot of 2 ml was transferred from the supernatant to a new clean 2 ml centrifuge tube containing a certain amount of PSA and GCB purification material. The samples were again vortexed for 3min and then centrifuged at 10,000 rpm for 5 min. Afterwards, 2 ml supernatant was taken and filter them through 0.02 μ M filter membrane before sampling.

Generally, vegetable samples without any pesticides were taken, a certain amount of standard mixture was added, and the determination was repeated for 3 times according to the given chromatographic conditions.

Results. 1. **Selection of detection wavelength.** The UV spectrum of aromatic compounds has characteristic

absorption at 254 nm, Through the wavelength scanning of the diode array detector, the pesticide had the maximum absorption at 270 nm, so 270 was selected as the detection wavelength.

2. **Selection of Mobile phase.** Methanol-Water was used as mobile phase, and different ratios were set for screening. Experimental results showed that V-methanol: V-water (73:27) was the best pesticide separation, meanwhile, the interference of blank samples was minimal, and the analysis time was short.

3. **Linear relation and limit of detection.** Under the optimal liquid-mass separation conditions, a series of standard solutions with different concentrations of MP were prepared for determination, and the standard spectrum of MP (which concentrations is 10 μ M) is shown in Fig.1. Then the standard curve of mass concentration was drawn based on the peak area of each component. The results show that the linear range of MP is 0.05~20 μ M, and the standard curve equation is $Y = 4833.5x - 32.64$, the correlation coefficient is 99.96%, which can meet the needs of quantitative analysis.

4. **Precision and recovery rates.** Fig. 2 and Fig. 3 were respectively the control check chromatogram and spiked chromatogram of cucumber sample. The relative standard deviation and spiked recovery results were shown in the Table 1.

Table 1

Determination of spiked recovery rate of vegetable samples

| Sample | Added(μ M) | Recovery rates (%) | RSD(%) |
|----------|-----------------|--------------------|--------|
| Lettuce | 0.5 | 109.84% | 2.61 |
| | 2 | 114.11% | 4.2 |
| | 8 | 103.3% | 1.72 |
| Cucumber | 0.5 | 102.23% | 6.2 |
| | 2 | 108.58% | 3.51 |
| | 8 | 104.82% | 2.89 |
| Tomato | 0.5 | 89.67% | 2.47 |
| | 2 | 87.38% | 4.86 |
| | 8 | 90.31% | 5.83 |

Discussion. Under optimized experimental conditions, methyl parathion has strong absorption

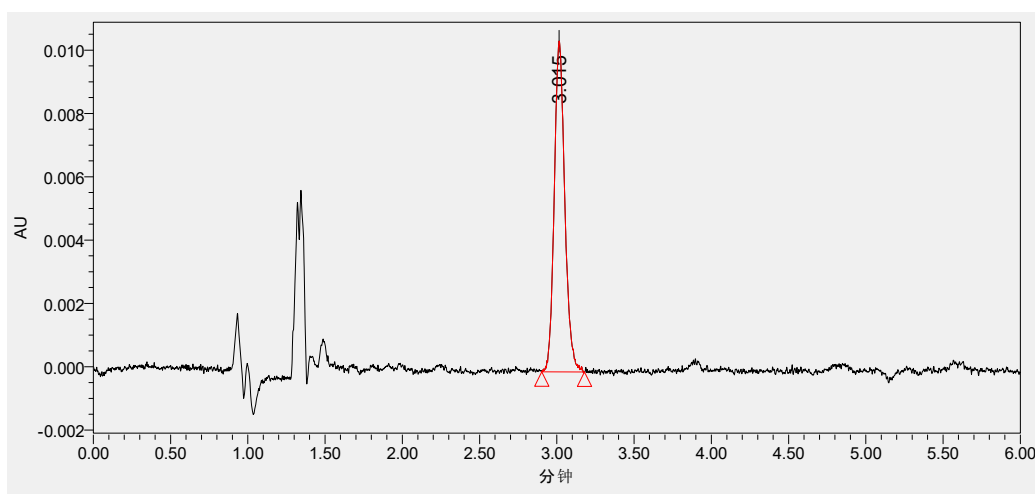


Fig. 1. HPLC chromatogram of Methyl Parathion standard

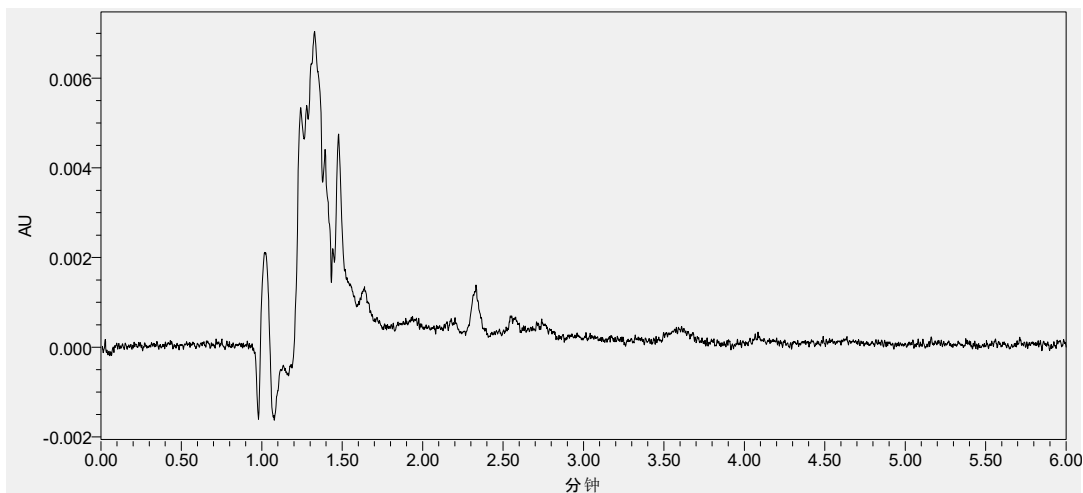


Fig. 2. The control check Chromatogram of cucumber sample

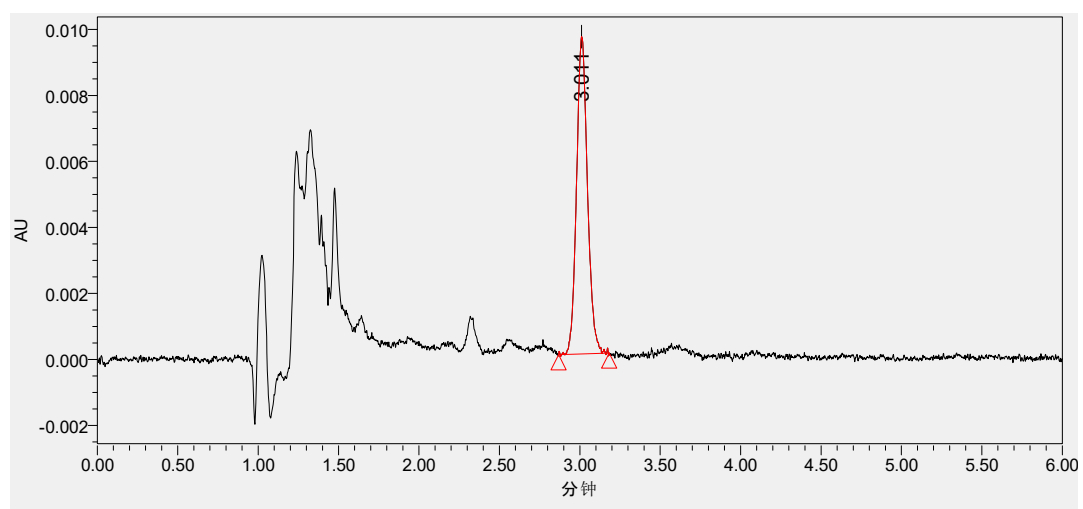


Fig. 3. The spiked chromatogram of cucumber sample

at 270nm, so 270nm was chosen as the detection wave length. In the experiment, the separation conditions of methanol-water in mobile phase were optimized with different proportions and different flow rates, and finally methanol: water = 73:27 was selected. QuEChERS (Quickly, Easy, Cheap, Effective, Rugged, Safe) method, a new pretreatment technology for pesticide residue detection in agricultural products developed in the world recent years, was used for pretreatment of three kinds of vegetables (Gonzalez-Gomez, et al. 2022), and PSA and GCB were selected as purifying agents for sample pretreatment ultimately. In the standard recovery experiment, there was a linear relationship between the standard addition amount of methyl parathion and the chromatographic analysis results (peak area) in the concentration range of 0.05~20 μ m, that is, in the above concentration range of sample extraction, purification, determination and other steps can make the target to be tested with a stable recovery rate. In the studies that have been done, Liu et al. (2012) established a detection method in dry cabbages by ultrasonic extraction-gas chromatography for the 12 organophosphorus insecticides

residues detection, and the results showed that the concentration range of linearity was 0.01~1.00 μ g/mL for methyl parathion detection, and the percent recoveries was 104.5%~110.5%, coefficients of variation was 2.4%~2.6%, and the detection limits was 0.016mg/kg. (Liu Chao et al., 2015) Developed a LC-MS/MS method for methyl parathion in three kinds of tea based on novel HPLC column Inertsil ODS-3 with methanol and 0.1% acetic acid as mobile phase, combined with MS. The experiment results showed a linear relationship in the range of 0~2.0 ng/mL, and the detection limit was 0.47ng/kg. The adding standard recovery was 83.5%~106.3%. Muckoya V. A. with colleagues (Muckoya et al., 2020) presented a simple and rapid method for determination of 11 kinds of pesticides in wastewater matrices, A chemometric approach for the optimisation of vortex-assisted dispersive liquid-liquid microextraction experimental conditions prior to liquid chromatography-mass spectrometry detection was applied. The results showed that LOD was 0.67 μ g/L, and spiked recovery rate was 97.68~115.15 for the Methyl parathion detection. Therefore, compare to the previous work, our research results are of progressive significance.

Conclusions. For this article, a HPLC method was established for the determination of MP in three vegetables. The linear range of the method was 0.05~20 μM . The recoveries rate and RSD of lettuce, cucumber and tomato were in the range of 87.38%~114.12%. HPLC method

can effectively separate and determine MP pesticide residues in vegetables, and the operation is relatively simple and quick, the result is stable and accurate, which is suitable for the determination of MP in many vegetables.

References:

1. Anakwue, R. (2019). Cardiotoxicity of Pesticides: Are Africans at Risk? *Cardiovascular Toxicology*, 19(2), 95–104. Retrieved from <Go to ISI>://WOS:000464881100001. doi:10.1007/s12012-018-9486-7
2. Ashraf, H. N., Walayat, N., Saleem, M. H., Niaz, N., Hafeez, A., Atiq, M. N. & Ali, S. (2022). Determination of pesticide residues from grapes procured from different markets using through High Performance Liquid Chromatography (HPLC). *Pakistan Journal of Botany*, 54(2), 737-741. Retrieved from <Go to ISI>://WOS:000753045200003. doi:10.30848/pjb2022-2(19)
3. Chen, J. (2010). Study of the assay method for organophosphorus compounds. (Master master), Zhejiang Normal University Available from Cnki
4. Chen, Z. F., Zhang, Y., Yang, Y. Q., Shi, X. R., Zhang, L., & Jia, G. W. (2021). Hierarchical nitrogen-doped holey graphene as sensitive electrochemical sensor for methyl parathion detection. *Sensors and Actuators B-Chemical*, 336. Retrieved from <Go to ISI>://WOS:000639153000005. doi:10.1016/j.snb.2021.129721
5. Eddleston, M., Clutton, E., Taylor, M., Thompson, A., Worek, F., John, H. & Scott, C. (2020). Efficacy of an organophosphorus hydrolase enzyme (OpdA) in human serum and minipig models of organophosphorus insecticide poisoning. *Clinical Toxicology*, 58(5), 397-405. Retrieved from <Go to ISI>://WOS:000483827400001. doi:10.1080/15563650.2019.1655149
6. Fang, L., Jia, M. X., Zhao, H. P., Kang, L. Z., Shi, L. C., Zhou, L. D., & Kong, W. J. (2021). Molecularly imprinted polymer-based optical sensors for pesticides in foods: Recent advances and future trends. *Trends in Food Science & Technology*, 116, 387-404. Retrieved from <Go to ISI>://WOS:000701874600014. doi:10.1016/j.tifs.2021.07.039
7. Gao, J., Qu, H., Zhang, C. T., Li, W. J., Wang, P., & Zhou, Z. Q. (2017). Direct chiral separations of the enantiomers of phenylpyrazole pesticides and the metabolites by HPLC. *Chirality*, 29(1), 19-25. Retrieved from <Go to ISI>://WOS:000392433700004. doi:10.1002/chir.22661
8. Gonzalez-Gomez, L., Morante-Zarcelo, S., Pereira, J. A. M., Camara, J. S., & Sierra, I. (2022). Improved Analytical Approach for Determination of Tropane Alkaloids in Leafy Vegetables Based on micro-QuEChERS Combined with HPLC-MS/MS. *Toxins (Basel)*, 14(10). Retrieved from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/36287919>. doi:10.3390/toxins14100650.
9. Harshit, D., Charny, K., & Nrupesh, P. (2017). Organophosphorus pesticides determination by novel HPLC and spectrophotometric method. *Food Chemistry*, 230, 448-453. Retrieved from <Go to ISI>://WOS:000400533200054. doi:10.1016/j.foodchem.2017.03.083
10. Huang, X., & Huang, H. Q. (2012). Alteration of the kidney membrane proteome of *Mizuhopecten yessoensis* induced by low-level methyl parathion exposure. *Aquatic Toxicology*, 114, 189-199. Retrieved from <Go to ISI>://WOS:000303643700022. doi:10.1016/j.aquatox.2012.01.025
11. Jiang, J. W., Zhang, H. Y., Wang, C. L., & Xu, Y. (2016). Electrochemical Detection of Methyl Parathion in *Fritillaria thunbergii* Based on Acetylcholinesterase Immobilized Gold Nanosphere. *International Journal of Electrochemical Science*, 11(7), 5481-5489. Retrieved from <Go to ISI>://WOS:000384905600012. doi:10.20964/2016.07.31
12. Kalipci, E., Ozdemir, C., Oztas, F., & Sahinkaya, S. (2010). Ecotoxicological effects of Methyl parathion on living things and environment. *African Journal of Agricultural Research*, 5(8), 712-718. Retrieved from <Go to ISI>://WOS:000277860700019.
13. Khan, M. S. I., Lee, N. R., Ahn, J., Kim, J. Y., Kim, J. H., Kwon, K. H., & Kim, Y. J. (2021). Degradation of different pesticides in water by microplasma: the roles of individual radicals and degradation pathways. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(7), 8296-8309. Retrieved from <Go to ISI>://WOS:000577242600005. doi:10.1007/s11356-020-11127-x
14. Kumar, S., Kaushik, G., Dar, M. A., Nimesh, S., Lopez-Chuken, U. J., & Villarreal-Chiu, J. F. (2018). Microbial Degradation of Organophosphate Pesticides: A Review. *Pedosphere*, 28(2), 190–208. Retrieved from <Go to ISI>://WOS:000433156500003. doi:10.1016/s1002-0160(18)60017-7
15. Li, C. Y., Chen, L. G., & Li, W. (2013). Magnetic titanium oxide nanoparticles for hemimicelle extraction and HPLC determination of organophosphorus pesticides in environmental water. *Microchimica Acta*, 180(11-12), 1109-1116. Retrieved from <Go to ISI>://WOS:000322524100020. doi:10.1007/s00604-013-1029-0
16. Li, H., Zeng, E. Y., & You, J. (2014). Mitigating pesticide pollution in China requires law enforcement, farmer training, and technological innovation. *Environ Toxicol Chem*, 33(5), 963-971. Retrieved from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24753037>. doi:10.1002/etc.2549
17. Liao, X. P., Zhang, C. X., Liu, Y., Luo, Y. W., Wu, S. S., Yuan, S. H., & Zhu, Z. L. (2016). Abiotic degradation of methyl parathion by manganese dioxide: Kinetics and transformation pathway. *Chemosphere*, 150, 90-96. Retrieved from <Go to ISI>://WOS:000372765100012. doi:10.1016/j.chemosphere.2016.02.028
18. Liu, G. Z., Guo, W. Q., & Yin, Z. (2014). Covalent fabrication of methyl parathion hydrolase on gold nanoparticles modified carbon substrates for designing a methyl parathion biosensor. *Biosensors & Bioelectronics*, 53, 440-446. Retrieved from <Go to ISI>://WOS:000329881100068. doi:10.1016/j.bios.2013.10.025
19. Liu, H., Li xiaopeng, & Wenying., L. (2012). Determination of organophosphorus insecticides residues in dry cabbages by ultrasonic extraction -gas chromatography. *Journal of Zhongkai University of Agriculture and Engineering*, 25.

20. Liu, C., & Li, Y. (2015). Detection of Methyl Parathion in Tea. *China Fruit and Vegetable*, 35, 24–27.
21. Lu, J. X., Sun, Y. F., Waterhouse, G. I. N., & Xu, Z. X. (2018). A voltammetric sensor based on the use of reduced graphene oxide and hollow gold nanoparticles for the quantification of methyl parathion and parathion in agricultural products. *Advances in Polymer Technology*, 37(8), 3629-3638. Retrieved from <Go to ISI>://WOS:000457486100088. doi:10.1002/adv.22147
22. Muckoya, V.A., Nomngongo, P.N., & Ngila, J. C. (2020). Determination of organophosphorus pesticides in wastewater samples using vortex-assisted dispersive liquid–liquid microextraction with liquid chromatography–mass spectrometry. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 17(4), 2325-2336. doi:10.1007/s13762-020-02625-z.
23. Ng, T. K., Gahan, L. R., Schenk, G., & Ollis, D. L. (2015). Altering the substrate specificity of methyl parathion hydrolase with directed evolution. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 573, 59-68. Retrieved from <Go to ISI>://WOS:000353864100007. doi:10.1016/j.abb.2015.03.012
24. Pang, G. F., Fan, C. L., Zhang, F., Li, Y., Chang, Q. Y., Cao, Y. Z., & Liang, P. (2011). High-Throughput GC/MS and HPLC/MS/MS Techniques for the Multiclass, Multiresidue Determination of 653 Pesticides and Chemical Pollutants in Tea. *Journal of Aoac International*, 94(4), 1253-1296. Retrieved from <Go to ISI>://WOS:000294739300028.
25. Qiao, L. N., Qian, S. H., Wang, Y. H., & Lin, H. W. (2018). A colorimetric sensor array based on sulfuric acid assisted KMnO₄ fading for the detection and identification of pesticides. *Talanta*, 181, 305-310. Retrieved from <Go to ISI>://WOS:000426410500042. doi:10.1016/j.talanta.2018.01.029
26. Rana, S. M., Asi, M. R., Niazi, F., Sultana, S., Ghazala, & Al-Ghanim, K. A. (2011). Determination of organochlorine and nitrogen containing pesticide residues in *Labeo rohita*. *Toxicological and Environmental Chemistry*, 93(10), 1851-1855. Retrieved from <Go to ISI>://WOS:000299740800001. doi:10.1080/02772248.2011.585746
27. Saethre, M. G., Komlan, F. A., Svendsen, N. O., Holen, B., & Godonou, I. (2012, Jan 15-20). Pesticide Residues Analysis of Three Vegetable Crops for Urban Consumers in Benin - Human and Environmental Consequences of Abuse and Misuse of Synthetic Pesticides. Paper presented at the 2nd All Africa Horticulture Congress, Skukuza, SOUTH AFRICA.
28. Tan, J., Liu, X. Y., Zhao, L. M., Lu, Y., & Liu, Z. H. (2009). Simultaneous and Double-quick Analysis of Organophosphorus Pesticide Residues in Ginseng by Matrix Solid-phase Dispersion and High Pressure Liquid Chromatography. *Acta Chimica Sinica*, 67(20), 2385-2389. Retrieved from <Go to ISI>://WOS:000271760500020.
29. Vichapong, J., Burakham, R., & Srijaranai, S. (2016). Alternative Liquid-Liquid Microextraction as Cleanup for Determination of Neonicotinoid Pesticides Prior HPLC Analysis. *Chromatographia*, 79(5-6), 285-291. Retrieved from <Go to ISI>://WOS:000371436000002. doi:10.1007/s10337-016-3022-3
30. Wang, H., Cheng, Z. W., Yuan, H. P., Zhu, N. W., Lou, Z. Y., & Otieno, P. (2020). Occurrence of banned and commonly used pesticide residues in concentrated leachate: Implications for ecological risk assessment. *Science of the Total Environment*, 710. Retrieved from <Go to ISI>://WOS:000511088800098. doi:10.1016/j.scitotenv.2019.136287
31. Wang, Y. S., Chen, C. S., Cao, X. F., & Li, J. H. (2015). Determination of agrochemical residues in aquatic vegetables by solid-phase extraction combined with HPLC spectrometry analyses. *Research on Chemical Intermediates*, 41(5), 2841-2853. Retrieved from <Go to ISI>://WOS:000352483300017. doi:10.1007/s11164-013-1393-8
32. Wei, L., Zhu, N. Z., Liu, X., Zheng, H. Y., Xiao, K. Y., Huang, Q. H., & Cai, M. H. (2022). Application of Hi-throat/Hi-volume SPE technique in assessing organophosphorus pesticides and their degradation products in surface water from Tai Lake, east China. *Journal of Environmental Management*, 305. Retrieved from <Go to ISI>://WOS:000741816000002. doi:10.1016/j.jenvman.2021.114346
33. Yu, R., Liu, Q., Liu, J. S., Wang, Q. C., & Wang, Y. (2016). Concentrations of organophosphorus pesticides in fresh vegetables and related human health risk assessment in Changchun, Northeast China. *Food Control*, 60, 353-360. Retrieved from <Go to ISI>://WOS:000364882900046. doi:10.1016/j.foodcont.2015.08.013
34. Zhao, Z. F., Dong, M. L., Bai, L., & Cao, K. Q. (2013). The pesticide application in major apple-producing areas of China and the evaluation of environment effects. Paper presented at the International Conference on Manufacture Engineering and Environment Engineering (MEEE), Hong Kong, PEOPLES R CHINA.

Лі Фанг, аспірантка, Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна; Хенанський інститут науки і технології, м. Хенань, КНР

Визначення метилпаратіону в овочах методом високоефективної рідинної хроматографії

Фосфорорганічні пестициди є одними з найбільш широко використовуваних інсектицидів, які головним чином використовуються на зернових, овочевих культурах та фруктах. Метилпаратіон – це різновид фосфорорганічного пестициду, який відноситься до нервово-паралітичної речовини. Він може спричиняти різного ступеня отруєння людини та худоби, а також викликати серйозне забруднення навколишнього середовища. Тому велике значення має встановлення ефективного методу виявлення залишків метилпаратіону в сільськогосподарській продукції. Визначення метилпаратіону часто проводиться за допомогою газової хроматографії, але через сильну полярність і термічну нестійкість метилпаратіону цей метод визначення має певні труднощі. Для тестування залишків метилпаратіону в овочах був досліджений метод високоефективної рідинної хроматографії (ВЕРХ), а також хроматографічні умови для екстракції, очищення та виявлення зразків. В овочевій продукції досить складно визначити залишкову кількість пестицидів. Основні залишкові компоненти нелегко розділити, збагатити і очистити, тому виявлення супутніх пестицидів не є точним. Дослідним шляхом було встановлено такі оптимальні умови для проведення хроматографічних досліджень: співвідношення метанолу до води (73:27) як рухомої фази та довжина хвилі виявлення ультрафіолету 270 нм. Більше того, метод QuEChERS (Швидко, Легко, Дешево, Ефективно, Надійно, Безпечно) – нова технологія попередньої обробки для виявлення залишків пестицидів у сільськогосподарських продуктах, розроблена в світі останніми роками, була використана для

попередньої обробки трьох видів овочів, а PSA та GCB були обрані, у підсумку, як очисні агенти для попередньої обробки зразків. Результати експерименту показали, що хроматографічна площа піку метилпаратіону демонструє пряму лінійну залежність з його концентрацією в діапазоні 0,05 мкМ~20 мкМ, а стандартне рівняння кривої дорівнює $Y=4833,5x-32,64$, коефіцієнт кореляції становить 99,96%. Середній вміст метилпаратіону в трьох видах овочів (салат, огірок і помідор) становив від 87,38% до 114,12% при трьох рівнях визначення 0,5, 2 і 8 мкМ, а відносне стандартне відхилення (RSD) становило від 1,72% до 6,2%. Цей метод має переваги простоти роботи, точності та надійності та підходить для виявлення залишків пестицидів (метилпаратіону) у різних овочах.

Ключові слова: Метилпаратіон, залишки пестицидів, високоефективна рідинна хроматографія.

ВПЛИВ СИСТЕМИ МІНЕРАЛЬНОГО ЖИВЛЕННЯ НА РОБОТУ ЛИСТОВОГО АПАРАТУ РОСЛИН ПШЕНИЦІ ОЗИМОЇ

Білоусова Зоя Володимирівна

кандидат сільськогосподарських наук, доцент

Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного, м. Запоріжжя, Україна

ORCID: 0000-0001-9687-7920

zoiazolotukhina@gmail.com

Кеєва Вікторія Анатоліївна

аспірантка

Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного, м. Запоріжжя, Україна

ORCID: 0000-0002-4890-651X

viktoriyakeneva@gmail.com

Для забезпечення оптимального поживного режиму рослин пшениці озимої необхідно узгодити систему удобрення із біологічними особливостями культури. Даний агрозахід сприяє активному формуванню листової поверхні рослин, що в подальшому проявляється у формуванні високого врожаю із гарними показниками якості зерна. Метою дослідження було визначення ефективності застосування мінеральних добрив у якості припосівного внесення та позакореневого підживлення рослин пшениці озимої.

Дослідження проводилися із використанням припосівного внесення калійних добрив та позакореневого підживлення карбамідом (N), сульфатом магнію (Mg) та монофосфатом калію (Pk) для сорту пшениці озимої Шестопалівка в умовах Науково-навчального центру Таврійського державного агротехнологічного університету імені Дмитра Моторного.

Площа листової поверхні рослин пшениці озимої сорту Шестопалівка коливалася в межах 15,85–48,46 тис. м²/га залежно від фази розвитку та варіанту досліду і залежала від системи мінерального живлення. Найвищі значення вказаного показника на рівні 39,29–48,46 тис. м²/га були відмічені у фазу виходу в трубку. Найбільший приріст площі листової поверхні в середньому за період вегетації було відмічено при застосуванні повного комплексу добрив для позакореневого підживлення (N+Mg+Pk) на фоні припосівного внесення K₁₂, який становив 14% порівняно з контролем.

Найвищі значення чистої продуктивності фотосинтезу на рівні 9,83–10,53 г/м² за добу для сорту Шестопалівка було відмічено у міжфазний період куціння-вихід в трубку. Встановлено, що припосівне внесення K₁₂ сприяло зростанню ЧПФ лише в міжфазний період вихід в трубку–колосіння – у 1,76 рази порівняно із варіантами без його внесення. В цілому більші значення показника ЧПФ було зафіксовано за використання припосівного внесення калійних добрив сумісно із позакореневим підживленням N+Mg+Pk – в середньому за період вегетації на 15% більше, порівняно із варіантом N+Mg+Pk на фоні K₀.

Таким чином, внесення досліджуваних мінеральних добрив сприяло активному росту рослин пшениці озимої та розвитку їх листової поверхні, що забезпечило стабільну роботу фотосинтетичного апарату і в подальшому вплинуло на формування продуктивності посівів.

Ключові слова: *площа листової поверхні, чиста продуктивність фотосинтезу, припосівне внесення добрив, позакореневе підживлення.*

DOI <https://doi.org/10.32845/agrobio.2022.3.2>

Вступ. Внесення мінеральних добрив є потужним засобом підвищення врожайності сільськогосподарських культур (Групух, 2019). За допомогою мінерального живлення відбувається регулювання росту та розвитку рослин для подальшого формування високого врожаю доброї якості. За рахунок тривалого використання добрив зберігається родючість ґрунту, рослини оптимальніше забезпечуються елементами живлення. Таким чином відбувається інтенсивний ріст рослин, накопичення біомаси, що призводить до збільшення врожайності та покращення якості продукції (Dzanagov et al., 2019). Формування оптимального поживного режиму рослин є одним із найважливіших елементів технології вирощування пшениці озимої. За результатами досліджень (Hospodarenko et al., 2021) тривале внесення мінеральних добрив сприяло підвищенню врожайності пшениці озимої на 3,68 т/га.

Основа положення сучасної теорії фотосинтетичної продуктивності полягає в тому, що врожай рослин насамперед залежить від сумарної фотосинтетичної продукції. Вона визначається не тільки інтенсивністю фотосинтезу, але й розмірами листя та тривалістю їх роботи (Ionova et al., 2020). Фотосинтез, як і дихання є основними детермінантами вуглецевого балансу та росту рослин пшениці, і обидва чутливі до високої температури (Posch et al., 2019). Оптимальний поживний режим здатен підсилювати фотосинтетичну діяльність рослин, сприяти одержанню високих і якісних врожаїв, значною мірою підвищувати економічну та енергетичну ефективність галузі рослинництва (Vozhehova & Serhieiev, 2018). Оптимізація роботи фотосинтетичного апарату може збільшити зернову продуктивність на 10–60 % (Lobunskaja et al., 2021).

Розмір листового апарату залежить від агротехнічних, кліматичних і біологічних факторів. Важливо для отримання високого врожаю зберегти більшу частину листової поверхні протягом усього періоду вегетації рослин. Висока асиміляційна здатність підвищує процес цвітіння і зростання кількості зерен у колосі.

Підживлення значно впливає на протікання процесу фотосинтезу та розмір листової поверхні (Voznesenskaja & Mozharova, 2021). В останні роки проведення позакореневого підживлення рослин набуло достатнього поширення, передусім, за рахунок високої економічної рентабельності. При обробці рослин механізм поглинання речовин суттєво не відрізняється від поглинання їх кореневою системою. Водні розчини проникають у листок через його продихи та багатощарову кутикулу (Намаїунова et al., 2017). Тому позакореневе внесення добрив все частіше використовується в сільськогосподарській практиці для отримання максимального врожаю пшениці озимої. Внесення добрив через листя важливе доповнення до елементів живлення, які внесені в ґрунт. З його допомогою можна ефективно усунути дефіцит поживних речовин і використовувати як основний метод забезпечення рослин необхідними мікроелементами (Janowski et al., 2016).

Врожайність сільськогосподарських культур в значній мірі залежить від наявності і доступності, в першу чергу, азоту в ґрунті. Для отримання максимального врожаю він повинен бути доступним в критичні періоди розвитку рослин (Grzebisz, 2013). Результати досліджень проведених Noor H. зі співробітниками (Noor, et al. 2021) свідчать, що азот покращує фотосинтетичні характеристики прапорцевого листка та вміст азоту в рослинах і тим самим забезпечує високий урожай культури в посушливих умовах.

Високий фон мінерального живлення та проведення позакореневої обробки карбамідом мають позитивний вплив на функціонування фотосинтетичного апарату, продуктивність і якість зерна пшениці озимої (Shegeda et al., 2018). Разом з тим, позакореневе живлення пшениці озимої карбамідом з одного боку виступає як своєрідний стрес для рослин, з іншого – як чинник, що стимулює запуск захисних механізмів, зокрема й активацію роботи антиоксидантних ферментів (Mamenko et al., 2017). Існує інформація, що застосуванні магнію сумісно із азотними добривами підвищує ефективність фотосинтезу за рахунок послаблення їх стресового впливу, що сприяє підвищенню врожайності та збільшенню маси зерна (Ba et al., 2020).

Фосфор та калій важливі елементи живлення, які суттєво впливають на масу зерна і врожайність пшениці озимої. Ефективне використання фосфорних добрив може продовжити термін служби запасів фосфору в ґрунті, а також знизити екологічний ризик, пов'язаний з надмірним внесенням фосфорних добрив у всьому світі (Dhillon et al., 2017).

У природних умовах аніони фосфорної кислоти є головним джерелом фосфору для рослин. Монокалій фосфат це поширене мінеральне водорозчинне добриво, яке застосовують для позакореневого та коре-

невого підживлення і фертигації. Воно містить фосфорнокислі солі одновалентних катіонів, які є цінним джерелом фосфору для сільськогосподарських культур. Застосування фосфатів дає позитивний вплив на урожай зерна, збільшуючи масу сухої речовини надземної частини рослин. Позакореневе застосування фосфору впливає на врожайність зерна пшениці, виробництво сухої речовини після цвітіння пагонів та збільшує поглинання фосфору після цвітіння (Zambrosi, 2019).

За результатами досліджень Ковалишина та Шевченко (Kovalyshyn & Shevchenko, 2020), проведення позакореневого підживлення фосфоромісними добривами призводить до збереження активності фотосинтетичного апарату й уповільненню процесів його старіння в ході репродуктивного розвитку рослин пшениці озимої.

Врожайність пшениці озимої зазвичай підвищується за рахунок застосування трьох (N + P + K) або чотирьох (N + P + K + S) поживних речовин у комбінації (Duncan et al., 2018). Maria Mussarat, Muhammad Shair стверджують, що дефіцит азоту і фосфору є основним фактором, що обмежує урожай. Правильне керування ними відіграє важливу роль в оптимізації врожайності (Maria Mussarat et al., 2021). Адже сумісне застосування азотно-фосфорних добрив під передпосівну культивування та у позакореневу обробку оптимізує формування площі листової поверхні рослин пшениці озимої та її тривале активне функціонування (Panfilova & Namaiunova, 2018).

Азотно-фосфорно-калійні добрива мають високу ефективність комплексного застосування для позакореневої обробки рослин пшениці озимої в стадію ВВСН 31 як на фоні припосівного внесення калійних добрив, так і без нього (Bilousova et al., 2021).

Внесення калію та фосфору через листя в основному використовується для вирощування пшениці в посушливих районах (Xiaokang et al., 2017). Також з'ясовано (Wang et al., 2020), що продуктивність сухої речовини та врожайність зерна досягали максимальних значень при додатковому внесенні калію. Калій є другою найбільш поширеною поживною речовиною у фотосинтетичних процесах рослин після азоту. Поглинання калію в умовах посухи відіграє все більш важливу роль у визначенні функції та виживання рослинних угруповань (Sardans & Peñuelas, 2015).

Отже застосування добрив значно впливає на функціонування листової поверхні рослин пшениці озимої. Вони сприяють активному поглинанню фотосинтетичної активної радіації посівами пшениці озимої, але досягти їх максимального ефекту можливо лише в поєднанні з іншими агротехнологічними заходами (Vozhehova & Serhieiev, 2018).

Метою нашого дослідження було визначення ефективності застосування мінеральних добрив у якості припосівного внесення та позакореневого підживлення рослин пшениці озимої сорту Шестопапівка.

Матеріали і методи досліджень. Дослідження проводилися впродовж 2018-2021 рр. в умовах Науково-навчального центру і лабораторії моніторингу якості ґрунтів та продукції рослинництва Таврійського дер-

жавного агротехнологічного університету імені Дмитра Моторного.

Схема досліду включала наступні варіанти:

Фактор А – припосівне внесення калійних добрив: 1. K_0 + фон $N_{16}P_{20}S_{15}$; 2. K_{12} + фон $N_{16}P_{20}S_{15}$. У якості калійного добрива було використано сульфат калію. $N_{16}P_{20}S_{15}$ було внесено у вигляді суперфосфату амонізованого.

Фактор В – позакореневе підживлення рослин у фазу початку виходу в трубку: 1. контроль – карбамід (N); 2. карбамід + сульфат магнію (N+Mg); 3. карбамід + сульфат магнію + монофосфат калію (N+Mg+PK). Норма витрати карбаміду – 10 кг/га, сульфату магнію – 2 кг/га, монофосфату калію – 1 кг/га.

Площу листового апарату було визначено методом висічок (Hrytsaienko et al., 2003). З 10 повноцінно розвинених для конкретної фази рослин зривали цілі листочки і зважували. Потім за допомогою коркового свердла (металевої трубки із загостреними кінцями) брали з листків по 50 висічок та зважували. Загальну листову площу листя у пробі визначали за формулою:

$$P = \frac{Mnk}{m}$$

де P – загальна площа листя у пробі, cm^2 ;

M – маса листя в пробі, г;

n – площа однієї висічки, cm^2 ;

k – кількість висічок, шт;

m – маса висічок, г.

Для отримання чистої продуктивності фотосинтезу визначали загальну масу рослин, окремих органів та площу листя. Розраховували даний показник за формулою (Nichiporovich, 1969):

$$ЧПФ = \frac{B_2 - B_1}{0,5(L_1 + L_2) \cdot n}$$

де, ЧПФ – чиста продуктивність фотосинтезу, $г/см^2$ за добу;

B_1 і B_2 – маса сухої речовини рослин на початку і в кінці облікового періоду, г;

$(B_2 - B_1)$ – приріст маси сухої речовини за n днів, г;

L_1 і L_2 – площа листків на початку і в кінці облікового періоду, m^2 ;

0,5 ($L_1 + L_2$) – середня робоча площа листової поверхні за час досліду;

n – період між двома спостереженнями, днів.

Отримані дані обчислювали статистично за допомогою програм Microsoft Excel та Agrostat new (Hrytsaienko et al., 2003).

Результати. Раціональна система удобрення сільськогосподарських культур сприяє активному розвитку листової поверхні рослин, що позитивно впливає на процес проходження фотосинтезу та в подальшому на нагромадження сухих речовин, а відповідно і на зростання врожайності в цілому. Важливим етапом в загальній системі удобрення пшениці озимої є внесення добрив на початку відновлення весняної вегетації для забезпечення базових потреб рослин на даному етапі розвитку (Klipakova et al., 2021), адже саме в цей період починається закладка репродуктивних органів (Kalenska et al., 2015). Таке внесення добрив забезпечує формування оптимальної площі листової поверхні та тривалість її активного функціонування протягом усього весняного періоду вегетації (Panfilova & Namaiunova, 2018).

Результати проведених досліджень показують, що внесення добрив як при посіві, так і для позакореневого підживлення рослин сприяли зростанню площі листової поверхні протягом усього періоду вегетації (табл. 1).

Застосування калійних добрив при посіві пшениці озимої сприяло зростанню площі листової поверхні, починаючи з фази виходу в трубку, на 9-12% залежно від фази розвитку рослин, порівняно із варіантами без його застосування.

Характер впливу позакореневого підживлення пшениці озимої у фазу початку виходу в трубку залежав від припосівного внесення добрив. Додавання до бакової

Таблиця 1

Динаміка формування площі листової поверхні залежно від досліджуваного фактору в середньому за 2018–2021 рр., тис. m^2 /га

| Припосівне внесення добрив (фактор А) | Позакореневе підживлення (фактор В) | Площа листової поверхні в фазу розвитку | | | |
|---------------------------------------|-------------------------------------|---|----------------|------------|-------------------|
| | | кущіння | вихід в трубку | колосіння | молочна стиглість |
| K_0 | N (контроль) | 20,32±0,53 | 39,29±0,80 | 38,87±0,73 | 15,85±0,72 |
| | N + Mg | 23,08±0,37 | 41,99±0,82 | 40,39±0,71 | 16,58±0,79 |
| | N + Mg + PK | 22,89±0,45 | 43,74±0,75 | 42,05±0,77 | 16,74±0,66 |
| Середнє по фактору А | | 22,10 | 41,67 | 40,44 | 16,39 |
| K_{12} | N (контроль) | 19,80±0,53 | 44,10±0,77 | 40,54±0,83 | 16,89±0,73 |
| | N + Mg | 22,66±0,50 | 47,34±0,69 | 45,13±0,64 | 18,32±0,88 |
| | N + Mg + PK | 24,47±0,46 | 48,46±0,71 | 46,00±0,72 | 18,86±0,75 |
| Середнє по фактору А | | 22,31 | 46,63 | 43,89 | 18,02 |
| Середнє по фактору В | N (контроль) | 20,06 | 41,70 | 39,71 | 16,37 |
| | N + Mg | 22,87 | 44,67 | 42,76 | 17,45 |
| | N + Mg + PK | 23,68 | 46,10 | 44,03 | 17,80 |
| НІР ₀₅ для: | фактора А | 0,16 | 0,12 | 0,11 | 0,14 |
| | фактора В | 0,14 | 0,11 | 0,10 | 0,12 |

суміші для обробки рослин сульфату магнію як окремо (N + Mg), так і в комплексі з монофосфатом калію (N + Mg + PK) на фоні внесення азотного добрива сприяло зростанню площі листової поверхні на 4–14% без припосівного внесення калійних добрив та на 7–24% із його застосуванням, порівняно із контрольним варіантом. Тобто ефективність позакореневого підживлення на формування площі листової поверхні рослинами пшениці озимої в значній мірі залежить від забезпечення оптимальних умов живлення на початкових етапах росту і розвитку рослин.

Статистична обробка проведених досліджень показала, що на формування площі листової поверхні рослинами пшениці озимої значний вплив мало як припосівне внесення добрив (39,8 %), так і позакоренево підживлення рослин (51,2 %).

Чиста продуктивність фотосинтезу – інтегральний показник, за допомогою якого можна оцінити загальну продуктивність посіву. Це один із важливих елементів, який характеризує потенційні можливості рослин щодо формування врожайності та залежить від площі асиміляційної поверхні, тривалості вегетації та доступності певних факторів життя (Mazurenko & Novytska, 2020).

Важлива особливість фотосинтетичної діяльності рослин є здатність накопичувати органічну речовину за рахунок високої продуктивності фотосинтезу (Panfilova & Namiunova, 2018).

Як показують результати проведених досліджень, величина чистої продуктивності фотосинтезу (ЧПФ) в значній мірі залежала від системи удобрення досліджуваної культури (табл. 2).

Застосування припосівного внесення калійних добрив мало позитивний ефект на величину ЧПФ лише у міжфазний період вихід в трубку – колосіння, що проявилось у зростанні вказаного показника у 1,76 рази порівняно із варіантами без його внесення.

Позакоренева обробка рослин пшениці озимої сприяла зростанню величини ЧПФ в міжфазні періоди куціння – вихід у трубку та колосіння – молочна стиглість як на фоні внесення калійних добрив при посіві, так і без

такого агрозаходу. Так, значення ЧПФ у вказані періоди за використання сульфату магнію сумісно з карбамідом для обробки рослин зростало на 3–4% на фоні K_0 та на 2% на фоні K_{12} порівняно з контролем. Додавання до бакової суміші монофосфату калію сприяло подальшому зростанню ЧПФ на 4–6% на фоні K_0 та на 3–5% на фоні K_{12} порівняно з контролем.

Статистична обробка проведених досліджень підтверджує отримані результати. Так, найбільшу частку впливу на величину ЧПФ мало припосівне внесення калійних добрив (93,2 %), в той час як вплив позакореневої обробки та сумісної дії досліджуваних факторів на вказаний процес був на рівні лише 1,0 %.

Обговорення. Загальновідомо, що площа листової поверхні та ефективність її функціонування в значній мірі впливають на величину врожайності пшениці озимої (Lyfenko et al., 2021). Як показано вище, система удобрення пшениці озимої, яка була використана у досліді, мала позитивний вплив, як на формування площі листової поверхні рослин, так і загальну продуктивність посівів. Отримані нами дані досить добре підтверджуються результатами інших досліджень. Так, у досліді групи вчених (Hospodarenko, 2020) визначено, що величина площі листової поверхні змінювалася залежно від доз мінеральних добрив і у початковий період вегетації збільшувалась в 1,2–1,4 рази порівняно із неудобреним фоном. Аналогічні результати були отримані в інших дослідженнях, проведених в умовах Півдня України (Vozhehova & Serhieiev, 2018). Так, суттєве збільшення площі листової поверхні відмічалось у варіантах, де було поєднано осіннє внесення добрив із підживленням пшениці озимої у період весняної вегетації. Порівняно з контролем досліджуваний показник підвищився відповідно на 24,2 та 30,1 тис м²/га або на 53,1–58,5 %.

Навіть невелика доза калію (K_{12}), внесена при посіві пшениці озимої, за умови забезпечення іншими макроелементами ($N_{16}P_{20}$) здатна впливати на розвиток асимілюючої поверхні. Аналогічні дані були отримані при застосуванні комбінації $N_{16}P_{16}K_{16}$ при посіві (Namiunova & Smirnova, 2015), які підтверджують, що на накопичення

Таблиця 2

Чиста продуктивність фотосинтезу в середньому за 2018–2021 рр., г/м² · добу

| Припосівне внесення добрив (фактор А) | Позакоренево підживлення (фактор В) | Міжфазний період | | |
|---------------------------------------|-------------------------------------|------------------------|--------------------------|-----------------------------|
| | | куціння-вихід в трубку | вихід в трубку-колосіння | колосіння-молочна стиглість |
| K_0 | N (контроль) | 10,11±0,62 | 5,99±0,33 | 6,51±0,45 |
| | N + Mg | 10,53±0,57 | 5,33±0,43 | 6,68±0,34 |
| | N + Mg + PK | 10,50±0,53 | 5,85±0,45 | 6,92±0,35 |
| Середнє по фактору А | | 10,38 | 5,72 | 6,70 |
| K_{12} | N (контроль) | 9,88±0,63 | 10,15±0,39 | 6,11±0,41 |
| | N + Mg | 9,83±0,41 | 10,39±0,49 | 6,21±0,52 |
| | N + Mg + PK | 10,33±0,45 | 9,69±0,54 | 6,27±0,46 |
| Середнє по фактору А | | 10,01 | 10,08 | 6,20 |
| Середнє по фактору В | N (контроль) | 10,00 | 8,07 | 6,31 |
| | N + Mg | 10,18 | 7,86 | 6,45 |
| | N + Mg + PK | 10,42 | 7,77 | 6,60 |
| НІР ₀₅ для: | фактора А | 0,11 | 0,09 | 0,12 |
| | фактора В | 0,21 | 0,13 | 0,10 |

площі листової поверхні та фотосинтетичну діяльність рослин пшениці озимої та в кінцевому підсумку на рівень урожайності зерна істотно впливають фони живлення, сформовані внесенням до сівби, і співвідношення мінеральних добрив.

Традиційно для позакореневого підживлення пшениці озимої використовується внесення азотних добрив, які здатні збільшити асиміляційну поверхню посіву. Так, існують дані, що проведення позакореневого підживлення азотним добривом у фазу початку трубкування дозою N_{60} дозволило збільшити площу листя до 43,2 тис $m^2/га$ або на 24,8 % порівняно із неудобреним фоном (Polishchuk, 2020). Однак в посушливих умовах Півдня України внесення такої кількості діючої речовини азоту може призвести до пошкодження рослин внаслідок негативного впливу високих температур повітря під час внесення. Тому для посушливих умов доцільнішим є використання низьких доз азоту із сумісним внесенням сульфату магнію, що сприяє підвищенню ефективності процесу фотосинтезу, оскільки обидва елементи є основними компонентами хлорофілу (Klirakova et al., 2021).

Сумісне використання в системі удобрення культури припосівного внесення калійних добрив на фоні внесення $N_{16}P_{20}$ та позакореневого підживлення у фазу початку виходу в трубку комплексом азотно-фосфорно-калійних добрив із додаванням сульфату магнію мало найвищу ефективність на зростання площі листової поверхні та чистої продуктивності фотосинтезу. Отримані дані дають підставу вважати, що внесення навіть невеликої

кількості діючої речовини кожного окремого елементу живлення при поєднанні їх у комплексну систему, сприяє зростанню їх симбіотичної взаємодії, що і проявляється у збільшенні продуктивності культури.

Отриманий нами ефект підвищення урожайності пшениці озимої за рахунок корегування системи живлення виявився дещо нижчим ефекту від застосування комплексних водорозчинних добрив для позакореневого підживлення сумісно із фоновим внесенням класичних макродобрив (Bordiuzha, 2011; Sviderko et al., 2015). Разом з тим, отримані дані дають підставу стверджувати про доцільність застосування низьких доз основних макроелементів при їх комплексному поєднанні в системі живлення пшениці озимої в умовах Південного Степу України.

Висновки. Результати досліджень застосування мінеральних добрив у якості припосівного внесення та позакореневого підживлення пшениці озимої сорту Шестопалівка в умовах Південного Степу України показали наступне:

- припосівне внесення калійних добрив у дозі K_{12} сприяло більш інтенсивному формуванню площі листової поверхні рослинами пшениці озимої;
- застосування для позакореневого підживлення комбінації $N + Mg + PK$ сприяло зростанню площі асимілюючої поверхні на 6–24% як на фоні припосівного внесення калійних добрив, так і без нього;
- на ефективність роботи листового апарату рослин в більшій мірі впливає стартове внесення добрив, аніж їх застосування в період вегетації рослин.

Бібліографічні посилання:

1. Ba, Q., Zhang, L., Chen, S., Li, G., & Wang, W. (2020). Effects of foliar application of magnesium sulfate on photosynthetic characteristics, dry matter accumulation and its translocation, and carbohydrate metabolism in grain during wheat grain filling. *Cereal Research Communications*, 48(2), 157–163. doi: 10.1007/s42976-020-00026-z
2. Bilousova, Z. V., Kenieva, V. A., & Klirakova, Y. O. (2021). Osoblyvosti roboty pihmentnoho kompleksu roslin pshenytsi ozymoi zalezno vid sposobu vnesennia dobriv [Peculiarities of pigment complex functioning of winter wheat plants depending on the fertilizer application method]. *Roslynyntstvo ta gruntoznavstvo*, 12(3), 7–16. (in Ukrainian). doi:10.31548/agr2021.03.007
3. Bordiuzha, N. P. (2011). Vplyv pozakorenevoho pidzhyvlennia na chystu produktyvnist fotosyntezy verkhnikh yarusiv lystkiv pshenytsi ozymoi [The effect of foliar application on neat productivity of photosynthesis of leaves of winter wheat]. *Naukovi dopovidi NUBiP*, 2(24) (in Ukrainian).
4. Chen, X., Zhang, W., Liang, X., Liu, Y., Xu, S., Zhao, Q. & Zou, C. (2019). Physiological and developmental traits associated with the grain yield of winter wheat as affected by phosphorus fertilizer management. *Scientific Reports*, 9(1). doi: 10.1038/s41598-019-53000-z
5. Duncan, E. G., O'Sullivan, C. A., Roper, M. M., Biggs, J. S., & Peoples, M. B. (2018). Influence of co-application of nitrogen with phosphorus, potassium and sulphur on the apparent efficiency of nitrogen fertiliser use, grain yield and protein content of wheat: Review. *Field Crops Research*, 226, 56–65. doi: 10.1016/j.fcr.2018.07.010
6. Dhillon, J., Torres, G., Driver, E., Figueiredo, B., & Raun, W. R. (2017). World Phosphorus Use Efficiency in Cereal Crops. *Agronomy Journal*, 109(4), 1670–1677. doi: 10.2134/agronj2016.08.0483
7. Dzanagov, S. X., Lazarov, T. K., Kaloev, B. S., Kubatieva, Z. A., & Kalagova, R. V. (2019). Vlijanie dlitel'nogo primenenija udobrenij na pokazateli rosta, urozhajnost i kachestvo zerna ozymoj pshenicy [Effect of long-term fertilization on growth indicator, yield and quality of winter wheat grain]. *Agrohimija*, (4), 31–38 (in Russian). doi: 10.1134/s0002188119020066
8. Hamaiunova, V. V., Dvoret'skyi, V. F., Sydiakina, O. V., & Hlushko, T. V. (2017). Formuvannia nadzemnoi masy yarykh pshenytsi ta trytkale pid vplyvom optymizatsii yikh zhyvlennia na pivdni Ukrainy [Formation of a precious mass of straw wheat and triticale under influence of the optimization of their food on the south of Ukraine]. *Visnyk Zhytomyrskoho natsionalno ahroekolohichnoho universytetu*, 2 (61), t. 1, 20–28 (in Ukrainian).
9. Hamaiunova, V. V., & Smirnova, I. V. (2015). Formuvannia produktyvnosti pshenytsi ozymoi zalezno vid umov vyroshchuvannia v pivdenomu stepu [Formation of wheat productivity winter depending on the growing conditions in the southern steppe]. *Zbirnyk naukovykh prats NNTS "Instytut zemlerobstva NAAN"*, (4), 46–51 (in Ukrainian).
10. Hospodarenko, H. M., Chernov, O. D., Ryabovol, Y. S., Liubych, V. V., & Kryzhanovskiy, V. H. (2020). Rist i rozvytok pshenytsi ozymoi u vesniano-litnii period vechetatsii zalezno vid umov mineralnoho zhyvlennia v Pravoberezhnomu lisostepu

Ukrainy [Growth and development of winter wheat in the spring-summer period of vegetation depending on conditions of mineral nutrition in the right bank of Lisosteppe of Ukraine]. *Visnyk Umans'koho natsionalnoho universytetu sadivnytstva*, 2, 3–8 (in Ukrainian). doi: 10.31395/2310-0478-2020-2-3-8

11. Hospodarenko, H. M., Martyniuk, A. T., & Boiko, V. P. (2021). Produktivnist polovoї sivozminy u razi kaliidefitsnoi systemy udobrennia [The productivity of field crop rotation under potassium deficient fertilization system]. *Visnik Poltavskoi derzhavnoi ahrarnoi akademii*, (1), 28–36 (in Ukrainian). doi: 10.31210/visnyk2021.01.03

12. Hrytsaienko, Z. M., Hrytsaienko, A. O., & Karpenko, V. P. (2003). *Metody biolohichnykh ta ahrokhimichnykh doslidzhen roslyn i hruntiv* [Methods of biological and agrochemical studies of plants and soils]. Kyiv: ZAT «Nichlava», 320 (in Ukrainian).

13. Grynyk, S. I. (2019). Produktivnist pshenytsi yaroї zalezno vid obrobitku gruntu ta systemy udobrennia v umovakh Peredkarpattia [Productivity of spring wheat depending on methods of the basic soil tillage and fertilizer systems in the Pre carpathian conditions]. *Agrology*, 2(1), 41–46 (in Ukrainian). doi: 10.32819/2617-6106.2018.14016

14. Grzebisz, W. (2013). Crop response to magnesium fertilization as affected by nitrogen supply. *Plant and Soil*, 368(1–2), 23–39. doi: 10.1007/s11104-012-1574-z

15. Ionova, E. V., Gaze, V. L., & Lihovidova, V. A. (2020). Fotosinteticheska deyatelnost i dinamika nakoplenija suhoj massy rastenij ozymoi myagkoj pshenicy v zavisimosti ot uslovij vyrashhivaniya [Photosynthetic activity and dynamics of dry mass of plants accumulation of winter soft wheat, depending on growing conditions]. *Zernovoe hozjajstvo Rossii*, (1(67)), 23–27 (in Russian). doi: 10.31367/2079-8725-2020-67-1-23-27

16. Jankowski, K., Jankowski, K., Hulanicki, P. S., Sokólski, M., Dubis, B., & Hulanicki, P. (2016). Yield and quality of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) in response to different systems of foliar fertilization. *Journal of Elementology*, (3/2016). doi: 10.5601/jelem.2015.20.4.1036

17. Kalenska, S. M., Yermakova, L. M., Palamarchuk, V. D., Polishchuk, I. S., & Polishchuk, M. I. (2015). *Systemy suchasnykh intensyvykh tekhnolohii u roslynyntstvi* [Systems of modern intensive technologies in crop production]. FOP Rohalska I.O., Vinnytsia, 448 (in Ukrainian).

18. Klipakova, Y. O., Bilousova, Z. V., & Kenieva, V. A. (2021). Funktsionuvannia asymiliatsiinoho aparatu roslyn pshenytsi ozymoi zalezno vid strokiv ta sposobu vnesennia dobryv [Functioning of the assimilation apparatus of winter wheat plants depends on terms and method of fertilizer application]. *Zroshuvane zemlerobstvo*, (76), 30–35 (in Ukrainian). doi: 10.32848/0135-2369.2021.76.6

19. Klipakova, Y. O., Bilousova, Z. V., & Kenieva, V. A. (2021). Vplyv strokiv ta sposobu vnesennia dobryv na formuvannia produktivnosti roslyn pshenytsi ozymoi [The influence of dates and methods of fertilizer application on the formation of winter wheat plants productivity]. *Tavriyskiy naukovy visnyk*, (120), 53–60 (in Ukrainian). doi: 10.32851/2226-0099.2021.120.8

20. Kovalyshyn, I. B., & Shevchenko, V. V. (2020). Vplyv fosfatu i fosfitu na stan fotosyntetichnoho aparatu roslyn pshenytsi [Phosphate and phosphite: influence on the state of wheat photosynthetic apparatus]. *Fiziolohiia roslyn i henetyka*, 52(6), 507–517 (in Ukrainian). doi: 10.15407/frg2020.06.507

21. Lobunskaja, I. A., Ionova, E. V., & Lihovidova, V. A. (2021). Vlijanie zasushlyvykh uslovij na urozhajnost i elementy fotosinteticheskoj dejatel'nosti ozymoi mjagkoj pshenicy [The effect of arid conditions on productivity and elements of photosynthetic activity of winter soft wheat]. *Agrarnaja nauka*, (2), 74–77 (in Russian). doi: 10.32634/0869-8155-2021-345-2-74-77

22. Lv, X., Han, J., Liao, Y., & Liu, Y. (2017). Effect of phosphorus and potassium foliage application post-anthesis on grain filling and hormonal changes of wheat. *Field Crops Research*, 214, 83–93. doi: 10.1016/j.fcr.2017.09.001

23. Lyfenko, S. P., Nakonechnyj, M. Y., & Narhan, T. P. (2021). Osoblyvosti selektsii sortiv pshenytsi miakoi ozymoi stepovoho ekotypu u zviazku zi zminamy klimatu v umovakh Pivdnia Ukrainy [Peculiarities of the selection of soft winter steppe ecotype wheat varieties in connection with climate change in the conditions of Southern Ukraine]. *Visnyk ahrarnoi nauky*, 99(3), 53–62 (in Ukrainian). doi: 10.31073/agrovisnyk202103-07

24. Mamenko, T. P., Sheheda, I. M., Pochynok, V. M., & Senina, L. V. (2017). Vplyv umov azotnoho zhyvlennia na aktyvnist antyoksydantnykh fermentiv u lystkakh ozymoi pshenytsi [Effects of nitrogen supply on antioxidant enzymes activity in leaves of winter wheat]. *Fiziolohiia roslyn i henetyka*, 49(2), 165–173 (in Ukrainian). doi: 10.15407/frg2017.02.165

25. Mazurenko, B. O., & Novytska, N. V. (2020). Nakopychennia absoliutno sukhoї rechovyny ta chysta produktivnist fotosintezy posiviv trytykale za piznykh osinnikh strokiv sivy ta pidzhyvlen azotom [Dry matter accumulation and triticale photosynthesis efficiency in depend on late autumn sowing terms and nitrogen fertilizing]. *Tavriyskiy naukovy visnyk*, (111), 105–111 (in Ukrainian). doi: 10.32851/2226-0099.2020.111.14

26. Mussarat, M., Bibi, H., Ahmad, M., Ilahi, H., Anwar, S., Shahzad, H., & Khan, F. (2021). Accentuating the Role of Nitrogen to Phosphorus Ratio on the Growth and Yield of Wheat Crop. *Sustainability*, 13(4), 2253. doi: 10.3390/su13042253

27. Nichiporovich, A.A. (1969). *Metodicheskie ukazaniya po uchetu i kontrolyu vazhneishikh pokazatelei protsessov fotosinteticheskoj deyatelnosti rastenii v posevakh* [Guidelines for accounting and control of the most important indicators of the processes of photosynthetic activity of plants in crops]. Moscow, 48 (in Russian).

28. Noor H, Zhao, Q. L., Zhang, R. R., Wang, Z. X., Li, Wang, P. R., Gao, Z. Q. (2021). Effects of sowing methods and nitrogen rates on photosynthetic characteristics, yield, and quality of winter wheat. *Photosynthetica*, 59(2), 277–285. doi: 10.32615/ps.2021.018

29. Panfilova, A. V., & Hamaiunova, V. V. (2018). Fotosyntetichna diialnist posiviv pshenytsi ozymoi zalezno vid sortu ta zhyvlennia v umovakh Pivdennoho Stepu Ukrainy [Photosynthetic activity of winter wheat sowings which depend on varieties and nutrition in the Southern Steppe of Ukraine]. *Naukovi horyzonty*, 65(2), 3–10 (in Ukrainian). doi: 10.33249/2663-2144-2018-65-2-3-10

30. Polishchuk, M. I. (2020). Produktivnist roslyn pshenytsi ozymoi zalezno vid fonu zhyvlennia ta zastosuvannia biolohichnykh dobryv v umovakh Pravoberezhnoho Lisostepu Ukrainy [Productivity of winter wheat plants depending on

the background of the nutrition and application of biological fertilizers in the conditions of the rightbank foreststeppe of Ukraine]. *International independent scientific journal*, (15), 19–27.

31. Posch, B. C., Kariyawasam, B. C., Bramley, H., Coast, O., Richards, R. A., Reynolds, M. P., ... Atkin, O. K. (2019). Exploring high temperature responses of photosynthesis and respiration to improve heat tolerance in wheat. *Journal of Experimental Botany*, 70(19), 5051–5069. doi: 10.1093/jxb/erz257

32. Sardans, J., & Peñuelas, J. (2015). Potassium: a neglected nutrient in global change. *Global Ecology and Biogeography*, 24(3), 261–275. doi: 10.1111/geb.12259

33. Shegeda, I. M., Pochinok, V. M., Kiriziy, D. A., & Mamenko, T. P. (2018). Vplyv umov azotnoho zhyvlennia na fotosyntezy, produktyvnyshchyn i bilkovyshchyn zerna ozymoi pshenytsi [Influence of nitrogen supply on photosynthesis, grain productivity and protein content of winter wheat]. *Fiziologiya rastenyi i genetika*, 50 (2), 105–114 (in Ukrainian). doi: 10.15407/frg2018.02.105

34. Sviderko, M. S., Shuvar, A. M., Tkachenko, L. Y., Tymchyshyn, O. F., Behen, L. L., & Tymkiv, M. Y. (2015). Fotosyntetychna produktyvnyshchyn roslyn ozymoi pshenytsi zalezno vid strokiv sivby y umov zhyvlennia [Photosynthetic productivity winter wheat plants depends on sowing period and feeding conditions]. *Peredhirne ta hirske zemlerobstvo i tvarynyshchynstvo*, 58(II), 90–97 (in Ukrainian).

35. Vozhehova, R. A., & Serhieiev, L. A. (2018). Fotosyntetychna diialnist nasinnievkykh posyviv pshenytsi ozymoi zalezno vid udobrennia ta zakhystu roslyn v umovakh Pivdnia Ukrainy [Photosynthetic activity of seed wheat sows of winter dependence on fertilization and protection of plants under the conditions of the South of Ukraine]. *Naukovi dopovidi NUBiP Ukrainy*, 2(72) (in Ukrainian). doi: 10.31548/dopovidi2018.02.014

36. Voznesenskaja, T. Y., & Mozharova, I. P. (2021). Vliianie innovacionnykh udobritelnykh kompleksov na fotosyntezy i produktyvnyshchyn listovogo apparata pshenytsi ozymoi [Effect of innovative fertilizer complexes on photosynthesis and productivity of the leaf apparatus of winter wheat]. *Plodorodie*, (6), 52–55 (in Russian). doi: 10.25680/U19948603.2021.123.14

37. Wang, Y., Zhang, Z., Liang, Y., Han, Y., Han, Y., & Tan, J. (2020). High Potassium Application Rate Increased Grain Yield of Shading-Stressed Winter Wheat by Improving Photosynthesis and Photosynthate Translocation. *Frontiers in Plant Science*. 11. doi: 10.3389/fpls.2020.00134

38. Zambrosi, F. C. (2019). Foliar Phosphorus Applications in the Forms of Phosphate and Phosphite Have Contrasting Effects on Wheat Performance Under Field Conditions. *Journal of Crop Science and Biotechnology*, 22(5), 395–401. doi: 10.1007/s12892-017-0060-0

Bilousova Z.V. Candidate of Sciences in Agriculture, Senior Lecturer, Dmytro Motorny Tavria State Agrotechnological University, Zaporozhye, Ukraine

Keneva V.A. Phd student, Assistant, Dmytro Motorny Tavria State Agrotechnological University, Zaporozhye, Ukraine

Influence of the mineral nutrition system on the functioning of the winter wheat leaf apparatus

In order to ensure the optimal nutritional regime of winter wheat plants, it is necessary to coordinate the fertilization system with the biological features of the crop. This action contributes to the active formation of the leaf surface of plants, which further causes the high harvest formation with good indicators of the grain quality. The aim of the research was to determine the effectiveness of mineral fertilizers as post-sowing and foliar application, on the photosynthetic activity indicators of winter wheat plants.

The research has been carried out using post-sowing application of potassium fertilizers and foliar fertilization with carbamide (N), magnesium sulfate (Mg) and potassium monophosphate (Pk) for Shestopalivka winter wheat variety in the conditions of the Scientific and Educational Centre of Dmytro Motorny Tavria State Agro-Technological University.

The leaf surface area of winter wheat plants of Shestopalivka variety ranged from 15.85 to 48.46 thousand m²/ha depending on the development stage and mineral nutrition system. The highest values of this index at the level of 39.29–48.46 thousand m²/ha were noted at the stem elongation stage. The greatest increase in leaf surface area on average during the growing season was noted when using a full complex of fertilizers for foliar application (N+Mg+Pk) against the background of post-sowing application of K₁₂, which was 14% compared to the control.

The highest values of the net photosynthetic productivity at the level of 9.83-10.53 g/m² per day for Shestopalivka variety was observed in the interphase period of tillering – stem elongation. It was determined that the post-sowing K₁₂ application contributed to the NPP increase only in the interphase period of stem elongation – heading by 1.76 times compared to the variants without its application. In general, higher values of the NPP were recorded for the use of post-sowing application of potassium fertilizer in combination with foliar application of N+Mg+Pk – 15% higher, on average, compared to N+Mg+Pk on the background of K₀.

Thus, the introduction of the studied mineral fertilizers contributed to the active growth of winter wheat plants and the development of their leaf surface, which ensured the stable operation of the photosynthetic apparatus and further enhanced the high crop productivity formation.

Key words: leaf area, net photosynthetic yield, post-sowing fertilization, foliar fertilization.

**ОЦІНКА СТАНУ ТА СТРУКТУРИ ПОПУЛЯЦІЇ РІДКІСНОГО ВИДУ
DACTYLORHIZA INCARNATA (L.) SOB. В УРБАНІЗОВНОМУ СЕРЕДОВИЩІ (М. СУМИ)**

Клименко Ганна Олександрівна

кандидат біологічних наук, доцент
Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна
ORCID: 0000-0003-1859-4997
annaklimenko2014@gmail.com

Кирильчук Катерина Сергіївна

кандидат біологічних наук, доцент
Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна
ORCID: 0000-0001-9968-4833
ekaterinakir2017@gmail.com

Шерстюк Марина Юріївна

кандидат біологічних наук, доцент
Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна
ORCID: 0000-0002-4983-6453
maryna_skljar@ukr.net

Зубцова Інна Володимирівна

кандидат біологічних наук
Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна
ORCID: 0000-0001-6339-931X

Клименко Ігор Михайлович

студент
Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна
ORCID: 0000-0002-3726-681X
akadem.publik.info@gmail.com

Демиденко Юлія Вікторівна

студентка
Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна
ulia34824@gmail.com

Проблема втрати біорізноманіття з кінця ХХ століття є однією з основних проблем глобального рівня, оскільки саме воно виступає головною умовою стійкого існування біосфери. В умовах антропогенної трансформації рослинного покриву Землі рідкісні види рослин являються критичною складовою біорізноманіття, у першу чергу потребуючи всебічних, комплексних і довгострокових спостережень для забезпечення ефективної охорони. Тому метою дослідження було проведення довгострокового моніторингу популяції *Dactylorhiza incarnata* (L.) Sob, що зростає в урбанізованому середовищі у межах м. Суми, з інтервалом у п'ять років (2017 та 2021 роки). На основі даних про зміни загальної чисельності, онтогенетичної структури, онтогенетичних спектрів та онтогенетичних індексів, а також за даними повного морфометричного аналізу зроблено висновки і дано оцінку щодо стійкого існування популяції *D. incarnata*. В результаті встановлено, що загальна чисельність популяції *D. incarnata* збільшилась приблизно на 25% за п'ять років, з 2017 по 2021 роки. За онтогенетичною структурою та онтогенетичними індексами популяція *D. incarnata* характеризувалась як молода з високими індексами відновлення та стабільним індексом генеративності на рівні 21–22 %. Морфометричний аналіз рослин *D. incarnata* показав статистично достовірне ($p = 0,000–0,009$) збільшення показників рослин за усіма обчислюваними морфопараметрами, окрім висоти рослини, у 2021 році, порівняно з 2017 роком. В цілому, вимірним морфопараметрам рослин *D. incarnata* у 2021 році був притаманний високий рівень варіювання. Найвищі показники коефіцієнтів варіації характерні для висоти суцвіття (24,5–32,8%) та кількості квіток (30–40%), а найнижчі – для кількості листя (10,7–21,7%), а також для висоти рослин у 2017 році (16,1%) та довжини листка у 2021 році (16,5%). Щодо морфоструктурної цілісності рослин *D. incarnata*, як реакції рослин на чинники середовища існування, було зафіксоване збільшення індексу морфологічної інтеграції особин даного виду в часі, в інтервалі в п'ять років – з 2017 по 2021 роки. Умови зростання популяції *D. incarnata*, у цілому, оцінюються як оптимальні й такі, що сприяють її стійкому існуванню. Усі елементи проведеного комплексного популяційного аналізу виявили поліпшення стану популяції, яке підтверджується і через збільшення кількості особин. З огляду на це, варто відмітити необхідність

продовження спостережень за популяцією даного рідкісного виду, оскільки він має статус «неоцінений» за Червоною книгою України і потребує накопичення фактичних даних за результатами довгострокового моніторингу.

Ключові слова: рідкісні види рослин, *Dactylorhiza incarnata* (L.) Sob, комплексні популяційні дослідження, довгостроковий моніторинг.

DOI <https://doi.org/10.32845/agrobio.2022.3.3>

Вступ. Втрата біорізноманіття з кінця XX століття є однією з основних проблем глобального рівня (Heller, 2009; Rands et al, 2010; Raven et al., 2011), оскільки біологічне різноманіття виступає головною умовою стійкого існування біосфери (Primak, 2002; Sytnyk, 2011; Polevoi et al., 2019; Malhi, 2020). В умовах антропогенної трансформації рослинного покриву Землі (Bondarieva et al., 2019; Skliar, 2020; Kovalenko et al., 2022), що активно відбувалася протягом XX століття і продовжує свій вплив у XXI столітті, рідкісні види рослин виступають критичною складовою біорізноманіття (Matias et al., 2012; Mouillot, 2013; Sarbu et al., 2014; Klymenko, 2022), у першу чергу потребуючи всебічного, комплексного і довгострокового дослідження для забезпечення ефективної охорони (Klymenko et al., 2016; Klymenko & Sherstiuk, 2019; Borovuk, 2020). Нині активно проводиться робота по визначенню і збереженню рідкісних видів рослин (Stoiko, 2004a; Hillebrand & Matthiessen, 2009; Rands et al., 2010; et al.; Sheliah-Sosonko, 2010; Andriienko, 2010, 2011), по інвентаризації рідкісних видів рослин (Andrienko & Shelyag-Sosonko, 1983; Stoiko, 2004b; Chervona knyha Ukrainy, 2009). Однак особливої уваги потребують дослідження рідкісних видів рослин на популяційному рівні (Onyshchenko et al., 2007; Panchenko & Chornous, 2009; Rasevych, 2010; Chui & Shumska, 2014; Maslennikov et al., 2016; Bessonova & Zaitseva, 2016), які нині теж активно проводяться, але досить часто мають спорадичний характер із висвітленням однорічних разових результатів (Shapovalova, 2017), тоді як для визначення стратегії і тактики охорони рідкісних видів рослин необхідні саме комплексні довгострокові популяційні дослідження (Ermolaev, 2007). К.М. Ситник (Sytnyk, 2011) підкреслював, що „реально існуючі у природі популяції є головними об'єктами біологічного різноманіття”. У зв'язку з цим, вивчення популяцій рідкісних видів у їх динаміці, у межах конкретних ценопопуляцій є актуальною науковою проблемою.

Мета дослідження – провести довгостроковий моніторинг за станом популяції *Dactylorhiza incarnata* (L.) Sob, що зростає в урбанізованому середовищі у межах м. Суми, з інтервалом в п'ять років (2017 та 2021 роки). На основі даних про зміни загальної чисельності, онтогенетичної структури, онтогенетичних спектрів та онтогенетичних індексів, а також за даними повного морфометричного аналізу зробити висновок і дати оцінку щодо стійкого існування популяції *D. incarnata* в умовах місцезростання.

Матеріали і методи досліджень. В процесі виконання роботи були застосовані різні методи щодо збору та аналізу даних, зокрема були використані екологічні та геоботанічні методи дослідження, методи неущкоджуючої морфометрії, статистичні методи аналізу даних.

Моніторинг стану популяції *D. incarnata* про-

дили у вегетаційний період 2017–2021 років. Оскільки досліджуваний вид є рідкісним, то використовувалися неруйнучі прийоми морфометрії. У результаті, розмір фітомаси особин не вимірювали, а враховували лише ті морфопараметри, які не призводять до знищення або пошкодження рослини. Використовували загальноприйнятну методику при роботі з рідкісними видами рослин (Zlobin et al., 2013).

Підсумкову оцінку морфологічної структури особин визначали за допомогою двох ключових показників: середнє значення ознаки та рівень її мінливості. Рівень мінливості ознак оцінювали величиною коефіцієнта варіації (у відсотках). Зазвичай, у морфології рослин використовуються такі оціночні шкали: коефіцієнт варіації менше 7% – мінливість ознаки дуже низька, 7–12% – низька, 13–20% – середня, 21–40% – висока і більше 40% дуже висока. Підвищена мінливість ознак у рослин спостерігається у випадках значної диференціації особин популяції за розміром і морфологічною структурою, яка зазвичай є наслідком мікротозаїчності середовищ існування та впливу деяких видів стресу. Вона трактується як прояв фенотипової пластичності та є відображенням здатності рослини адаптуватися до умов місцезростання (Kucher & Vahrusheva, 2004, Rostova, 2006).

Морфодіаграми дозволили візуально порівняти подібність і відмінність морфологічної структури особин за різними роками дослідження (як в даному випадку) або особин із різних локальних популяцій.

Скорельованість морфологічних структур визначали за індексом цілісності, який, на думку Ю.А. Злобіна (Zlobin, 2007), після проведеної перевірки кількох індексів, виявився найбільш ефективним, і вираховується за наступною формулою (Zlobin, 1989):

$$I = \frac{B}{(n^2 - n) / 2} \cdot 100\%,$$

де I – індекс морфологічної інтеграції, тобто цілісності особи, B – кількість статистично достовірних (на рівні ймовірності 0,95) коефіцієнтів кореляції в матриці, n – загальна кількість оцінених морфометричних параметрів.

Матриці коефіцієнтів кореляції симетричні, у зв'язку з цим підрахунок кількості статистично достовірних коефіцієнтів кореляції здійснювали лише в одній її половині (зазвичай нижче головної діагоналі, яка заповнена позначкою 1,000). Оскільки обчислення індексу морфологічної інтеграції засновані на коефіцієнтах кореляції, вибірки мають бути досить великими для забезпечення достовірності результатів (Murren, 2002), що і було дотримано у наших дослідженнях.

Онтогенетичний аналіз популяції проводили за загальновідомою методикою (Rabotnov, 1950)

з визначенням і характеристикою онтогенетичної структури, онтогенетичних спектрів та онтогенетичних індексів (Zlobin et al., 2022) популяції *D. incarnata* у 2017 та 2021 роках, із їхнім наступним порівнянням.

Залежно від співвідношення у популяції особин різних онтогенетичних станів, онтогенетичні спектри поділялися на кілька категорій (Zlobin, 2009): лівосторонній, центрований, правосторонній або бімодальний.

На основі співвідношення у популяції особин рослин різних онтогенетичних станів розрізняли популяції відповідних категорій (Rabotnov, 1950): *інвазійні* з переважанням передгенеративних рослин, *нормальні*, в яких частка особин різних онтогенетичних станів приблизно збалансована і переважають генеративні рослини, та *регресивні*, в яких переважають постгенеративні рослини.

Для інтегральної оцінки популяцій враховували онтогенетичні індекси, розроблені І.М. Коваленком (Kovalenko et al., 2019), які дозволили ефективно порівняти популяції дослідженого виду в часі: індекси відновлюваності, старіння, генеративності та віковості.

Статистичний обробіток даних проводили з використанням дисперсійного аналізу, кореляційного аналізу та описових статистик з використанням некомерційної програми SPSS Statistic та Excel (MSOffice 7). Значення $P < 0,05$ вважали статистично вірогідними.

Результати. Біомоніторинг за популяцією виду *D. incarnata* триває з 2017 року (Клюменко et al., 2018), коли вперше було зафіксоване зростання даного виду в межах м. Суми, біля р. Стрілки в умовах лучного фітоценозу з сінокісним навантаженням, в якому домінують *Festuca rubra* L. і *Deschampsia cespitosa* (L.) P. Beauv., на більш вологих місцях рясно зростають *Carex vesicaria* L. і *Ranunculus repens* L., на заболочених ділянках домінує *Typha latifolia* L. Травостій досліджуваної території щорічно викошується, окрім ділянки, де зростає популяція рідкісного виду *D. incarnata*. Проводилися основні популяційні дослідження з врахуванням онтогенетичного стану особин та морфометричний аналіз неруйнуючими методами морфометрії.

Аналіз онтогенетичної структури популяції *D. incarnata* реалізовувався у два послідовні етапи: спочатку були виокремлені для даного виду певні онтогенетичні стани, які відомі за літературними даними, потім проводилось обстеження популяції з врахуванням особин даного виду і віднесенням їх до того чи іншого онтогенетичного стану, на наступному етапі проводили підрахунок особин кожного з онтогенетичних станів із встановленням їх співвідношення. Обстеження проводили на ділянках 50 x 50 см. Для даного виду, який є рідкісним, розподіл рослин на онтогенетичні стани проводили лише на основі структури надземних

частин рослини, що дозволило працювати з видом, не ушкоджуючи його.

Онтогенетичні дослідження стану популяції з інтервалом у п'ять років представлені у таблиці 1. У 2017 р. на пробних ділянках було враховано 118 рослин, тоді як у 2021 – 153 рослини. Також у 2021 р. спостерігається збільшення кількості особин за усіма онтогенетичними станами. Якщо аналізувати відсоткове співвідношення, то значні зміни характерні у частках таких груп, як ювенільні, іматурні та віргінільні. При цьому, ювенільних та іматурних у 2021 році зафіксовано у 3–5 разів більше, ніж у 2017 р., а от віргінільних – майже у 2 рази менше, ніж у 2017 р. Кількість генеративних рослин також зросла у 2021 р., порівняно з 2017 р., приблизно на третину. Таким чином, загальна чисельність популяції *D. incarnata* збільшилась приблизно на 25 % за п'ять років з 2017 по 2021 рр.

Як свідчить рис. 1, за роками досліджень популяція відрізнялася за відсотком особин догенеративного онтогенетичного стану, але якщо оцінювати у цілому, враховуючи і генеративні особини, то виявляється, що співвідношення цих когорт залишалось сталим як у 2017, так і у 2021 роках.

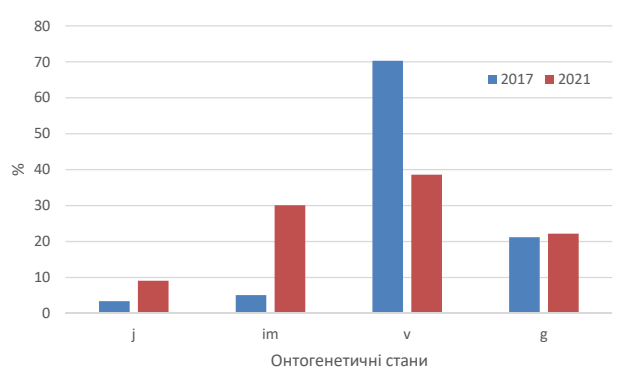


Рис. 1. Онтогенетичні спектри популяції *D. incarnata* у різні роки

Для інтегральної характеристики онтогенетичної структури популяції *D. incarnata* були розраховані онтогенетичні індекси за методикою І.М. Коваленка (Kovalenko et al., 2019) як такі, що найбільш вдало характеризують онтогенетичний стан популяції. Результати представлені у таблиці 2.

За результатами розрахунків онтогенетичних індексів для популяції *D. incarnata* видно, що популяція характеризувалась як молода з високими індексами відновлення. Індекс старіння та загальної віковості були рівними нулю, оскільки в популяції не були зафіксовані старіючі субсенільні або сенільні особини. Індекс генеративності попу-

Таблиця 1

Онтогенетична структура популяції *D. incarnata* у різні роки

| Роки спостереження | Кількість особин різних онтогенетичних станів, шт. | | | | | | | | Усього | |
|--------------------|--|-----|-----|------|-----|------|-----|------|--------|-----|
| | j | | im | | v | | g | | шт. | % |
| | шт. | % | шт. | % | шт. | % | шт. | % | | |
| 2017 | 4 | 3,4 | 6 | 5,1 | 83 | 70,3 | 25 | 21,2 | 118 | 100 |
| 2021 | 14 | 9,1 | 46 | 30,1 | 59 | 38,6 | 34 | 22,2 | 153 | 100 |

ляції майже не змінювався і був на рівні 21–22 %, що також свідчить про досить стабільний стан популяції.

Таблиця 2

Онтогенетичні індекси популяції *D. incarnata* (за І.М. Коваленком)

| Онтогенетичні індекси | Роки дослідження | |
|------------------------|------------------|---------|
| | 2017 р. | 2021 р. |
| $I_{\text{відн}}$ | 78,3 | 77,8 |
| $I_{\text{генер}}$ | 21,2 | 22,2 |
| $I_{\text{стар}}$ | 0 | 0 |
| $I_{\text{віковості}}$ | 0 | 0 |

Розмір та форма рослинних організмів – це дуже важлива характеристика, що визначає безліч їх властивостей. При роботі з рідкісними видами рослин, яким є і *D. incarnata*, морфометричні методи є одним із способів отримання значної кількості даних відносно особин рослин у межах популяції. Такі масиви даних дуже важливі при проведенні довгострокового моніторингу, особливо рідкісних видів рослин.

Проводячи морфометричний аналіз популяції *D. incarnata*, використовувалися неруйнуючі методи морфометрії та у підсумку було отримано набір із шести морфопараметрів: висота рослини (см), кількість листя (шт.), довжина суцвіття (см), довжина листка (см), ширина листка (см), кількість квіток (шт.). За результатами проведення статистичного аналізу були встановлені такі важливі статистичні параметри, як: середнє арифметичне та його похибка, а також рівень мінливості ознаки, який ми визначали за допомогою розрахунку коефіцієнта варіації. Результати проведених обчислень представлені у табл. 3.

Проведений дисперсійний аналіз для групи урахованих морфопараметрів для особин *D. incarnata* пока-

зав, що значення за усіма параметрами були більшими у 2021 році, порівняно з 2017 роком (табл. 4). За висотою рослин розбіжність по роках була незначною і складала лише 2 см. Проведений дисперсійний аналіз підтверджує відсутність різниці у висоті рослин, за результатами якого рівень достовірності (p) дорівнює 0,102. За кількістю листя рослини *D. incarnata* статистично достовірно ($p = 0,000$) відрізнялися по роках і у 2021 р. показники були вищими на третину. Приблизно аналогічне співвідношення спостерігалось і за двома іншими показниками вегетативної сфери – довжина листка і ширина листка – статистично достовірно, з $p = 0,000$ для обох параметрів, у 2021 році рослини мали більше листя за довжиною та шириною, і, відповідно, за площею листкової пластинки. Таке збільшення вегетативної частини рослини мало наслідком те, що у 2021 році зросли й включили показників, які характеризують генеративну сферу. На статистично достовірному рівні ($p = 0,000$ – для довжини суцвіття і $p = 0,009$ – для кількості квіток у суцвітті) рослини *D. incarnata* утворювали довші суцвіття і формували більшу кількість квіток у них.

За розрахованими коефіцієнтами варіації встановили, що, у цілому, морфометричним параметрам у 2021 р. був притаманний високий рівень варіювання. Найвищі показники коефіцієнтів варіації відмітили для висоти суцвіття (24,5–32,8 %) та кількості квіток (30–40 %), а найнижчі – для кількості листя (10,7–21,7 %), а також для висоти рослин у 2017 р. (16,1 %) та довжини листка у 2021 р. (16,5 %).

На основі отриманих середніх значень була створена радіальна діаграма – морфограма (рис. 2). Морфограма дозволила візуально співставити, побачити та оцінити подібність та відмінність морфологічної структури особин *D. incarnata* за два роки дослідження і показали збільшення параметрів у 2021 р., порівняно з 2017 р.

Таблиця 3

Зміни морфометричних параметрів *D. incarnata* за два роки дослідження (2017 та 2021 рр.), проведені з інтервалом у 5 років

| Параметр | 2017 рік | | 2021 рік | |
|----------------------|-------------------------------------|------------------------|-------------------------------------|------------------------|
| | Середнє арифметичне та його похибка | Коефіцієнт варіації, % | Середнє арифметичне та його похибка | Коефіцієнт варіації, % |
| Висота рослини, см | 42,9 ± 1,11 | 16,1 | 44,9 ± 1,97 | 24,0 |
| Кількість листя, шт | 3,9 ± 0,06 | 10,7 | 6,2 ± 0,24 | 21,7 |
| Довжина листка, см | 15,1 ± 0,54 | 22,5 | 19,2 ± 0,58 | 16,5 |
| Ширина листка, см | 2,5 ± 0,08 | 20,2 | 3,2 ± 0,14 | 24,0 |
| Довжина суцвіття, см | 7,7 ± 0,03 | 24,5 | 10,4 ± 0,62 | 32,8 |
| Кількість квіток, шт | 23,5 ± 1,16 | 30,8 | 37,7 ± 2,77 | 40,2 |

Таблиця 4

Результати дисперсійного аналізу морфопараметрів *D. incarnata* за два роки дослідження (2017 та 2021 рр.), проведених з інтервалом у 5 років

| Параметр | Ступінь свободи, df | Критерій Фішера, F | Рівень достовірності, p |
|----------------------|---------------------|--------------------|-------------------------|
| Висота рослини, см | 1 | 2,76 | 0,102 |
| Кількість листя, шт | 1 | 97,0 | 0,000 |
| Довжина листка, см | 1 | 25,0 | 0,000 |
| Ширина листка, см | 1 | 23,2 | 0,000 |
| Довжина суцвіття, см | 1 | 131,0 | 0,000 |
| Кількість квіток, шт | 1 | 7,4 | 0,009 |



Рис. 2. Морфограма структури особин *D. incarnata* за 2017 та 2021 роки

Для оцінки скорельованості морфологічних структур рослин був проведений кореляційний аналіз для усіх морфометричних параметрів *D. incarnata* окремо за 2017 та 2021 роки. Результати представлені в таблицях 5 та 6.

Умовні позначення морфопараметрів, представлених у таблицях, наступні: h – висота рослини (см), NI – кількість листя (шт.), LI – довжина листка (см), SI – ширина листка (см), Hfl – довжина суцвіття (см), Nfl – кількість квіток (шт).

Усі статистично достовірні коефіцієнти кореляції ($p \leq 0,05$) позначені червоним кольором і виділені напівжирним шрифтом. В результаті підрахунків з'ясували, що у 2017 р. було відмічено сім статистично достовірних кореляцій між ознаками рідкісного виду *D. incarnata*, а у 2021 році – 10 таких кореляцій. Усього було виміряно шість ознак рослини.

Проведені розрахунки індексу морфологічної інтеграції рослин *D. incarnata* показали (рис. 3), що у 2021 р.

він був вищим і дорівнював 66,7 %, тоді як у 2017 р. цей індекс був рівним 46,7 %. Різниця складала 20 %.

Обговорення. Типові рослини *D. incarnata*, зазвичай, мають висоту 20–60 см. За нашими результатами видно, що екологічні умови сінокісної луки для рослин цього виду досить сприятливі. На луках, де відбувається випасання, за даними С. С. Белан (Bielan, 2011) середня висота рослин у таких випадках становить 32–36 см. Однак рослини, які зазнають впливу випасу, мають вищі значення показників, що характеризують генеративні органи: середня довжина суцвіття становить 11–12 см, а кількість квіток в суцвітті 34,7–34,8 шт. Рівень варіювання ознак можна оцінити діапазоном від невеликого варіювання (10%) до середнього варіювання (40%).

Насіння у *D. incarnata* проростає тільки за наявності грибів. Перший лускоподібний лист з'являється на другий рік, а перша бульба – на четвертий рік після проростання насіння. Онтогенез *D. incarnata* поділено на наступні онтогенетичні стани: проростки, ювенільні,

Таблиця 5

Кореляційна матриця для групи морфопараметрів *D. incarnata* у 2017 р.

| Морфопараметри | Значення коефіцієнтів кореляції | | | | | |
|----------------|---------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| | h | NI | LI | SI | Hfl | Nfl |
| h | 1,000000 | 0,410986 | 0,737037 | 0,732655 | 0,779134 | 0,368879 |
| NI | 0,410986 | 1,000000 | 0,107603 | 0,514101 | 0,296804 | 0,025266 |
| LI | 0,737037 | 0,107603 | 1,000000 | 0,309997 | 0,487610 | 0,334002 |
| SI | 0,732655 | 0,514101 | 0,309997 | 1,000000 | 0,770604 | 0,380181 |
| Hfl | 0,779134 | 0,296804 | 0,487610 | 0,770604 | 1,000000 | 0,500727 |
| Nfl | 0,368879 | 0,025266 | 0,334002 | 0,380181 | 0,500727 | 1,000000 |

Таблиця 6

Кореляційна матриця для групи морфопараметрів *D. incarnata* у 2021 р.

| Морфопараметри | Значення коефіцієнтів кореляції | | | | | |
|----------------|---------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| | h | NI | LI | SI | Hfl | Nfl |
| h | 1,000000 | 0,282338 | 0,370008 | 0,411182 | 0,474364 | 0,690311 |
| NI | 0,282338 | 1,000000 | -0,036954 | 0,651411 | 0,429713 | 0,614432 |
| LI | 0,370008 | -0,036954 | 1,000000 | 0,026756 | -0,068046 | 0,177055 |
| SI | 0,411182 | 0,651411 | 0,026756 | 1,000000 | 0,617446 | 0,771122 |
| Hfl | 0,474364 | 0,429713 | -0,068046 | 0,617446 | 1,000000 | 0,767137 |
| Nfl | 0,690311 | 0,614432 | 0,177055 | 0,771122 | 0,767137 | 1,000000 |

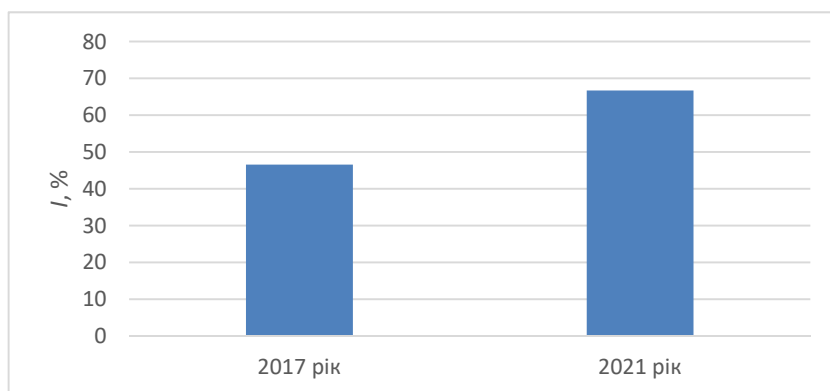


Рис. 3. Індеси морфологічної інтеграції рослин *D. incarnata*

віргінільні, генеративні і субсенільні особини. Тривалість перебування особин в цих станах не однакова. Для проростків вона складає 2–3, ювенільних рослин – 2–4, віргінільних – 2–3, генеративних до 8–14 років (іноді навіть до 25 років) і субсенільних – 1–2 роки (Nagar & Nagar, 2009). У генеративному стані у рослин іноді спостерігаються перерви у цвітінні від одного до декількох років. Запилюється від комахами, тому для сталого існування необхідна підтримка різноманітності й достатньої чисельності ентомофауни (Klymenko & Sherstiuk, 2019). В умовах сінокісної луки р. Стрілка в онтогенетичному спектрі, як показав наш аналіз, переважають віргінільні особини. Переважання в популяціях віргінільних рослин зазначалося і в інших регіонах поширення *D. incarnata* (Lukash & Andrienko, 2011). Онтогенетичні спектри *D. incarnata* на луках з випасом лівосторонні або центровані, інвазійні або нормальні. Співвідношення особин певних онтогенетичних станів наступне: ювенільних 5–9%, іматурних – 18–30%, віргінільних – 30–35%, генеративних – 25–51% (Bielan, 2011). Це зіставлення свідчить про високу лабільність онтогенетичних спектрів залежно від характеру антропогенного впливу на лучне угруповання. Така лабільність – показник можливості адаптуватись популяції рідкісного виду *D. incarnata* до зміни стану фітоценозів (Vlinova, 2009).

За результатами наших досліджень, на генеративні рослини припадало 21,2–22,2 % рослин, а відсоток ювенільних, іматурних та віргінільних дуже різнився за роками досліджень. При цьому, співвідношення між кількістю у популяції вегетативних та генеративних зберігалось сталим, на генеративні припадало трохи більше однієї п'ятої популяції. Можливо, саме таке співвідношення є гарантією стабільного існування популяції і навіть запорукою збільшення її чисельності за умов відсутності випасу та сінокосіння.

Особливо варто відмітити, що цінність цих висновків тим вища, що дослідження проводились не у два поточні періоди, а з інтервалом у п'ять років, отже результати такого довгострокового моніторингу за станом популяції дійсно демонструють сприятливість місцезростання для даної популяції, у тому числі й відсутність сінокосіння, яке жодного разу не відбувалось протягом усього п'ятирічного періоду.

Важливим показником стану особин рослин *D. incarnata* також є рівень їх морфоструктурної та фізіологічної інтегрованості – цілісності, який був оцінений шляхом дослідження мінливості ознак й кореляції між ними. Співвідношення між ознаками оцінювали за допомогою коефіцієнтів парної кореляції шляхом проведення кореляційного аналізу, який дозволяє визначити взаємозв'язок між групами ознак (Zlobin, 2007). Отримана сукупність коефіцієнтів кореляції між ознаками особин рослин оформлена у вигляді матриці, структура якої відображає силу та рівень взаємопов'язаності ознак одна з іншою. Відомо, що морфометричні ознаки скорельовані між собою по-різному. При цьому деякі мають між собою досить високі позитивні або негативні значення коефіцієнтів кореляції, тоді як для інших пар ознак рослини характерні невеликі значення коефіцієнтів кореляції, що свідчить про низький рівень взаємозалежності структурних частин рослини, що підлягали співставленню. В більшості випадків між морфоструктурними ознаками переважають позитивні й досить високі значення коефіцієнтів кореляції. Однак, на їх зміну будуть впливати умови зростання рослин – оптимальні або навпаки, далекі від оптимума. Було відзначено, що найменш скорельовані ознаки часто виявляють більш пряму залежність від факторів середовища існування, саме тому вони найбільш придатні для визначення реакції рослин на умови існування. Таким чином, оцінка системи скорельованості основних ознак є індикатором стану рослин (Zlobin, 1989; Schlichting, 1989). Оскільки кореляції між тими або іншими ознаками не є постійними у часі та просторі, то їх встановлення та порівняння є актуальним і важливим завданням, зокрема для рідкісного виду *D. incarnata*. Під впливом стресових факторів ступінь скорельованості структур рослин змінюється, при чому у деяких випадках у рослин під впливом стресових факторів ступінь зв'язаності кореляційної матриці підвищується, а в інших – знижується.

Щодо морфоструктурної цілісності рослин *D. incarnata*, було зафіксоване збільшення індексу морфологічної інтеграції особин даного виду у часі, в інтервалі у п'ять років – з 2017 по 2021 рр. В інших дослідженнях, проведених науковцями (Ishmuratova & Ishbirdin, 2002; Pushkareva, 2011), досить часто відмічалось поступове

зниження індексу морфологічної інтеграції протягом років дослідження, а потім його поступове зростання. Це не що інше, як реакція рослин на погіршення і, відповідно, поліпшення умов зростання. Таким чином, можна говорити, що цей напрямок досліджень є актуальним для рідкісних видів рослин і потребує проведення подальших спостережень з накопиченням фактичних даних у процесі проведення довгострокового моніторингу.

Висновки. Довгострокові спостереження, розпочаті у 2017 році за популяцією *D. incarnata*, рідкісного виду, занесеного до Червоної книги України (статус – вразливий), що зростає у межах м. Суми, дозволили встановити збільшення загальної чисельності особин у популяції приблизно на 25%. За роки дослідження популяція характеризується як мономодальна, центрована, з максимумом на віргінільних рослинах. За онтогенетичною структурою відмічено стале співвідношення між вегетативними та генеративними особинами у 2017 та 2021 рр. на рівні 78–79 % та 21–22 % відповідно. Морфометричний аналіз рослин *D. incarnata*

показав, що рослини у 2021 році мали більші значення практично за усіма морфометричними параметрами вегетативної сфери, окрім висоти рослин. Це, у свою чергу, сприяло збільшенню морфопараметрів генеративної сфери (довжина суцвіття та кількість квіток у ньому) на статистично достовірному рівні ($P=0,000-0,009$). За рівнем морфоструктурної цілісності рослин відмічено збільшення морфологічної інтеграції у 2021 році до 2017 року на 20%.

У цілому, можна оцінити умови зростання популяції *D. incarnata* як оптимальні та такі, що сприяють стійкому існуванню цієї популяції. Усі елементи проведеного комплексного популяційного аналізу виявили поліпшення стану популяції, свідченням чого є збільшення її чисельності. З врахуванням виявлених фактів, вважаємо за необхідне продовжити спостереження за популяцією даного рідкісного виду, оскільки він має статус «неоцінений» за Червоною книгою України і потребує накопичення фактичних даних за результатами довгострокового моніторингу.

Бібліографічні посилання:

1. Andrienko, T. L., & Shelyag-Sosonko, Yu. R. (1983). Rastitelnyy mir Ukrainського Polesya v aspekte ego ohrany [Flora of Ukrainian Polissya in the aspect of its protection]. Kyiv, Naukova dumka, 216 (in Russian).
2. Andriienko, T. L. (2010). Ridkisi vydy Polissia v suchasnykh Chervonykh knykh Ukrainy ta Bilorusi [Rare species of Polissia in the modern Red Books of Ukraine and Belarus]. Fitoriznomanittia prykordonnykh terytorii Ukrainy, Rosii ta Bilorusi u postchornobylyskyi period: mizhnar. Nauk. konf., zbirnyk statei, 6–11 (in Ukrainian).
3. Andriienko, T. L. (2011). Tsentralnoievropeiski vydy flory Ukrainського Polissia ta pytannia yikh okhorony [Central European species of flora of the Ukrainian Polissia and the issue of their protection]. Zizd Ukrainського botan. tovarystva: materialy dopov., 186 (in Ukrainian).
4. Bessonova, V. P., & Zaitseva, I. A. (2016). Ontohenetychna ta vitalitetna struktura bairachno-lisovykh tsenopopuliatcii Acer campestre L. i A. Tataricum L. v umovakh rekreatsiinoho navantazhennia [Ontogenetic and vital structure of ravine-forest cenopopulations of Acer campestre L. and A. Tataricum L. in the minds of recreational pursuit]. Naukovi visnyk NLTU Ukrainy, 26(8), 185–193 (in Ukrainian).
5. Bielan, S. S. (2011). Stan populiatcii vydu Dactylorhiza incarnata (L.) Soo na zaplavnykh lukakh r. Psel [The state of populations of the species Dactylorhiza incarnata (L.) Soo in the floodplains of the Psel River]. Botanika ta mikolohiia: problemy i perspektivy na 2011–2020 roky, Vseukr. nauk. konf., 40–42 (in Ukrainian).
6. Blinova, I. V. (2009). Chislennost populiatcii orhidnyih i ih dinamika na severnom predele rasprostraneniya v Evrope [Number of orchid populations and their dynamics at the northern limit of distribution in Europe]. Bot. zhurn., 94(2), 212–240 (in Russian).
7. Bondarieva, L.M., Kyrylchuk, K.S., Skliar, V.H., Tykhonova, O.M., Zhatova, H.O. & Bashtovyi, M.G. (2019). Population dynamics of the typical meadow species in the conditions of pasture digression in flooded meadows. Ukrainian Journal of Ecology, 9 (2), 204–211.
8. Borovyk, L. P. (2020). Orhanizatsiia fitotsenotychnoho monitorynhu u Striltsivskomu stepu (Luhanskyi pryrodnyy zapovidnyk) [Organization of phytocenotic monitoring in the Striltsiv steppe (Luhansk natural reserve)]. Monitorynh ta okhorona bioriznomanittia v Ukraini, 16(2), 18–24 (in Ukrainian).
9. Chervona knyha Ukrainy. Roslynniyi svit [Red Book of Ukraine. The plant world]. (2009). Kyiv, Hlobalkonsaltnyh, 900 (in Ukrainian).
10. Chui, O. V., & Shumska, N. V. (2014). Biometrychni parametry heneratyvnykh osobyn Pulsatilla patens (L.) Mill. u tsenopopuliatciiakh Zakhidnoho Podillia [Biometric parameters of generative individuals Pulsatilla patens (L.) Mill. in coenopopulations of the Western Podill]. Visnyk Cherkaskoho universytetu. Seria: Biolohichni nauky, 36, 124–128 (in Ukrainian).
11. Ermolaev, E. (2007). Astragalus dasyanthus Pall. as a model for wild plant species conservation: current status. Studia Universitatis. Seria Stiinte ale naturii (Republic of Moldova), 80–83.
12. Harrap, A., & Harrap, S. (2009). Orchids of Britain and Ireland. London, 480.
13. Heller, N. E., & Zavaleta, E. S. (2009). Biodiversity management in the face of climate change: A review of 22 years of recommendations. Biological Conservation, 142, 14– 32. doi: 10.1016/j.biocon. 2008.10.006
14. Hillebrand, H., & Matthiessen, B. (2009). Biodiversity in a complex world: consolidation and progress in functional biodiversity research. Ecology letters, 12, 1405–1419.
15. Ishmuratova, M. M., & Ishbirdin, A. R. (2002). Ob ontogeneticheskikh taktikah Rhodiola iremelica [On the ontogenetic tactics of Rhodiola iremelica]. Fundamentalnyie i prikladnyie problemy populiatcionnoy biologii, 79–81 (in Russian).
16. Klymenko, G., Kovalenko, I., Lykholat, Yu., Khromykh, N., Didur, O., & Alekseeva, A. (2017). The integral assessment of the rare plant populations. Ukrainian Journal of Ecology, 7(2), 201-209. doi: 10.15421/2017_37

17. Klymenko, H. O. (2022). Pro zahrozy stiikomu isnuvanniu populiatsii ridskinykh vydiv roslyn Sumskoi oblasti [About threats to the sustainable existence of populations of rare species of plants in the Sumy region] Materialy Druhoho Mizhnarodnoho Sympoziumu "Populiatsiina Ekolohiia Roslyn: Suchasnyi Stan, Tochky Rostu", 69–72 (in Ukrainian).
18. Klymenko, H. O., Skliar, Yu. L., & Honcharova, N. V. (2018). Populiatsii *Dactylorhiza incarnata* (L.) Soó v antropohennomu seredovyshchi [Populations of *Dactylorhiza incarnata* (L.) Soó in the anthropogenic environment]. Osnovni shliakhy zberezhennia luchno-stepovykh ekosystem Ukrainy: Materialy Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii, prysviachenoï 90-richchiu «Mykhailivskoi tsilyny», 2018, 40–47 (In Ukrainian).
19. Klymenko, H., & Sherstiuk, M. (2019). Ridskisi roslyny pryrodnoho zapovidnyka «Mykhailivska tsilyna» [Rare Plants of the Mykhailiv'ska Tsilyna Nature Reserve]. Lesia Ukrainka Eastern European National University Scientific Bulletin Series: Biological Sciences, 4(388), 30-39 (in Ukrainian). doi: 10.29038/2617-4723-2019-388-4-47-56
20. Kovalenko, I., Butenko, S., Zhezhkun, A., Porokhniach, I., Abduraimov, O., & Klymenko, H. (2022). Trends in the transformation of plant ontogenesis under global climate warming. *Agraarteadus: Journal of Agricultural Science*, 2(XXXIII), 1–8. doi: 10.15159/jas.22
21. Kovalenko, I., Skliar Iu., Klymenko, H., & Kovalenko, N. (2019). Vitality Structure of the Populations of Vegetative Motile Plants of Forest Ecosystems of the North-East of Ukraine. *The Open Agriculture Journal*, 13, 125–132. doi: 10.2174/1874331501913010125
22. Kucher, E. N., & Vahrusheva, L. P. (2004). Autekologicheskie osobennosti variabelnosti morfometricheskikh parametrov osobi *Dactylorhiza romana* (Seb.) Soo [Autecological features of the variability of morphometric parameters of an individual *Dactylorhiza romana* (Seb.) Soo]. *Ekosistemyi Kryima, ih optimizatsiya i ohrana*, 90–96 (in Russian).
23. Lukash, A. V., & Andrienko, T. L. (2011). Redkie i ohranyaemye rasteniya Polesya [Rare and protected plants of Polissya]. Kyiv, Fitosotsiotsentr, 167 (in Ukrainian).
24. Malhi, Y., Franklin, J., Seddon, N., Solan, M., Turner, M. G., Field, C. B., & Knowlton, N. (2020). Climate change and ecosystems: threats, opportunities and solutions. *Philosophical Transactions of the Royal Society*, 375:1–8. doi: 10.1098/rstb.2019.0104
25. Maslennikov, A. V., Maslennikova, L. A., & Pashina A. A. (2016). Sovremennoe sostoyanie tsenopopulyatsiy irisa borovogo (*Iris pineticula* Klok.) v tsentralnoy chasti Privolzhskoy vozvyshennosti [Current state of cenopopulations of pine iris (*Iris pineticula* Klok.) in the central part of the Volga Upland]. *Sovremennyye problemyi evolyutsii i ekologii*, 393 (in Russian).
26. Matias, M.G., Chapman, M.G., Underwood, A.J., O'Connor, N.E. (2012). Increasing density of rare species of intertidal gastropods: tests of competitive ability compared with common species. *Marine Ecology Progress Series*, 453, 107–116. doi: 10.3354/meps09639
27. Mouillot, D., Bellwood, D.R., Baraloto, C., Chave, J., Galzin, R., Harmelin-Vivien, M., Kulbicki, M., Lavergne, S., Lavorel, S., Mouquet, N., Paine, C.E.T., Renaud, J., Thuiller, W. (2013). Rare Species Support Vulnerable Functions in High-Diversity Ecosystems. *PLOS Biology*, 11(5), e1001569. DOI: 10.1371/journal.pbio.1001569
28. Murren, C. J. (2002). Phenotypic integration in plants. *Plant Species Biol.* 17: 89–99.
29. Onyshchenko, V. A., Diakova, O. V., & Karpenko, Yu. O. (2007). Lisova roslynnist urochyschcha Teplynska Dacha i Maiatska Dacha (natsionalnyi pryrodnyi park «Sviati Hory») [Forest vegetation of the Teplynska Dacha and Mayatska Dacha tracts (Svyati Hory National Nature Park)]. *Chornomorskyi bot. zhurn.*, 3(2), 88–99 (in Ukrainian).
30. Panchenko, S., & Chornous O. (2009). Struktura populiatsii roslyn na uzlissiax sosnovykh lisiv zelenomokhovykh v umovakh Novhorod-Siverskoho Polissia [The structure of plant populations on the edges of pine forests with green mosses in the conditions of Novgorod-Siversky Polissia]. *Zbirnyk naukovykh prats. Ekolohiia. Biolohichni nauky.*, 1, 21–25 (in Ukrainian).
31. Polevoi, A., Bozhko, L., & Barsukova, O. (2019). Vplyv zminy klimatu na produktyvnist' luchno-stepovoyi roslynnosti lisostepovoyi zony Ukrayiny [Influence of changes of climate on the productivity of pratal and steppe vegetation in the Forest-steppe area of Ukraine] *Bulletin of KhNAU. Series "Vegetation, selection and production, fruit growing and harvesting"*, 1, 18–29 (in Ukrainian).
32. Primak, R. B. (2002). Osnovyi sohraneniya bioraznoobraziya [Fundamentals of Biodiversity Conservation]. M. NUMTs, 256 (in Russian).
33. Pushkareva, O. V. (2011). Strategiya zhizni *Epipactis helleborine* (L.) Crantz. [Life strategy of *Epipactis helleborine* (L.) Crantz.]. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra RAN*, 13(5 (2)), 103–105 (in Russian).
34. Rabotnov, T. A. (1950). Zhiznennyiy tsikl mnogoletnih travyanistyih rasteniy v lugovyih tsenozah [Life cycle of perennial herbaceous plants in meadow cenoses]. *Tr. BIN AN SSSR. Geobotanika*, 3(6), 7–204 (in Russian).
35. Rands, M. R., Adams, W. M., Bennun, L., Butchart, S. H. M., Clements, A., Coomes, D., Entwistle, A., Hodge, I., Kapos, V., Scharlemann, J. P. W., Sutherland, W. J., & Vira, B. (2010). Biodiversity conservation: challenges beyond. *Science*. 329(10), 1298–1424. doi: 10.1126/science.1189138.
36. Rasevych, V. V. (2010). Fitoindykatsiina ta syntaksonomichna otsinka uhrupovan z uchastiu *Daphne cneorum* L. [Phytoindicative and syntaxonomic assessment of groups with the participation of *Daphne cneorum* L.]. *Nauk. zapysky Lvivskoho hos. univ. Serii biolohiia ta ekolohiia*, 106, 52–53 (in Ukrainian).
37. Raven, P. H., Chase, J. M., & Pires, J. C. (2011). Introductions special issue on biodiversity. *Amer. J. Bot.* 98(3), 333–335.
38. Rostova, N. S. (2006). Perspektivy issledovaniya obschey i soglasovannoy izmenchivosti [Research Perspectives on General and Consistent Variability]. *Voprosy obschey botaniki: traditsii i perspektivy*, 1–2 (in Russian).
39. Sârbu, A., Smarandache, D., & Pascale, G. (2014) Protected areas and climate change. *Contributii Botanice*, 49, 209–222.
40. Schlichting, C. D. (1989). Phenotypic plasticity in *Phlox*. II. Plasticity or character correlation. *Oecologia*, 78, 496–501.

41. Shapovalova, A. A. (2017). Vozrastnoy spektr tsenopopulyatsiy ryabchika russkogo (*Fritillaria ruthenica* Wikwstr.) v Balashovskom rayone v 2016 g. [Age spectrum of cenopopulations of the Russian hazel grouse (*Fritillaria ruthenica* Wikwstr.) in the Balashovsky district in 2016]. *Sovremennaya nauka, aktualnyie problemyi teorii i praktiki*, 11, 31–35 (in Russian).
42. Sheliah-Sosonko, Yu. R. (2010). Rol bioriznomanitnosti na suchasnomu etapi tsyvilizatsii [The role of biodiversity at the modern stage of civilization]. *Ukr. botan. zhurn.*, 67(1), 3–15 (in Ukrainian).
43. Skliar, V., Kyrylchuk, K., Tykhonova, O., Bondarieva, L., Zhatova, H., Klymenko, A., Bashtovyi, M. & Zubitsova, I. (2020). Ontogenetic structure of populations of forest-forming species of the Left-Bank Polissia of Ukraine. *Baltic Forestry* 26(1). doi: 10.46490/BF441
44. Stoiko, S. M. (2004a). Kryterii otsinky rarytetnosti vydiv [Criteria for assessing the rarity of species]. *Rarytetnyi fitohenofond zakhidnykh rehioniv Ukrainy (sozolahichna otsinka y naukovi zakhody okhorony)*, 57–64 (in Ukrainian).
45. Stoiko, S. M. (2004b). Metodolohichni zakhody okhorony rarytetnoho fitohenofondu [Methodological measures for the protection of the rare plant gene pool]. *Rarytetnyi fitohenofond zakhidnykh rehioniv Ukrainy (sozolahichna otsinka y naukovi zakhody okhorony)*, 11–15 (in Ukrainian).
46. Sytnyk, K. M. (2011). Biotychna riznomanitnist: stan i perspektyvy vyvchennia, zberezhenntia i zbahachennia [Biotic diversity: state and prospects of study, preservation and enrichment]. *Botan. i mikol., probl. i perspekt. na 2011-2020 rr*, 28–29 (In Ukrainian).
47. Zlobin, Yu. A. (1989). Printsipy i metody izucheniya tsenoticheskikh populyariy rastenyi [Principles and methods of studying coenotic plant populations]. Kazan, KGU, 146 (in Russian).
48. Zlobin, Yu. A. (2007). Strukturnaya integratsiya osobey rastenyi [Structural integration of plant individuals]. *Nauka, teoria i praktika*, 4, 37–41 (in Russian).
49. Zlobin, Yu. A. (2009). Populyatsionnaya ekologiya rastenyi: sovremennoe sostoyanie, tochki rosta [Population ecology of plants: current state, points of growth] Sumy, Universytetska knyha, 236 (in Russian).
50. Zlobin, Yu. A., Sklyar, V. G., & Klimentko, A. A. (2013). Populyatsii redkih vidov rastenyi: teoreticheskie osnovy i metodika izucheniya [Populations of rare plant species: theoretical foundations and methods of study]. Sumy, Universytetska knyha, 439 (in Russian).
51. Zlobin, Yu. A., Skliar, V. H., & Klymenko, H. O. (2022). Biolohiia ta ekolohiia fitopopuliacii [Biology and ecology of phytopopulations]. Sumy, Universytetska knyha, 512 (in Ukrainian).

Klymenko H.O., PhD (Biological Sciences), Associates Professor, Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine

Kyrylchuk K.S., PhD (Biological Sciences), Associates Professor, Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine

Sherstiuk M.Yu., PhD (Biological Sciences), Associates Professor, Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine

Zubitsova I. V., PhD (Biological Sciences), Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine

Klymenko I.M., Student, Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine

Dimidenko Yu.V., Student, Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine

Assessment of the status and population structure of the rare species *Dactylorhiza incarnata* (L.) Soó. In the urban environment (Sumy)

The problem of biodiversity loss since the end of the 20th century is one of the main problems at the global level, since it is the main condition for the sustainable existence of the biosphere. In the conditions of anthropogenic transformation of the Earth's vegetation cover, rare plant species are a critical component of biodiversity, primarily requiring comprehensive, comprehensive and long-term observations to ensure effective protection. Therefore, the purpose of the study was to conduct long-term monitoring of the *Dactylorhiza incarnata* (L.) Soó population growing in an urbanized environment within the city of Sumy, with an interval of five years (2017 and 2021). On the basis of data on changes in the total number, ontogenetic structure, ontogenetic spectra and ontogenetic indices, as well as on the basis of the data of a complete morphometric analysis, conclusions were made and an assessment was made regarding the stable existence of the population of *D. incarnata*. As a result, it was found that the total population size of *D. incarnata* increased by approximately 25% over five years, from 2017 to 2021. According to the ontogenetic structure and ontogenetic indices, the *D. incarnata* population was characterized as young with high recovery indices and a stable generativity index at the level of 21–22%. Morphometric analysis of *D. incarnata* plants showed a statistically significant ($p = 0.000–0.009$) increase for all calculated morphoparameters, except plant height, in 2021 compared to 2017. In general, the measured morphoparameters of *D. incarnata* plants in 2021 were characterized by a high level of variation. The highest indicators of the coefficients of variation are characteristic for the height of the inflorescence (24.5–32.8%) and the number of flowers (30–40%), and the lowest – for the number of leaves (10.7–21.7%), as well as for the height of plants in 2017 (16.1%) and leaf length in 2021 (16.5%). Regarding the morphological integrity of *D. incarnata* plants, as a reaction of plants to environmental factors, an increase in the index of morphological integration of individuals of this species was recorded over time, in an interval of five years – from 2017 to 2021. The conditions for the growth of the population of *D. incarnata*, in general, are assessed as optimal and contribute to its sustainable existence. All elements of the comprehensive population analysis revealed an improvement in the state of the population, which is also confirmed by the increase in the number of individuals. That is why, it is important to continue population monitoring of this rare species, since it has the status of «unassessed» according to the Red Book of Ukraine and requires the accumulation of factual data based on the results of long-term monitoring.

Key words: rare plant species, *Dactylorhiza incarnata* (L.) Soó, complex population analysis, long-term monitoring.

ВПЛИВ НОРМ ВИСІВУ НА РІСТ ТА РОЗВИТОК РОСЛИН СОРГО ЗЕРНОВОГО В УМОВАХ ПІВНІЧНО-СХІДНОГО ЛІСОСТЕПУ УКРАЇНИ

Коваленко Марина Олександрівна

аспірантка

Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна

ORCID: 0000-0002-3678-5220

marinavlad0050@gmail.com

Жатова Галина Олексіївна

кандидат сільськогосподарських наук, професор

Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна

ORCID: 0000-0002-8606-6750

gzhatova@ukr.net

Сорго є культурою з високою економічною цінністю, що використовується для харчових потреб, годівлі тварин та як товар для експорту. З сорго пов'язують можливі сценарії майбутнього аграрного виробництва в умовах кліматичних змін. Саме сорго, як стресогенно-стійка культура, може замінити традиційні зернові культури. Біологічні особливості сорго та перспективи вирощування культури в майбутньому привертають увагу багатьох дослідників в різних регіонах світу. Зважаючи на це, дослідження особливостей вирощування сорго в умовах Північно-східної України є на часі. Пошук оптимальної норми висіву та щільності рослин в агроценозі є основою отримання оптимального стеблестою, досягнення високої врожайності та високого прибутку. Для реалізації максимального потенціалу врожайності необхідна збалансована чисельність особин в популяції рослин, тобто певний рівень густоти посіву.

На сьогодні проведено недостатню кількість переконливих досліджень для розуміння ефективності вирощування сучасних удосконалених сортів сорго щодо їх реагування на густоту стеблестою рослин для інтенсифікації виробництва зерна цієї культури. З цією метою в 2020–2022 рр. у Сумському НАУ було закладено досліді з вивчення оптимальних норм висіву сорго зернового та впливу густоти стеблестою (структури агропопуляції) на ріст та розвиток рослин в умовах Північно-Східного Лісостепу України.

Вивчали вплив різних норм висіву на ріст та розвиток рослин сортів та гібридів сорго зернового (Янкі, Краєвид, Дніпровський 39, Самаран 6). Отримані дані показали, що зі збільшенням густоти стояння кількість листків на одній рослині істотно зменшувалася за всіма варіантами досліді в усіх сортозразків. Загущення стеблестою (норма висіву 490 тис.га) призводило до збільшення висоти рослин, негативно впливало на площу листової поверхні рослин (зменшується кількість листків та їх площа) та вміст пігментів (хлорофілу а та в) в листках. Оптимальною нормою висіву щодо формування вегетативних органів рослин та асиміляційної поверхні була 165 тис/га. Разом з тим, неоднозначна реакція сортозразків на певні варіанти норм висіву вказує на необхідність проведення додаткових досліджень.

Ключові слова: сорго зернове, сорти, норми висіву, густота стояння рослин, площа листків, розвиток рослин, вміст хлорофілу.

DOI <https://doi.org/10.32845/agrobio.2022.3.4>

Вступ. Сорго є культурою з високою економічною цінністю, що використовується для харчових потреб, як корм та товар для експорту. З сорго пов'язують можливі сценарії майбутнього аграрного виробництва в умовах кліматичних змін. Очікується, що підвищення температури та посуха як наслідки кліматичних змін, створять гострі проблеми для виробництва, особливо зернових культур. Саме сорго (*Sorghum bicolor* L. Moench) як стресогенно-стійка культура може замінити традиційні зернові у майбутньому. Біологічні особливості та технологічні аспекти вирощування сорго привертають увагу багатьох дослідників в різних регіонах світу та країнах Європи. Зважаючи на це, дослідження особливостей вирощування сорго в умовах Північно-Східної України є на часі.

Пошук оптимальної норми сівби та щільності рослин в агроценозі є основою отримання оптимального стеблестою, досягнення високої врожайності та максималь-

ного прибутку (Widdicombe & Thelen, 2002). Для реалізації максимального потенціалу врожайності необхідна збалансована чисельність особин в популяції рослин, тобто певний рівень густоти посіву. Надмірна кількість рослин може бути згубною для виробництва, призвести до надмірного вилягання та загальної втрати врожаю (Thomison & Jordan, 1995).

За загущення посіву набуває значення конкуренція між рослинами за світло, воду та поживні речовини, що негативно позначається на врожайності (Berenguer & Faci, 2001; Caliscan et al., 2007; Li et al., 2016). Надто низька кількість особин в популяції спричиняє посилення конкуренції з бур'янами (Norsworthy & Oliver, 2002) і також знижує можливості реалізації потенціалу врожайності (Edwards & Purcell, 2005).

Зміна чисельності популяції рослин та їх розташування (зокрема за рахунок ширини міжрядь) має різні, але взаємодоповнюючі впливи щодо використання

доступних ресурсів, і зрештою визначатиме врожайність. Чисельність особин в популяції обумовлює ефективність розподілу ресурсів, у той час як розташування рослин контролює споживання цих ресурсів (Jones, 1987).

Встановлено, що оптимальна щільність рослин в ценозі залежить від особливостей культури (Biswas & Ahmed, 2014). Норма висіву насіння та ширина міжрядь є важливими факторами при вирощуванні культури сорго, які впливають на густоту стеблестою та параметри врожайності. Разом з тим, вплив ширини міжрядь та структури популяції рослин на врожайність зерна сорго змінюється залежно від низки абіотичних факторів, зокрема сумарної температури, наявності початкової ґрунтової вологи, загальної кількості опадів і особливо – вологості ґрунту під час цвітіння та наливання зерна.

Хоча оптимальна норма сівби та щільність рослин для сорго відрізняються залежно від регіону, дослідження показали, що врожайність насіння загалом зростає зі збільшенням чисельності рослин в популяції. Проте при нижчій, за рекомендовану, густоті рослин, кількість волотей зернового сорго на рослину або кількість насіння на волоть також збільшується.

Myers & Foale (1981) дійшли висновку про відсутність постійного зв'язку між чисельністю популяції рослин і врожайністю, що ймовірно, пов'язане з компенсаторною здатністю рослин до куціння. Доведено, що оптимальний діапазон щільності для врожайності зерна є досить широким для культур із термінальними суцвіттями та потужною здатністю до утворення бічних пагонів за нормальної густоти посіву. Така особливість притаманна, зокрема, культурі сорго. Збільшення чисельності популяції рослин призводить до зменшення кількості бічних пагонів (Caliskan et al., 2007), висоти рослини (Ayub et al., 2003) та діаметра стебла, але при цьому врожайність зерна з одиниці площі зростає (Caliskan et al., 2007; Krishnareddy et al., 2006).

Ширина міжрядь також впливає на здатність рослин реалізувати потенціал врожайності (Silva et al.). Зменшення відстані між рядами покращує боротьбу з бур'янами за рахунок збільшення конкуренції і зменшення надходження світла (Andrade et al., 2002). Зміна ширини міжрядь впливає на перехоплення світла та використання вологи в ґрунті (Berenguer & Faci, 2001; Conley et al., 2005). Реакція рослин на ширину міжряддя залежить від наявності води та часом цвітіння в посушливих регіонах (Silva et al., 2017; Tang et al., 2018).

В досліджах показано, що популяція рослин сорго в посушливих районах має складати приблизно 50–80 тис. рослин/га. Про аналогічні результати повідомляє Gondal et al. (2018) і наводить оптимальну густоту стояння 60–80 тис. рослин/га. Разом з тим повідомляється, що популяція рослин для зрощуваного сорго повинна складати до 250 тис. рослин/га та близько 50 тис. рослин/га в посушливих умовах. (Ajidahun & Sebetha, 2022).

Експеримент з вивчення впливу норми висіву (5; 7,5; 10; 12,5 і 15 кг/га) і ширини міжрядь (30, 45 і 60 см) на основні характеристики рослин сорго показали, що ширина міжрядь не мала істотного впливу на діаметр

стебла, кількість волотей на рослину та масу 1000 зерен. Висота рослин зростала зі збільшенням норми висіву насіння в усіх варіантах ширини міжрядь. Вузькі міжряддя (30 см) і низька норма висіву (5 кг/га) забезпечили стабільно максимальний урожай зерна. Нижча врожайність була зареєстрована в варіантах із більшою шириною міжрядь (60 см) і вищими нормами висіву (7,5; 10; 12,5 і 15 кг/га).

В умовах Лівобережної Лісостепової зони України (ширина міжрядь: 35, 50 та 70 см) максимальний урожай для всіх гібридів був сформований за ширини міжрядь 50 см (Kalenska et al., 2018).

Оптимальна ширина міжрядь та норма висіву насіння сортів сорго зернового становила 45 см та нормою висіву 200 тис. шт./га в умовах Правобережного Лісостепу України, саме такі варіанти забезпечили найінтенсивніший ріст і розвиток рослин. Зменшення ширини міжрядь до 15 см і збільшення до 70 см призводило до зниження основних параметрів росту й розвитку сорго (Pravdyva, 2021).

На сьогодні проведено недостатню кількість переконливих досліджень для розуміння ефективності вирощування сучасних удосконалених сортів сорго щодо їх реагування на густоту стеблестою рослин для інтенсифікації виробництва зерна цієї культури.

З цієї метою в 2020–2022 рр. у Сумському НАУ було закладено досліди з вивчення оптимальних норм висіву сорго зернового та впливу густоти стеблестою (структури агропопуляції) на ріст та розвиток рослин в умовах Північно-східного Лісостепу України.

Матеріали і методи досліджень. Дослідження проводилися на навчально-науковому полігоні кафедри агротехнологій та ґрунтознавства Сумського національного аграрного університету. Розмір облікової ділянки 1,5 x 9 = 13,5 м². Двофакторний польовий дослід був закладений методом рендомізованих ділянок. Фактор А – сорти та гібриди сорго зернового: Янкi, Краєвид, Дніпровський 39, Самаран 6. Фактор В – норма висіву насіння (табл. 1). Кількість варіантів у досліді – 12, загальна кількість ділянок у досліді – 36. Всі основні і допоміжні дослідження проводили у триразовій повторності. Попередник – пшениця озима. Агротехніка вирощування сорго зернового в польовому досліді була загальноприйнята для зони Північно-східного Лісостепу.

Таблиця 1

Схема досліді

| Фактор А сорт/гібрид | Фактор В (норма висіву насіння) | | |
|----------------------|---------------------------------|------------|------------|
| Янкi | 165 тис/га | 330 тис/га | 490 тис/га |
| Краєвид | | | |
| Дніпровський 39 | | | |
| Самаран 6 | | | |

Матеріал досліджень – сорти та гібриди сорго зернового.

Сорт Краєвид. Оригіна́тор – Державна установа Інститут сільського господарства степової зони Національної академії аграрних наук України. Напря́м використання: зерновий, фуражний, харчовий. Реко-

мендована зона для вирощування: Степ. Група стиглості: середньоранній. Урожайність: 3,2–4,6 тон/га. Рік реєстрації: 2004.

Сорт Дніпровський 39. Оригінація – Синельниківська селекційно-дослідна станція Інституту сільського господарства степової зони Національної академії аграрних наук України. Напрямок використання: фуражний, харчовий. Рекомендована зона для вирощування: Степ. Група стиглості: середньостиглий. Урожайність: 6,5–7,0 тон/га. Рік реєстрації: 2000.

Гібрид Янкі. Оригінація – Адванта Сідз Інтернешнал (США). Напрямок використання: зерновий. Якість: висококрохмальний. Рекомендована зона для вирощування: Лісостеп. Група стиглості: ранньостиглий. Потенціал врожайності – до 10 т/га. Рік реєстрації: 2016.

Сорт Самаран 6. Оригінація – Інститут сільського господарства степової зони НААН України. Напрямок використання: харчовий. Рекомендована зона для вирощування: Степ. Група стиглості: ранньостиглий. Продуктивність: 3,5–4,8 тон/га. Сорт посухостійкий, стійкий до вилягання, хвороб і шкідників. Рік реєстрації: 2006.

Закладення та проведення дослідів, відбір ґрунтових і рослинних зразків, підготовку їх до аналізу проводили відповідно до методичних вказівок та Державних стандартів України [Volkodav, 2000; Hrytstaienko et al., 2003].

Упродовж вегетаційного періоду в основні фази розвитку сортів і гібридів сорго проводили біометричні виміри: висоти рослин, площі листової поверхні. Густоту посівів визначали два рази за вегетацію на фіксованих ділянках, які виділили після появи сходів. Перший підрахунок проводили у фазу повних сходів, другий – перед збиранням урожаю. За даними першого обліку визначали польову схожість насіння і формували густоту згідно схеми дослідів, а другого – збереженість рослин за вегетаційний період.

Висоту рослин, площу асиміляційної поверхні листків визначали в основні фази росту та розвитку рослин сорго. Висоту рослин вимірювали до фази цвітіння – від поверхні ґрунту до верху самого довгого (втягнутого) листка, після фази викидання волоті – від поверхні ґрунту до верхньої кінцівки волоті.

Статистична обробка даних здійснювалась шляхом дисперсійного аналізу за допомогою комп'ютерних програм «MSTAT» та «Agrobases».

Результати. Висота рослин є важливим морфологічним параметром сорго. Відомо, що затінення збільшує висоту рослин сорго та довжину міжвузлів стебла. (Кеврон, 2017) Висота рослин залежить від густоти стеблествою та сортових особливостей. Низькорослі генотипи показують кращі результати за високої щільності стояння, а високорослі генотипи кращі за нижчою

Проведені дослідів показали, що висота рослин варіювала залежно від сорту та норм сівби. Аналіз наведених даних дає можливість зробити висновок, що всі досліджувані сорти і гібриди сорго зернового належать за габітусом до компактною групи, а через це сорторозривки практично не відрізняються між собою за висотою (табл. 2).

Цей параметр був найменшим у сортів на варіанті з нормою висіву 165 тис/га і варіював від 109 см (Краєвид) до 125,6 см. (Дніпровський 39). Висота збільшувалася зі збільшенням норми висіву і досягала максимальних значень в варіанті 490 тис/га: Самаран – 119,6 см, Краєвид – 116,7 см.

Таблиця 2

Висота рослин сорго зернового в фазу молочної стиглості, залежно від норм висіву, см (середнє за 2021–2022 рр.)

| Сорт/гібрид | Норма висіву (тис/га) | | |
|-----------------------------|-----------------------|-------|-------|
| | 165 | 330 | 490 |
| Висота рослин, см | | | |
| Янкі | 96,3 | 97 | 91,6 |
| Краєвид | 109 | 112,3 | 116,7 |
| Дніпровський 39 | 125,6 | 134 | 130,7 |
| Самаран 6 | 112,3 | 112 | 119,6 |
| НІР ⁰⁰⁵ А* | | 4,72 | |
| НІР ⁰⁰⁵ В* | | 4,09 | |
| НІР ⁰⁰⁵ загальна | | 6,18 | |

*А – сорт; *В – норма висіву

Рослини гібриду Янкі відзначалися іншою реакцією на норму висіву: висота знижувалася тільки в варіанті 490 тис./га – на 5 % .

Разом з тим цей параметр рослин збільшувався зі збільшенням густоти стояння рослин і досягав максимуму при нормі висіву 330 тис/га в сорту Янкі – 97 см, а також в сорту Дніпровський 39–134 см. Фактор А був визначальним щодо показника висоти рослин і частка його впливу становила 76%, а норма висіву – фактор В – лише 10% (рис. 1). Такі результати пояснюються значними морфологічними відмінностями сортів незалежно від особливостей вирощування.

Листки є основними еко-фізіологічними органами рослини, продуцентами асимілянтів (вуглеводів). Майже 90% біомаси рослини виробляється листками. Оскільки листки є органами фотосинтезу та місцем створення основної частини біомаси, кількість листків впливає на врожайність.

Результати обліків кількості листків на одній рослині залежно від особливостей сорторозривки та норми висіву наведені в табл. 3.



Рис. 1. Частка впливу факторів на висоту рослин сорго

Таблиця 3

Кількість листків рослин сорго залежно від норм сівби, шт. (середнє за 2021–2022 рр.)

| Сорт/гібрид | Норма висіву (тис/га) | | |
|-----------------------------|------------------------|-----|-----|
| | 165 | 330 | 490 |
| | Кількість листків, шт. | | |
| Янкі | 23 | 22 | 15 |
| Краєвид | 22 | 17 | 16 |
| Дніпровський 39 | 22 | 21 | 15 |
| Самаран 6 | 27 | 16 | 14 |
| НІР ₀₀₅ А* | 3,72 | | |
| НІР ₀₀₅ В* | 3,22 | | |
| НІР ₀₀₅ загальна | 6,44 | | |

*А – сорт; В – норма висіву

Аналіз отриманих даних дозволяє зробити висновок, що зі збільшенням густоти стояння кількість листків на одній рослині істотно зменшувалася за всіма варіантами досліду. Активна реакція на норми висіву була відзначена у всіх сортозразків: зменшення кількості листків на одну рослину відбувалося зі збільшенням норми висіву. За максимальної норми висіву 490 тис./га цей показник коливався від 7 шт. у сорту Дніпровський 39 (різниця між крайніми варіантами цього сорту становила 32%) до 13 шт. на рослину у сорту Самаран 6 (різниця між варіантами була 48 %).

Площа листків є ключовою ознакою, яка використовується в дослідженнях, характеризує співвідношення між асиміляційною поверхнею рослини та рівнем врожайності. Зростання площі листків визначає здатність культури перехоплювати світло і часто використовується для оцінки росту і розвитку рослин. Чим ближче відстань між рослинами, тим меншою буде загальна площа листової поверхні, через взаємне затінення листків. При визначенні площі листків у рослин сорго встановлено, що у сорту Самаран, Дніпровський 39 та гібриду Янкі фіксували зменшення площі листків зі збільшенням норми висіву (від 0,82 до 0,57), від 1,01 до 0,62 та від 0,9 до 0,52 м² (табл. 4)

Таблиця 4

Площа листової поверхні рослин сорго залежно від норм висіву, м² (середнє за 2021–2022 рр.)

| Сорт/гібрид | Норма висіву (тис/га) | | |
|-----------------------------|---|------|------|
| | 165 | 330 | 490 |
| | Площа листової поверхні, м ² | | |
| Янкі | 0,82 | 0,79 | 0,57 |
| Краєвид | 1,04 | 0,62 | 1,06 |
| Дніпровський 39 | 1,01 | 0,63 | 0,62 |
| Самаран 6 | 0,9 | 0,43 | 0,52 |
| НІР ₀₀₅ А* | 0,23 | | |
| НІР ₀₀₅ В* | 0,20 | | |
| НІР ₀₀₅ загальна | 0,39 | | |

*А – сорт; В – норма висіву

Менш виразною була реакція рослин сорту Краєвид на фактор норм висіву. Визначення впливу окремих факторів, що вивчалися в досліді на асиміляційну площу рослин показало, що найбільший вплив мав фактор В – норми висіву – 23% (рис. 2). Особливості сортів були вторинними і вплив фактора А становив 14%.



Рис. 2. Вплив факторів на площу листової поверхні

Як рослина С4 типу, сорго має високу фотосинтетичну ефективність, а також високу ефективність синтезу вуглеводів порівняно з рослинами С3. Хлорофіл як основний компонент пігментної системи листків є важливим інформативним показником загального стану рослини. Визначення вмісту хлорофілу в листках можна використовувати для дослідження фізіологічного статусу рослин. Вміст хлорофілу – важлива ознака, пов'язана зі здатністю до фотосинтезу та стадіями розвитку культури. існує певний зв'язок між вмістом хлорофілу і продуктивністю рослин. Основна роль при цьому належить хлорофілу «а». Цей показник вважається характеристикою ценозу і співвідношення пігментів в листках може бути використане для прогнозування продуктивності.

Колівання вмісту цього пігменту пов'язані з дією несприятливих факторів. Як правило, зі збільшенням рівня дії стресогенних факторів будь-якої природи вміст хлорофілу має тенденцію до зменшення. Тому вивчення вмісту хлорофілу та його ролі в урожайності та виробництві сорго є вкрай важливим.

При проведенні аналізу вмісту пігментів в листках сорго було виявлено, що максимальний вміст хлорофілу «а» був у рослин сорту Самаран 6–0,91 мг/г на варіанті з нормою висіву 165 тис./га. (табл. 5).

У всіх сортів спостерігали тенденцію до зниження вмісту цього пігменту зі збільшенням норми висіву: на 13% – сорт Самаран 6, на 6% – гібрид Янкі та сорт Дніпровський, 5% – сорт Краєвид.

Вміст хлорофілу «а» знижувався зі збільшенням норм сівби від 0,91 (сорт Самаран 6) до 0,79 мг/г. Що стосується вмісту хлорофілу «в», то зниження цього пігменту прослідковувалось більш чітко: від 1,35–1,25 мг/г (Янкі), від 1,27–1,21 мг/г (Краєвид), 1,31–1,20 мг/г (Дніпровський 39), 1,26–1,23 мг/г – Самаран. Найменші значення вмісту цього пігменту були на варіанті з найбільшою нормою висіву – 490 тис./га.

Обговорення. Диференційоване просторове використання ресурсів, а саме сонячної радіації, води та поживних речовин, тісно пов'язане з густотою стояння рослин в посіві. Система конфігурації рядів або загушення рослин змінює кількість світла, що надходить до нижнього ярусу листків, і впливає на конкуренцію видів за світло, воду та поживні речовини. Подовження стебла, викликане затіненням або підвищеною густотою посіву, збіль-

Вміст фотосинтетичних пігментів у рослин сорго залежно від норм висіву насіння, мг/г.

| Сорт/гібрид | Норма висіву (тис/га) | | | | | |
|-----------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| | 165 | | 330 | | 490 | |
| | Вміст хлорофілу "а", мг/г | Вміст хлорофілу "b", мг/г | Вміст хлорофілу "а", мг/г | Вміст хлорофілу "b", мг/г | Вміст хлорофілу "а", мг/г | Вміст хлорофілу "b", мг/г |
| Янкі | 0,88 | 1,35 | 0,79 | 1,31 | 0,83 | 1,25 |
| Краєвид | 0,84 | 1,27 | 0,82 | 1,23 | 0,80 | 1,21 |
| Дніпровський 39 | 0,90 | 1,31 | 0,86 | 1,28 | 0,81 | 1,20 |
| Самаран 6 | 0,91 | 1,26 | 0,85 | 1,23 | 0,79 | 1,23 |

шує висоту, допомагаючи конкурувати з сусідніми рослинами за сонячне світло, зменшує галузнення (кущіння) і викликає ранній початок старіння листків.

В наших досліджах відмінності за кількістю та площею листків між сортами визначалися взаємодією сорту та факторів навколишнього середовища, що співпадає з результатами дослідів деяких науковців (Saber & Siti Aishah, 2013).

Повідомляють, що сорти з довшою тривалістю вегетації мають вищі значення площі листової поверхні (Lukeba et al., 2013), оскільки утворюють більшу кількість листків великого розміру. Між кількістю, довжиною і площею листків існує лінійна залежність (Parmar & Chandra, 2002).

Затінення спричиняє зміни у співвідношенні насамперед фоторецепторів червоного світла (фітохромів), які опосередковують реакції уникнення затінення. Генотипи сорго, у яких відсутній фітохром В (phyB-1), демонструють фенотипи уникнення затінення, тобто зниження кущіння, раннє цвітіння, посилений ріст пагонів, накопичення гібереліну та посилений біосинтез етилену (Franklin & Whitelam, 2005).

Кількісне визначення вмісту хлорофілу в листках рослини відображає ефективність фотосинтезу конкретної рослини, а на певному етапі також характеризує стадію зрілості рослини. За несприятливих умов навколишнього середовища знижується не тільки вміст хлорофілу в рослині сорго, а й інші параметри, а саме: висота рослини, кількість листків (Ouyier et al., 2017; Karanigowda et al., 2013). В наших досліджах в якості такого параметру можна розглядати високу норму висіву, яка формує загущений посів і призводить до зниження кількості листків та зниження вмісту хлорофілу.

Ряд дослідників (Maulana & Tesso, 2013) вважають, що пізня сівба може пригнічувати біосинтез хлорофілу

та швидкість фотосинтезу і негативно впливає на ріст і розвиток, що призводить до зниження кінцевої продуктивності рослини цукрового сорго. Зв'язок вмісту хлорофілу в листках і хлорофільного індексу з урожайністю встановлено і на інших культурах. Тіснує кореляцію між сумою фракцій хлорофілу а і b та продуктивністю рослин виявлено під час досліджень, проведених на рослинах пшениці твердої ярої (Rozkov & Pusik, 2013).

Розмір і стабільність фотосинтетичного апарату не тільки важливі для фотосинтетичної функції, але і є джерелом регуляторних сигналів, за межами хлоропластів. Особливу роль відіграє хлорофіл b (Chlb) у регуляції розвитку рослин. Chlb – облігатний компонент фотосинтетичного апарату вищих рослин та основний регулятор процесів біосинтезу. Однак, як показують дослідження, крім пригнічення фотосинтетичної функції, відсутність хлорофілу «b» викликає затримку цвітіння та передчасний запуск програм онтогенетичного та індукованого старіння. Тенденція до зниження вмісту хлорофілу «b» при загущенні посіву в наших досліджах ілюструє негативну реакцію рослин на дію цього фактору.

Висновки. Вивчення впливу норм висіву та особливостей сортотразків сорго показало, що ці фактори змінювали кількісні показники параметрів вегетативної сфери рослин. Висока норма висіву (490 тис./га) призводила до збільшення висоти рослин. Зі збільшенням норм висіву зменшується кількість листків та площа листової поверхні у всіх сортів. Негативним був вплив і на вміст пігментів в листках. Оптимальні показники асиміляційного апарату рослин було відмічено в варіанті з найнижчою нормою висіву 165 тис./га. Разом з тим, неоднозначна реакція сортотразків на певні варіанти норм висіву вказує на необхідність проведення додаткових досліджень.

Бібліографічні посилання:

1. Andrade, F. H., Calvino P., Cirilo, A. & Baebieri, P. (2002). Yield responses to narrow row depend on increased radiation interception. *Agronomy Journal*, 94(10), 113–118.
2. Ajidahun, J. A. & Sebetha, E. T. (2022) Sorghum Grain Quality as Influenced by Plant Density, Nitrogen Nutrition and Cultivar. *Indian Journal of Agricultural Research*, 56, 177–182. doi: 10.18805/IJARE.A-656
3. Arunakumari, H. & Rekha S. (2016). Plant density and nitrogen in sorghum. *International Journal of Science Natural*, 7(4), 702–706
4. Berenguer, M. J. & Faci J. M. (2001). Sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) yield compensation processes under different plant densities and variable water supply. *European Journal of Agronomy*, 15, 43–55.
5. Caliskan, S., Aslan, M., Uremis, I., & Caliskan, M. E. (2007). The effect of row spacing on yield and yield component of full season and double cropped soybean. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 31, 147–154.
6. Carriedo, L. G., Maloof, J. N. & Brady, S. M. (2016). Molecular control of crop shade avoidance. *Curr. Opin. Plant Biol.*, 30, 151–158.

7. Carmi, A., Aharoni, Y., Edelstein, M., Umiel, N., Hagiladi, A., Yosef, E., Nikbachat, M., Zenou, A. & Miron, J. (2006) Effects of irrigation and plant density on yield, composition and in vitro digestibility of a new forage sorghum variety, Tal, at two maturity stages. *Animal Feed Science and Technology*, 131, 120–132.
8. Carlos, J., Dan, F., Fromme, D. & W. James Grichar (2012) Grain sorghum response to row spacing and plant populations in the Texas coastal bend region., *International Journal of Agronomy*, 2012, Article ID 238634. doi: 10.1155/2012/238634
9. Conley, S. P., Stevens, W. G., & Dunn, D. D. (2005) Grain sorghum response to row spacing, plant density, and planter skips. *Crop Management*.
10. Christopher, E. Rouse, Nilda R. Burgos, Vijay Singh & Larry Earnest (2020) Evaluation of sweet sorghum planting density and minimal nitrogen input, under irrigated and non-irrigated conditions, for bioethanol feedstock production, *Biofuels*, 11(5), 577–586. doi: 10.1080/17597269.2017.1378992
11. Dembele, J. S. B., Gano B, Vaksmann, M., Kouressy M., Dembele, L.L., Doumbia, M., Teme, N., Diouf, D. & Audebert, A. (2020) Response of eight sorghum varieties to plant density and nitrogen fertilization in the Sudano-Sahelian zone in Mali. *African Journal of Agricultural Research*, 16(10), 1401–1410. doi: 10.5897/AJAR2020.15025
12. Franklin, K. A. & Whitelam, G. C. (2005). Phytochromes and shade-avoidance responses in plants. *Ann. Bot.* 96, 169–175.
13. Jones, O. R. & G. L. Johnson (1991) Row width and plant density effects on Texas High Plains sorghum, *Journal Production Agriculture*, 4, 613–621.
14. Gondal, M., Hussain, A., Yasin, S., Musa, M., & Rehman, H. (2018). Effect of seed rate and row spacing on grain yield of sorghum. *SAARC Journal of Agriculture*, 15(2), 81–91. doi: 10.3329/sja.v15i2.35154
15. Hrytsaienka, Z. M Hrytsaienka, A. A. & Karpenko, V. P. *Metody biolohichnykh ta ahronomichnykh doslidzhen roslyn i hruntiv.* [Methods of biological and agronomic research of plants and soils]. Kyiv, Nichlava, 2003, 320. (in Ukrainian)
16. Kebrom, T. H. & Mullet, J. E. (2016). Transcriptome profiling of tiller buds provides new insights into PhyB regulation of tillering and indeterminate growth in sorghum. *Plant Physiol.* 170, 2232–2250. doi: 10.1104/pp.16.00014
17. Kebrom, T. H. (2017). A growing stem inhibits bud outgrowth—the overlooked theory of apical dominance. *Front. Plant Sci.*, 8, 1874. doi: 10.3389/fpls.2017.01874
18. Kalenska, S. M., & Naidenko, V. M. (2018). Urozhainist sorho zernovoho zalezno vid shyryny mizhriad ta systemy udobrennia [Harvest of grain sorghum depending on the width of the rows and the fertilization system]. *Scientific Papers of the Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet*, 26, 67–75. (in Ukrainian). doi: 10.47414/np.26.2018.211203
19. Kapanigowda, M. H., Perumal, R., Djanaguiraman, M., Aiken, R.M., Tesso, T., Prasad, P. V.V. & Little, C. R. (2013). Genotypic variation in sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] exotic germplasm collections for drought and disease tolerance. *Springer Plus*, 2, 2–13.
20. Karazhbei, H. M., & Tehun, S. V. (2012). Produktivnist sorho zvychainoho dvokolorovoho (*Sorghum bicolor* L.) zalezno vid rivnia mineralnoho zhyvlennia ta hustoty stoiannia. [Productivity of two-color sorghum (*Sorghum bicolor* L.) depending on the level of mineral nutrition and plant density] *Scientific papers of the Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet*, 14, 67–70. (in Ukrainian).
21. Lafarge, T.A. & Hammer, G. L. (2002). Predicting crop leaf area production: shoot assimilate accumulation and partitioning, and leaf area ratio, are stable for a range of sorghum population densities. *Field Crops Research*, 137–151.
22. Lukeba J.-C. L., Vumilia R.K, Nkongolo K.C.K., Mwabila M. L., & Tsumbu, M. (2013) Growth and Leaf Area Index Simulation in Maize (*Zea mays* L.) Under Small-Scale Farm Conditions in a Sub-Saharan African Region”, *American Journal of Plant Sciences*, 4 (3), 575–583. doi:10.4236/ajps.2013.43075
23. Maulana, F. & Tesso, T. T. (2013). Cold temperature episode at seedling and flowering stages reduces growth and yield components in sorghum. *Crop Science*, 53, 564–574.
24. Myers, R. J. K. & M. A. Foale (1981). Row spacing and population density in grain sorghum: a simple analysis. *Field Crops Res.*, 4, 147–154.
25. Oyier, M. O., Owuoche, J.O., Oyoo, M. E., Cheruiyot, E., Mulianga, B. & Rono, J. (2017). Effect of harvesting stage on sweet sorghum (*Sorghum bicolor* L.) genotypes in Western Kenya. *The Scientific World Journal*, Article ID 8249532, 10 pages. doi: 10.1155/2017/8249532
26. Parmar, N.G. & S.V. Chandra (2002). Growth analysis using curve fitting method in early and late son sunflower. *Planr Breeding and Seed Science* 46(1), 61–69.
27. Pravdyva, L. A. (2021). Features of growth of sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] plants depending on the width of rows and seeding rate in the conditions of the Right-Bank Forest-Steppe of Ukraine. *Plant Varieties Studying and Protection*, 17(2), 139–145. doi: 10.21498/2518-1017.17.2.2021.236521
28. Rozhkov, A. O. & Puzik, V. K. (2013.) *Dynamika formuvannia pihmentnykh rehovyn u lystkakh roslyn pshenytsi tverdoi yaroj za dii riznykh variantiv tsenotychnoi napruhy mizh roslynami v posivakh* [The dynamics of the formation of pigment substances in the leaves of durum spring wheat plants under the influence of different variants of the coenotic tension between plants in crops]. *Bulletin of the Poltava State Academy*, 3, 7–12 (in Ukrainian).
29. Saberi A. R. & Siti Aishah H. (2013) Nutrient Concentration of Forage Sorghum (*Sorghum Bicolor* L) Varieties Under Influenced Of Salinity and Irrigation Frequency. *The International Journal of Biotechnology*. Pak Publishing Group, 2(10), 163–170.
30. Sana Qasim Hussein, & Ali Kareem Hussein. (2021). Effect of Plant Densities on Some Growth Traits of Varieties of Sorghum (*Sorghum bicolor* (L) Moench). *Annals of the Romanian Society for Cell Biology*, 4455–4463. Access mode: <https://www.annalsofscb.ro/index.php/journal/article/view/1941>
31. Schwechheimer, C. & Willige, B. C. (2009) Shedding light on gibberellic acid signalling. *Curr. Opin. Plant Biol.*, 12, 57–62.

32. Silva, J. M. F. D., Dutra, A. S., Camara, F. T. D.a, Pinto, A. A., & Silva, F. E. D.a (2017). Row spacing, plant density, sowing and harvest times for sweet sorghum. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 47, 408–415. doi: 10.1590/1983-40632017v474858
33. Stamm, P. & Kumar, P. P. (2010). The phytohormone signal network regulating elongation growth during shade avoidance. *J. Exp. Bot.*, 61, 2889–2903
34. Tang, C., Sun, C., Du, F., Chen, F., Ameen, A., Fu, T. & Hui Xie G. (2018). Effect of Plant Density on Sweet and Biomass Sorghum Production on Semiarid Marginal Land. *Sugar Tech.*, 20, 312–322. doi: 10.1007/s12355-017-0553-3
35. Thomison, P. R. & Jordan, D. M. (1995) Plant population effects on corn hybrids differing in ear growth habit and prolificacy. *Journal of Production Agriculture*, 8, 394–400. doi: 10.2134/jpa1995.0394
36. Volkodav V. V. Metodyka sortovyprobuvannia s.-h. kultur / V. V. Volkodav, A. V. Andrushchenko, A. V. Pilkevych. [Methodology of crop variety testing]. Kyiv, 2000. – 100 (in Ukrainian)
37. Yu, K. M. J., McKinley, B. & Rooney, W. L. (2021). High planting density induces the expression of GA3-oxidase in leaves and GA mediated stem elongation in bioenergy sorghum. *Sci Rep.*, 11, 46. doi: 10.1038/s41598-020-79975-8
38. Wang, Y., Sun, J., Ali, Sameh S.; Gao, L.; Xingnan, N., Xia, L., Yanfang, W. & Jianxiong, J. (2020). Identification and expression analysis of *Sorghum bicolor* gibberellin oxidase genes with varied gibberellin levels involved in regulation of stem biomass. *Ind. Crops Prod.*, 145, 111951.

Kovalenko M.O., PhD student, Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine

Zhatova H.O., PhD (Agricultural Sciences), Professor, Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine

Influence of sowing rates on the growth and development of grain sorghum in North-Eastern part of Ukraine

Sorghum is a crop with high economic value, used for food needs, animal feed and as a commodity for export. Sorghum is associated with possible scenarios of future agricultural production in the conditions of climate change. It is sorghum, as a stress-resistant crop, that can replace traditional grain crops.

The biological features of sorghum and the future prospects of crop growing attract the attention of many researchers in different regions of the world. Considering this, the study of the sorghum characteristics in the conditions of North-Eastern Ukraine is relevant. The search for the optimal sowing rate and plant density in the agrocenosis is the basis for obtaining the optimal crop, achieving high yield and maximum profit. To realize the maximum yield potential, a balanced number of individuals in the plant population is necessary, i.e. a certain level of sowing density. For this purpose, in 2020–2022, experiment was carried out with sorghum crop. The aim of it was to study the optimal sowing rates of grain sorghum and the influence of stem density (agropopulation structure) on the growth and development of plants in the conditions of the North-Eastern Forest Steppe of Ukraine. The influence of different sowing rates on grain sorghum varieties and hybrids was investigated (Yanki, Kraevydy, Dniprovskiyi 39, Samaran 6) by analyzing the growth and development characteristics of plants. The obtained data showed that with an increase in the stand density, the number of leaves per plant decreased significantly in all variants of the experiment in all variety samples. Thickening with stalks (sowing rate of 490 th/ha) led to an increase in the height of plants, negatively affected the area of the leaf surface of plants (the number of leaves and their area decreased) and the content of pigments (chlorophyll a and chlorophyll c) in the leaves. The optimal sowing rate for the formation of vegetative organs of plants and the assimilation area was 165 th/ha. At the same time, the ambiguous reaction of the variety samples to certain options sowing rates indicates the need for additional research.

Key words: grain sorghum, sowing rates, growth parameters, plant density, chlorophyll content, plant development.

ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ УРОЖАЙНОСТІ 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

Соняшник належить до культур з низькою передзбиральною густрою посіву та невисокою компенсаційною здатністю параметрів, які є складовими врожаю. Ця особливість ускладнює функціонування популяційних механізмів регуляції генеративних параметрів рослин подібно тому, як це відбувається у посівах злакових культур. Успішність реалізації генеративного потенціалу рослин (урожайності посіву) визначається відповідністю селекційно створених механізмів формування продуктивності рослин конкретним умовам середовища. За цих умов найбільш дієвим методом стабілізації та підвищення урожайності культури є правильний підбір гібридів.

З метою оцінювання ефективності різних схем формування урожайності соняшнику в 2019–2021 рр. вивчали 9 гібридів культури. Дослідження проводили в рамках наукових тематик Сумського НАУ та Інституту сільського господарства Північного Сходу НААН України. Умови польового дослідження відтворювали основний діапазон агротехнічних умов вирощування соняшнику в зоні північно-східного Лісостепу України.

Діапазон погодних умов років досліджень сприяв виявленню генотипів, що характеризувались здатністю до активного росту в умовах знижених температур і достатньої кількості опадів у ювенільні фази розвитку та здатністю до реалізації генеративного потенціалу рослин за підвищених температур і дефіциту вологи у другій половині вегетації. Показники урожайності та їх відхилення від середнього ми аналізували в розрізі гібридів, років досліджень та норм мінеральних добрив. Оцінювання схем формування урожайності проводили на основі показника екологічної пластичності для основних селекційно контрольованих ознак.

За результатами вивчення реакції гібридів соняшнику на умови року та дози добрив встановлено, що: 1) відмінності у показниках середньої урожайності окремих років досліджень зростають на варіантах із внесенням середньої норми мінеральних добрив, у той час, як на варіанті із максимальною нормою добрив спостерігається зворотний ефект: послаблення реакції гібридів на відмінності погодних умов; 2) подібність реакції маловрожайних гібридів на погодні умови вказує, що в їх основі лежить спільний комплекс генетичних механізмів формування урожайності, проте рівень цього показника вищий за середній у кожному конкретному випадку забезпечується індивідуальною генетичною схемою.

Порівняння гібридів за показником екологічної пластичності основних селекційно контрольованих ознак вказує на доцільність виділення трьох груп з різними схемами формування урожайності: з високим рівнем пластичності показників маси 1000 насінин та розвитку листкового апарату (Феномен, Ясон та Набір); з високим рівнем пластичності більшості показників, насамперед кількості насіння, розміру суцвіття та розвитку листкового апарату (Агент та LG 53.77); з середнім рівнем пластичності за основними селекційно контрольованими показниками (Тео, Оскар, Златсон та Добродій).

Ключові слова: соняшник, урожайність, адаптивність, аналізуючий фон, мінеральні добрива, густина посіву, пластичність.

DOI <https://doi.org/10.32845/agrobio.2022.3.5>

Вступ. Соняшник належить до культур із низькою передзбиральною густрою посіву та невисокою компенсаційною здатністю параметрів, які є складовими врожаю. Ця особливість ускладнює функціонування популяційних механізмів регуляції генеративних параметрів рослин подібно тому, як це відбувається у посівах злакових культур. Успішність реалізації генеративного потенціалу рослин (урожайності посіву) визначається відповідністю селекційно створених механізмів формування продуктивності рослин конкретним умовам середовища (Andrade et al., 2005; Duca et al., 2002; Pissai, 2011). Ефективність таких механізмів визначається погодними умовами року та комплексом екологічних і технологічних факторів середовища. Взаємодія окремих абіотичних факторів довкілля відповідає за регуляцію певної фази росту рослин, формування кількості й якості елементів, що формують урожай (Brandt et al., 2003; Piva, et al., 2000; Hossam, 2012).

На продуктивність рослин та урожайність посіву значною мірою впливають генотип, середовище та їх взаємодія (Sidlauskas & Bernotas, 2003; Denčić et al., 2011). Ступінь взаємодії генотип × навколишнє середовище (G×E) є продуктом варіації неконтрольованих факторів, які змінюються з року в рік, що визначає складність у створенні універсальних (для різних погодних умов) механізмів формування врожайності (Adugna & Labuschagne, 2002). Тому, зазвичай, використовують зворотний ефект – здатність генотипу до реалізації генеративного потенціалу та стійкості проти патогенів у найбільш несприятливі роки (Chloupek et al., 2003; Rahman et al., 2009). Тому в селекції гібридів соняшнику важливо орієнтуватися на стабільні батьківські лінії, які будуть достатньо добре працювати у різних середовищах (Moghaddam & Pourdad, 2011).

Урожайність сім'янок і компоненти врожайності кошика специфічні для гібридів соняшнику, але вони

перебувають під впливом різних факторів вирощування. Найбільш повно взаємодія генотипу та довкілля (G×E) може бути вивчена в умовах аналізуючого фону, що імітує основні технологічні параметри культури соняшнику в зоні вирощування. В цьому випадку ефективним є використання кількох шкал, де аналізуються компоненти врожайності (кількість насіння, маса насіння, вміст олії) або детермінанти врожайності (загальна врожайність біомаси та індекс урожаю) (De la Vega & Hall, 2001). У випадку порівняння генотипів, орієнтованих на конкретну зону вирощування, або подібних за параметрами вегетації, інформативним є аналіз реакції рослин на умови градієнту за показником пластичності (Ghaffari et al., 2011; Kalenska et al., 2020; Schoeman, 2003).

Оскільки селекційна робота з культурою соняшнику переважно базується на контролі прямих ознак, значна кількість наукових досліджень щодо особливостей реакції генотипу сільськогосподарських культур на умови вирощування орієнтована на вивчення динаміки параметрів структури врожайності рослин, а саме: кількості насіння в кошику, маси 1000 насінин та продуктивності посіву (передзбиральна густина, середня продуктивність рослин та вміст олії у насінні) (Canavar et al., 2010). De la Vega & Hall, 2001; Hladni, et al., 2006).

Так, аналізуючи результати своїх досліджень дослідники підкреслюють, що посів соняшнику формує складну динамічну систему як із ґрунтовими, так і з кліматичними факторами, де власне культура розглядається як найменш стійкий елемент (Cerny et al., 2010). У більшості випадків передумовою зміни механізмів формування продуктивності рослин є відмінності у тривалості та динаміці проходження окремих фаз розвитку, що і визначає здатність генотипу ефективно пристосуватись до мінливості середовища у різних фенофазах (González et al., 2013).

Аналогічні висновки зроблено на підставі дослідів, проведених іншими науковцями (Mrdja et al., 2011). Автори також повідомляють, що передумовою відмінностей у показниках кількості насіння у кошику та маси 1000 насінин є умови проходження ювенільних фаз розвитку. Пізніше різниця у темпах росту та розвитку рослин може бути нівельована впливом факторів середовища, однак, зазвичай, може зберігатися протягом усього періоду вегетації (Mrdja et al., 2012). У дослідях групи вчених також зафіксовано, що маса 1000 насінин залежала від року спостереження та генотипу (Radic et al., 2013). Дослідники, відзначаючи, що маса 1000 насінин є одним із найбільш генетично контрольованих параметрів, відмічають залежність розмірів насіння та його виповненості від умов проходження постембріональних фаз розвитку (Joksimović et al., 2004). Подібні результати висвітлено у роботах для різних гібридів соняшнику (Radic et al., 2013) та для сортів сої (Đukić et al., 2011).

Досить численним є кластер досліджень, що поєднує практичні та теоретичні напрацювання з культурою соняшнику. Так, розглядаються підходи до селекційного та технологічного контролю окремих параметрів продуктивності рослин, насамперед, за рахунок зміни матричної структури суцвіття соняшника (Vratić

& Sudarić, 2004). Зменшення впливу агроекологічного стресу досліджується у двох наукових роботах (Miklić et al. 2011; Marinković, R., 1992). Аналізуючи всі кількісні ознаки, які суттєво корелюють з урожаем насіння соняшнику, Р. Маринкович разом із колегами стверджують, що напрям селекції на врожайність є одним із найбільш непрогнозованих напрямків, оскільки на масу 1000 насінин, крім густоти рослин, впливає ще й фактори навколишнього середовища (Marinkovic et al., 2003).

Підтверджуючи можливість зміщення діапазону окремих показників продуктивності рослин з метою забезпечення найбільш повної реалізації генеративного потенціалу соняшнику більшість дослідників погоджуються, що наразі найбільш дієвим методом стабілізації та підвищення врожайності є правильний підбір гібридів (Baranuk, 2010; Iqrasana et al., 2017; Ion et al., 2010; Radić, 2008; Zhelezkov et al., 2011).

Мета наших досліджень полягала у розробці підходів до підвищення та стабілізації врожайності посівів соняшнику в умовах північно-східного Лісостепу України. Реалізація поставленого завдання передбачала проведення експериментальних досліджень із групою середньоранніх гібридів культури. Умови польового дослідження відтворювали основний діапазон агротехнічних умов вирощування соняшнику за показниками норм мінеральних добрив та передзбиральної густоти посіву.

Матеріали і методи досліджень. Експериментальні дослідження (польові та лабораторні досліді) були виконані в 2019–2021 роках у межах наукових тем: Сумського національного аграрного університету «Удосконалення технології вирощування олійних культур в умовах північно-східного Лісостепу України» д. р. 0106U009419, 2016–2020 роки; Інституту сільського господарства Північного Сходу НААН України «Розробити модель генотипу та удосконалити методику створення адаптованих до умов північно-східного Лісостепу та Полісся гібридів соняшнику» д. р. 0116 U003756, 2016–2020 роки.

Ґрунти дослідних ділянок представлені чорноземом типовим на лесовидному суглинку. Орний шар ділянок характеризувався такими показниками: вміст гумусу – 4,0–4,1%; рН сольове – 6,1–6,3; вміст рухомих форм фосфору – 11,3–12,0 мг/100 г ґрунту; вміст обмінного калію – 7,2–9,2 мг/100 г ґрунту; вміст легкогідролізованого азоту за Корнфілдом – 8,3–11,2 мг/100 г; вміст кадмію в орному шарі ґрунту – 0,21–0,22 мг/кг.

Попередником на ділянках досліді були ярі зернові (ячмінь ярий). Основний обробіток ґрунту проводився за типом покращеного зябу. Мінеральні добрива (нітроамофос, $N_{15}P_{15}K_{15}$) вносили весною, відповідно до схеми досліді, під час проведення передпосівної культивування. Ділянки площею 12,6 м² (два рядки довжиною 10 м із міжряддям 0,7 м) розташовувалися за схемою 3-х факторного досліді:

- Фактор А – гібриди (Агент, Добродій, Златсон, Набір, Оскар, Тео, LG 53.77, Феномен та Ясон);
- Фактор В – кінцева (передзбиральна) густина (45; 55 та 65 тис. рослин/га);
- С – норма мінеральних добрив (без добрив – фон); $N_{45}P_{45}R_{45}$ та $N_{90}P_{90}R_{90}$ д. р. кг/га).

Динаміка проходження вегетації ранньостиглого сорту Есмань (демонстраційний полігон Інституту СГПС НААН, Сумський район)

| Період вегетації | Дата (число, місяць) | | |
|-------------------------------|----------------------|------------|-----------|
| | 2019 | 2020 | 2021 |
| Сівба | 27.04 | 23.04 | 11.05 |
| V-E | 11.05 | 11.05 | 25.05 |
| V-4 | 21.05 | 23.05 | 14.06 |
| R-2 | 12.06 | 18.06 | 05.07 |
| R-5 | 25.06 | 03.07 | 20.07 |
| R-9 | 10.08 | 20.08 | 28.08 |
| Всього вегетації, днів | 91 | 101 | 96 |

Обробку цифрового матеріалу (залежно від завдань досліджень) проводили за схемою одно або 2-х факторного дослідження з використанням пакету програм "Statistica". Параметри екологічної пластичності визначали за методикою Eberhart & Russel (1966).

Погодні умови та особливості вегетації соняшнику. Роки досліджень були неоднорідними як за показниками загальної кількості температур та опадів так і за динамікою їх розподілу протягом вегетації. Значення гідротермічного коефіцієнту (ГТК) за період «травень-серпень» склали 0,46; 0,89 та 0,89 у 2019, 2020 та 2021 рр. відповідно.

Веgetаційний період 2019 р. характеризувався повільними темпами весняного потепління, що сприяло практично повному відновленню запасів вологи й забезпечило добрі та задовільні умови вегетації рослин у ювенільні фази розвитку. Друга половина вегетації (фази цвітіння, наливу насіння та дозрівання) проходили в умовах вищих від середньо багаторічних значень добових температур та стійкого дефіциту вологи.

Веgetація соняшнику в 2020 р. проходила в умовах низьких температур та високої кількості опадів у весняний період. Крім того розвиток рослин обмежувався низькими нічними температурами та тривалими весняними заморозками. За цих умов перехід показників температури ґрунту на глибині 40 см через позначку +14 °C відбувся на 20 днів пізніше середньо багаторічної дати. Разом із тим, така динаміка температур поєднувалася з достатньою кількістю опадів у травні, червні, першій та другій декадах липня, що забезпечило достатній запас ґрунтової вологи для розвитку рослин у фазах «зірочки» та цвітіння. Друга половина вегетації характеризувалась вищими (порівняно до середньо багаторічних) показниками добових температур.

Умови вегетації соняшнику у 2021 році. Динаміка температур та опадів у весняний період 2021 року була подібною до попереднього, 2020 року. Це зумовило більш пізні строки сівби та затримку розвитку рослин у ювенільних фазах розвитку. За результатами обстеження посівів було відмічено запізнення початку та подовження тривалості фази цвітіння, на деяких ділянках спостерігалось формування надлишкової листової поверхні рослин та прояв ефекту «втягання за світлом». Пізніше, в умовах високих температур та дефіциту вологи другої половини вегетації, спостерігалось відмирання нижніх непродуктивних ярусів листків, що в свою чергу зумовило дисбаланс у забезпеченні кореневої системи продуктами фотосинтезу, зниження її водопоглинаючої здатності.

Загалом погодні умови веgetаційних періодів 2019–2021 років сприяли виявленню генотипів здатних до інтенсивного росту в умовах знижених температур та достатнього рівня водозабезпечення в ювенільні фази розвитку, а також поєднання цих ознак зі здатністю до накопичення продуктів фотосинтезу у посушливих умовах другої половини вегетації.

Більш наочно відмінності у темпах та тривалості проходження основних фаз розвитку культури соняшнику в умовах зони дослідження представлено у табл. 1.

Дані таблиці вказують на суттєве зміщення генеративних фаз розвитку у 2020 та особливо у 2021 рр., що в загальному підсумку мало негативний вплив на показники середньої урожайності культури соняшнику в регіоні. Значення цього показника склали 3,32; 3,22 та 3,01 т/га у 2019, 2020 та 2021 рр. відповідно.

Результати. Незважаючи на успіхи селекції у створенні стійких до несприятливих факторів середовища генотипів соняшнику, культура залишається досить чутливою до річних коливань показників температурного та водного режимів. Як зазначено вище, найбільш сприятливим був 2019 рік, найменш сприятливі умови та мінімальна середня урожайність були зафіксовані в 2021 р. Різниця між максимальним та мінімальним показниками середньої урожайності за три-річний період склали 10,2 %.

В умовах дослідження максимальна різниця між показниками середньої врожайності гібридів у розрізі років досліджень спостерігалась на ділянках із внесенням середньої норми добрив $N_{45}P_{45}K_{45}$, і становила 34 %. Кратне збільшення норми мінеральних добрив до $N_{90}P_{90}K_{90}$ забезпечувало зменшення різниці між показниками урожайності 2019 та 2021 рр. до 12 % (табл. 2).

Враховуючи, що початкове значення різниці в показниках середньої для гібридів урожайності за 2019 та 2021 рр. на варіантах без внесення добрив, склали біля 30%, слід вважати, що використання середньої дози добрив сприяло більш чіткому виявленню різниці в реакції гібридів на умови вегетації. На варіанті із максимальною дозою добрив спостерігався зворотний ефект: зменшення реакції гібридів на відмінності умов вегетації.

Більш складна схема причино-наслідкових зв'язків між погодними умовами, нормою мінеральних добрив та показниками врожайності спостерігалась на рівні окремих гібридів. Аналіз відхилень від середнього значення показав, що зі збільшенням норми добрив різниця між середнім та мінімальними значеннями показника врожайності збільшувалась. Так, у гібриду Феномен різниця між показниками склали -0,49 т/га на варіанті без добрив; -0,58 та -0,74 т/га на варіантах із середньою та максимальною дозами добрив. Подібна залежність спостерігалась також для гібридів Набір та Ясон.

У гібридів із близькими та вищими за середні показниками врожайності залежність мала протилежний харак-

тер. Крім того відбувалася зміна рейтингового положення гібридів залежно від норми мінеральних добрив. Так, максимальне перевищення середнього значення на ділянках контролю за середньої дози добрив у сприятливих умовах вегетації 2019 та 2020 рр. забезпечував гібрид Агент. Однак, в несприятливих умовах 2021 р. та на ділянках із максимальною кількістю добрив перевагу за показником урожайності мав гібрид LG 53.77.

Збільшення дози добрив забезпечило перехід гібрида Тео із групи з меншим за середній рівень показником урожайності в групу з більш високою урожайністю.

Отримані дані вказують, що в основі високого рівня подібності реакції маловрожайних гібридів на різницю в погодних умовах вегетаційного періоду може бути спільний комплекс генетичних механізмів формування урожайності. Навпаки, вищий за середній рівень урожайності в кожному конкретному випадку забезпечується індивідуальною генетичною схемою.

Результати трирічного польового дослідження з використанням як аналізуючого фону (технологічні фактори міні-

вості) градієнтів із різною густиною стояння рослин та різними нормами мінеральних добрив дозволяють провести оцінювання ефективності механізмів реалізації генеративного потенціалу рослин у розрізі окремих гібридів.

Аналіз показує, що низький рівень урожайності гібридів Феномен, Ясон та Набір загалом був пропорційний рівню реакції на зміну умов середовища за іншими параметрами – кількістю насіння в кошику (Ns), масою 1000 насіння (M1000), а також діаметром кошика (Df) та коефіцієнтами забезпеченості рослин листовою поверхнею (KSL, LAR).

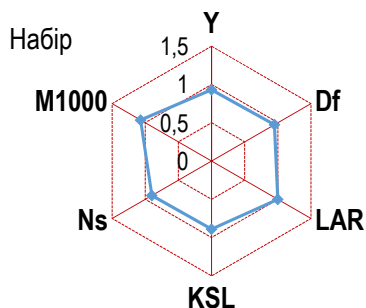
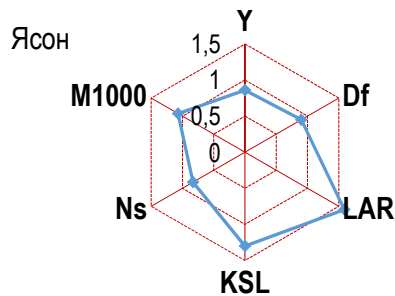
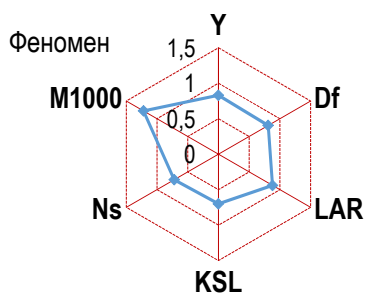
Так, середнє значення коефіцієнта екологічної пластичності (bi) згаданих показників у гібриду Феномен склало 0,83 у гібриду Ясон 0,86 та 0,93 у гібриду Набір (рис. 1). Позитивна реакція на зміну умов вегетації була відмічена лише для показника маси M1000 в гібридів Феномен та Набір та показників розвитку листової поверхні у гібрида Ясон.

Дещо інші схеми реалізації генеративного потенціалу було відмічено для гібридів Тео, Оскар, Добродій

Таблиця 2

Урожайність гібридів соняшнику залежно від норми мінеральних добрив

| Гібрид | 2019 | | 2020 | | 2021 | | Середнє | |
|---|------|----------|------|----------|------|----------|-------------|--------------|
| | X | ± до ср. | X | ± до ср. | X | ± до ср. | X | ± до ср. |
| Без добрив (фон) | | | | | | | | |
| Феномен | 2,22 | -0,65 | 2,10 | -0,52 | 1,89 | -0,31 | 2,07 | -0,49 |
| Набір | 2,49 | -0,38 | 2,33 | -0,29 | 2,05 | -0,15 | 2,29 | -0,27 |
| Ясон | 2,29 | -0,58 | 2,14 | -0,48 | 1,89 | -0,31 | 2,11 | -0,45 |
| Тео | 2,75 | -0,12 | 2,58 | -0,04 | 2,29 | 0,09 | 2,54 | -0,02 |
| Оскар | 2,93 | 0,06 | 2,69 | 0,07 | 2,30 | 0,10 | 2,64 | 0,08 |
| Агент | 3,65 | 0,78 | 3,21 | 0,59 | 2,49 | 0,29 | 3,12 | 0,56 |
| Златсон | 3,04 | 0,17 | 2,80 | 0,18 | 2,41 | 0,21 | 2,75 | 0,19 |
| LG 53.77 | 3,34 | 0,47 | 3,03 | 0,41 | 2,52 | 0,32 | 2,96 | 0,40 |
| Добродій | 3,16 | 0,29 | 2,70 | 0,08 | 1,94 | -0,26 | 2,60 | 0,04 |
| Середнє | 2,87 | | 2,62 | | 2,20 | | 2,56 | |
| N₄₅ P₄₅ K₄₅ | | | | | | | | |
| Феномен | 2,59 | -0,76 | 2,34 | -0,61 | 2,12 | -0,37 | 2,35 | -0,58 |
| Набір | 2,90 | -0,45 | 2,61 | -0,34 | 2,30 | -0,19 | 2,60 | -0,33 |
| Ясон | 2,67 | -0,68 | 2,40 | -0,55 | 2,12 | -0,37 | 2,40 | -0,53 |
| Тео | 3,22 | -0,13 | 2,91 | -0,04 | 2,60 | 0,11 | 2,91 | -0,02 |
| Оскар | 3,43 | 0,08 | 3,05 | 0,10 | 2,62 | 0,13 | 3,03 | 0,10 |
| Агент | 4,26 | 0,91 | 3,62 | 0,67 | 2,84 | 0,35 | 3,57 | 0,64 |
| Златсон | 3,54 | 0,19 | 3,14 | 0,19 | 2,76 | 0,27 | 3,15 | 0,22 |
| LG 53.77 | 3,89 | 0,54 | 3,42 | 0,47 | 2,88 | 0,39 | 3,40 | 0,47 |
| Добродій | 3,68 | 0,33 | 3,05 | 0,10 | 2,21 | -0,28 | 2,98 | 0,05 |
| Середнє | 3,35 | | 2,95 | | 2,49 | | 2,93 | |
| N₉₀ P₉₀ K₉₀ | | | | | | | | |
| Феномен | 2,54 | -0,88 | 2,35 | -0,83 | 2,54 | -0,53 | 2,48 | -0,74 |
| Набір | 2,95 | -0,47 | 2,81 | -0,37 | 2,79 | -0,28 | 2,85 | -0,37 |
| Ясон | 2,68 | -0,74 | 2,61 | -0,57 | 2,55 | -0,52 | 2,61 | -0,61 |
| Тео | 3,41 | -0,01 | 3,21 | 0,03 | 3,17 | 0,10 | 3,26 | 0,04 |
| Оскар | 3,55 | 0,13 | 3,40 | 0,22 | 3,23 | 0,16 | 3,39 | 0,17 |
| Агент | 3,81 | 0,39 | 3,98 | 0,80 | 3,57 | 0,50 | 3,79 | 0,57 |
| Златсон | 3,67 | 0,25 | 3,23 | 0,05 | 3,45 | 0,38 | 3,45 | 0,23 |
| LG 53.77 | 4,16 | 0,74 | 3,74 | 0,56 | 3,60 | 0,53 | 3,83 | 0,61 |
| Добродій | 3,98 | 0,56 | 3,33 | 0,15 | 2,75 | -0,32 | 3,35 | 0,13 |
| Середнє | 3,42 | | 3,18 | | 3,07 | | 3,22 | |



Y – урожайність, т/га;
 Df – діаметр суцвіття, см;
 LAR – коефіцієнт забезпеченості плодів листовою поверхнею, см²/г;
 KSL – коефіцієнт листової поверхні посіву, м²/м²;
 Ns – кількість насіння, шт./суцвіття;
 M1000 – маса 1000 насіння, г.

Рис. 1. Особливості реакції генотипів соняшнику на зміну умов вегетації за показником екологічної пластичності (bi), (2019–2021 рр.)

та Агент. Рівень урожайності підтримувався за рахунок середнього та вищого за середній рівня пластичності ($b_i > 1.0$) за більшістю ознак, насамперед показників Ns та M1000, (рис. 2).

Незалежно від погодних умов років досліджень найвищі показники врожайності мали гібриди Агент та LG53.77. Аналіз свідчить про подібність дендрограм гібридів за структурою показника пластичності, а саме – високі значення b_i (більше 1,2) за більшістю виокремлених ознак (рис. 3).

Обговорення. Важливою характеристикою сучасних генотипів сільськогосподарських культур є здатність до

формування середніх та високих показників урожайності у широкому діапазоні умов середовища. Разом із тим звуження генетичної основи культури за рахунок домінування генотипів із підвищеним рівнем реалізації генеративних функцій обумовлює наявність специфічної реакції на погодні умови та параметри технологій.

Низький коефіцієнт екологічної пластичності основних селекційно-контрольованих ознак у гібридів Феномен, Ясон та Набір поєднувався із відносно стабільними річними показниками врожайності, насамперед на ділянках без внесення добрив. Рівень урожайності підтримувався здатністю гібридів до формування

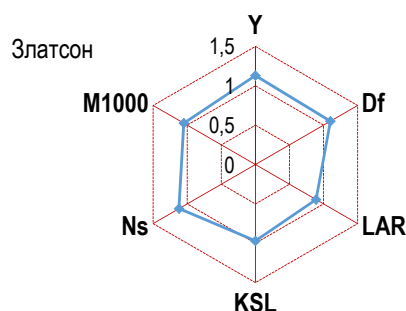
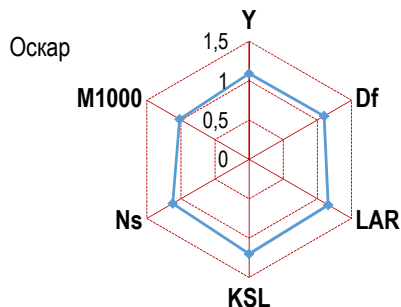
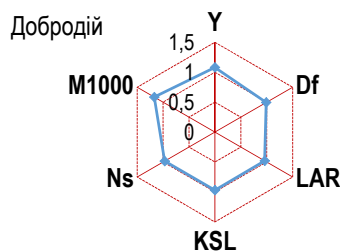
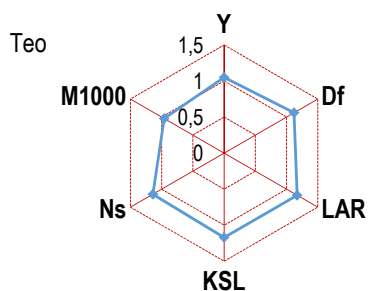


Рис. 2. Особливості реакції генотипів соняшнику на зміну умов вегетації за показником екологічної пластичності (bi), (2019–2021 рр.)

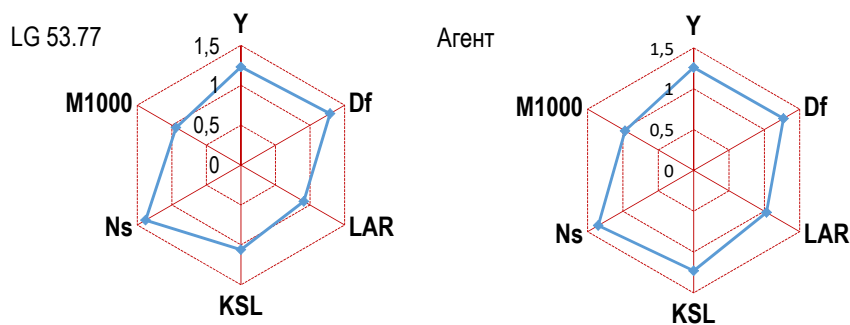


Рис. 3. Особливості реакції генотипів соняшнику на зміну умов вегетації за показником екологічної пластичності (bi), (2019–2021pp.)

добре виповненого насіння. Середнє значення показника M1000 цих гібридів склало 73,65; 64,81 та 64,74 г відповідно. Тоді як середнє для дослідів значення було лише 63,6 г. Реалізація цієї ознаки в несприятливих умовах (2021 рік та ділянки без внесення добрив) забезпечувалася високим рівнем розвитку листової поверхні (показники KSL та LAR). Дані, щодо стабілізуючої ролі показника забезпеченості насіння листовим апаратом саме у поєднанні з достатнім рівнем пластичності ознаки маси 1000 насінин погоджуються з результатами досліджень В.І.Троценка та Г.О.Жатової (Trocenko & Zhatova, 2018), щодо оптимізації моделей сортів соняшнику для умов Лісостепу та Полісся.

Іншу схему формування врожайності мали гібриди Агент та LG 53.77. Вищий за середній рівень урожайності гібридів поєднувався із високим рівнем екологічної пластичності (bi) за більшістю селекційно-контрольованих ознак, насамперед, розміру кошика (Df) та кількості насіння (Ns). Однак на ділянках без внесення добрив, а також у несприятливий 2021 р. переваги такого механізму були мінімальними. Навпаки, поєднання факторів оптимальних погодних умов (2019 р.), середніх та високих норм мінеральних добрив забезпечувало максимальні (у досліді) показники урожайності на рівні 4,26 т/га для гібриду Агент та 4,16 т/га для гібриду LG 53.77.

Враховуючи особливості формування ознаки кількості насіння у суцвітті кошику, більшість дослідників погоджуються з визначальним значенням цього параметру у структурі урожаю. Разом із тим дані В.І.Троценка та Г.О.Жатової (Trocenko & Zhatova, 2015), а також результати, наведені у роботі А.В. Мельника та співавторів (Melnyk et al., 2013) вказують на чутливість ознаки до несприятливих умов весняної вегетації та низького рівня компенсаторних механізмів у наступні фази розвитку.

Наявність кількох відмінних між собою схем формування врожайності було відмічено у групі гібридів: Тео, Оскар, Златсон та Добродій. Спільною для групи характеристикою була здатність гібридів формувати та підтримувати близькі до середніх значення показників кількості та маси 1000 насінин. Різна реакція цих показників на погодні умови зумовлювала відмінності у показниках урожайності у межах групи, а також зміну рейтингу гібриду. Як згадувалося вище, зміна місця у рейтингу за показником урожайності залежно від умов року та норми добрив, була відмічена для гібриду Тео та гібриду Добродій.

Висновки. За результатами вивчення реакції гібридів соняшнику на умови року та дози добрив було зроблено наступні висновки. Відмінності у показниках середньої врожайності окремих років досліджень зростають на варіантах із внесенням середньої норми мінеральних добрив. На варіанті із максимальною нормою добрив спостерігався зворотний ефект: послаблення реакції гібридів на відмінності погодних умов років досліджень. В основі високого рівня подібності реакції маловрожайних гібридів на погодні умови може бути спільний комплекс генетичних механізмів формування урожайності. Проте рівень урожайності вищий за середній в кожному конкретному випадку забезпечується індивідуальною генетичною схемою. Порівняння гібридів за показником екологічної пластичності основних селекційно-контрольованих ознак вказує на доцільність виділення трьох груп з різними схемами формування урожайності: з високим рівнем пластичності показників маси 1000 насінин та розвитку листового апарату (Феномен, Ясон та Набір); з високим рівнем пластичності більшості показників, насамперед кількості насіння, розміру суцвіття та розвитку листового апарату (Агент та LG 53.77); з середнім рівнем пластичності за основними селекційно-контрольованими показниками (Тео, Оскар, Златсон та Добродій).

Бібліографічні посилання:

1. Adugna, W. & Labushange, M.T. (2002). Genotype-environment interactions and phenotypic stability analysis of linseed in Ethiopia. *Plant Breeding*, 121, 66–71.
2. Anastasi, U., Cammarata, M. & Abbate, V. (2002). Yield potential and oil quality of sunflower (oleic and standard) grown between autumn and summer. *Ital. J. Agron.*, 4, 23–36.
3. Andrade, F. H., Sadras, V.O., Vega, C.R.C. & Echarte, L. (2005) Physiological determinants of crop growth and yield in maize, sunflower and soybean: their application to crop management, modeling and breeding. *J. Crop Improv.* 14, 51–101.
4. Baranyk, P. (2010) *Olejnyy. Vyd. Profi Press, Praha*, 206.

5. Brandt, S. A., Nielsen, D. C., Lafond, G. P. & Riveland, N. R. (2003) Oilseed crops for semiarid cropping systems in the Northern Great Plains. *Agronomy Journal*, 94, 31–240.
6. Canavar, Ö., Ellmer, F. & Chmielewski, F.M. (2010). Investigation of yield and yield components of sunflower (*Helianthus annuus* L.) cultivars in the ecological conditions of Berlin (in Germany). *HELIA*, 33(53), 117–130. doi: 10.2298/HEL1053117C
7. Černý, I., Pačuta, V., Veverková, A. & Bacsová, Z. (2010). Zhodnotenie kvalitatívnych a kvantitatívnych parametrov slnečnice ročnej (*Helianthus annuus* L.) vplyvom vybraných faktorov jej pestovania. Sborník z konferencie „Prosperujúci olejniný“, 9–10.
8. De la Vega, A. J. & Hall, A. J. (2002) Effects of planting date, genotype, and their interactions on sunflower yield. *Crop Sci.* 42, 1191–1201. doi: 10.2135/cropsci2002.1191
9. Denčić, S., Mladenov, N. & Kobiljski, B. (2011) Effects of genotype and environment on breadmaking quality in wheat. *Int. J. Plant Prod.*, 5(1), 71–82.
10. Dicu, V. G., Bău, A. G. & State, D. (2013) Yield components at some hybrids of sunflower (*Helianthus annuus* L.) under drought conditions from south Romania. *AgroLife Scientific Journal*, 2, 9–14.
11. Duca, M., Port, A., Burcovschi, I., Joița-Păcureanu, M. & Dan, M. (2022) Environmental response in sunflower hybrids: a multivariate approach *Romanian Agricultural Research*, 39, 2–14.
12. Đukić, V., Balešević-Tubić, S., Đorđević, V., Tatić, M., Dozet, G., Jaćimović, G., & Petrović, K. (2011). Prinos i semenski kvaliteti soje u zavisnosti od uslova godine. *Ratar Povrt.*, 48, 137–142.
13. Eberhart, S. A. & Russel, W.A. (1966). Stability parameters for comparing varieties. *Crop Sci.*, 6, 6–40.
14. Ghaffari, M., Farrokhi, I. & Mirzapour, M. (2011) Combining ability and gene action for agronomic traits and oil content in sunflower (*Helianthus annuus* L.) using F_1 hybrids. *Crop Breeding Journal*, 1(1), 75–87.
15. Gonzáles, J., Mancuso, N. & Ludueña, P. (2013). Sunflower yield and climatic variables. *HELIA*, 36(58), 69–76. doi: 10.2298/hel1358069g
16. Hladni, N., Škorić, D., Kraljević-Balalić, M., Sakač, Z. & Jovanović, D. (2006) Combining ability for oil content and its correlations with other yield components in sunflower (*Helianthus annuus* L.). *HELIA*, 29(44), 101–110. doi: 10.2298/hel0644101h
17. Hossam, M. I. (2012) Response of some sunflower hybrids to different levels of plant density. *APCBEE Procedia* 4, 175–182.
18. Ion, V., Dicu, G., Bău, A.Gh. & State, D. (2013) Yield components at some hybrids of sunflower (*Helianthus annuus* L.) under drought conditions from South Romania. *AgroLife Scientific Journal*, 2(2), 9–14.
19. Ion, V., Stefan, V., Dumbravă, M., Ion, N. & Bău, A. Gh., (2010). Yield results obtained from an assortment of sunflower hybrids cultivated at Moara Domnească Research Farm in the period 2006-2008. *Scientific Papers. Series A. Agronomy*, LIII, 364–370.
20. Iqrasana, Qayyum, A., Khan, S. U., Khan, S.A., Mehmoody, A., Bibi, Y., Sherh, A., Khanm, H. & Jenks, M. A. (2017) Sunflower (*Helianthus annuus*) hybrids evaluation for oil quality and yield attributes under spring planting conditions of Haripur, Pakistan. *Planta Daninha*, 35 doi: 10.1590/S0100-83582017350100003
21. Joksimovic, J., Atlagic, J., Jovanovic, D., Marinkovic, R., Dušanic, N. & Miklic, V. (2004) Path coefficient analysis of some head and seed characteristics in sunflower. *Proc 16th International Sunflower Conference*, Fargo, North Dakota, USA, 525–530.
22. Kalenska, S., Ryzhenko, A., Novytska, N., Garbar, L., Stolyarchuk, T., Kalenskyi, V., & Shytiy, O. (2020) Morphological features of plants and yield of sunflower hybrids cultivated in the northern part of the Forest-Steppe of Ukraine. *American Journal of Plant Sciences*, 11, 1331–1344. doi: 10.4236/ajps.2020.118095
23. Marinković, R. (1992) Path-coefficient analysis of some yield components of sunflower (*H. annuus* L.) I. *Euphytica*, 60, 3, 201–205. doi: 10.1007/BF00039399
24. Marinković, R., Škorić, D., Nenadić, N., Jovanović, D., Miklič, V., Joksimović, J., Stanojević, D., & Nedeljković, S. (1994). Uticaj položaja semena u glavi na prinos i neke komponente prinosa semena kod suncokreta (*Helianthus annuus* L.). *Zbornik radova Instituta za ratarstvo i povrtarstvo*, 22, 379–389.
25. Marinković, R., Dozet, B., & Vasić, D. (2003). Oplemenjivanje suncokreta. *Monografija. Školska knjiga*, Novi Sad, 368.
26. Melnyk A. V., Trotsenko V. I. & Hovorun S.O. (2013) Vplyv popередnykh ta mineralnykh dobryv na yakist nasinnia soniashnyku v umovakh pivnichno-skhidnoho lisostepu Ukrainy [The influence of precursors and mineral fertilizers on the quality of sunflower seeds in the conditions of the northeastern forest-steppe of Ukraine] *Visnyk Sumskoho natsionalnoho ahrarnoho universytetu.*, 11 (26), 124–127 (in Ukrainian).
27. Miklič, V., Dušanić, N., Joksimović, J. & Crnobarac, J. (2006). Uticaj vremena berbe na masu 1000 semena različitih genotipova suncokreta. *Zbornik radova, Savetovanje industrije ulja*, Herceg Novi, 55–61.
28. Mirić, M., Selaković, D., Jovin, P., & Hojka, Z. (2006). Masa 1000 semena u teoriji i praksi. *Zbornik abstrakata, IV Simpozijum selekcije i semenarstva*, Zlatibor, 172.
29. Moghaddam, M. J. & Pourdad, S. S. (2011) Genotype × environment interactions and simultaneous selection for high oil yield and stability in rainfed warm areas rapeseed (*Brassica napus* L.) from Iran. *Euphytica*, 180, 321–335. doi: 10.1007/s10681-011-0371-8
30. Mrdja, J., Crnobarac, J., Dušanić, N., Jocić, S. & Miklič, V. (2011) Germination energy as a parameter of seed quality in different sunflower genotypes. *Genetika-Belgrade*, 43(3), 427–436. doi: 10.2298/GENSR1103427M
31. Mrdja, J., Crnobarac, J., Radić, V. & Miklič, V. (2012) Sunflower seed quality and yield in relation to environmental conditions of production region. *HELIA*, 35(57), 123–134. doi: 10.2298/hel1257123m

32. Pissai, C. (2011) Stability of yield and other characters of sunflower across environments. *Suranaree Journal Science and Technology*, 18, 55–60.
33. Piva, G., Bouniols, A. & Mondières, M. (2000) Effect of cultural conditions on yield, oil content and fatty acid composition of sunflower kernel. *International sunflower conference*, 15, Toulouse. Proceedings Toulouse: ISA, A61–A66.
34. Radić, V. (2008). *Proizvodne i morfološke osobine komercijalnih novosadskih linija suncokreta (Helianthus annuus L.)*. Doctoral dissertation. University of Novi Sad, Faculty of Agriculture.
35. Radić, V., Vujaković, M., Marjanović-Jeromela, A., Mrdja, J., Miklič, V., Dušanić, N. & Balalić, I. (2009) Interdependence of sunflower seed quality parameters. *HELIA*, 32(50), 157–164. doi: 10.2298/hel0950157r
36. Radić, V., Mrđa, J., Jockovic, Mi., Canak, P., Dimitrijevic, Al. & Jovic, S. (2013). Sunflower 1000-seed weight as affected by year and genotype. *Ratarstvo i Povrtarstvo*. 2013, 50(1), 1–7. doi: 10.5937/ratpov50-3214
37. Schoeman, L. J. (2003) Genotype × environment interaction in sunflower (*Helianthus annuus*) in South Africa. PhD Thesis. University of the Free State, Bloemfontein, South Africa.
38. 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 Polissia]. *Visnik Sumskogo NAU*, 8(35), 53–58 (in Ukrainian).
39. Trocenko V. I. & Zhatova, G. O. (2015). Etapi formuvannja produktivnosti roslin ta urozhajnist posiviv sonjashniku [Stages of formation of plant productivity and yield of sunflower crops]. *Visnik centru naukovogo zabezpechennja APV Harkivskoi oblasti*, 18, 165–173 (in Ukrainian).
40. Vratarić, M., & Sudarić, A. (2004). Oplemenjivanje i genetika suncokreta Suncokret *Helianthus annuus L.* Poljoprivredni institut, Osijek, 88–89.
41. Vujaković, M., Radić, V., Miklič, V., Jovičić, D., Balešević-Tubić, S., Mrđa, J., & Škorić, D. (2012). Seed dormancy of hybrids and parent lines of sunflower (*Helianthus annuus L.*). *HELIA*, 35, 111–118.
42. Zheljzkov, V. D., Vick, B.A., Baldwin, B.S., Buehring, N., Coker, C., Astatkie, T. & Johnson, B. (2011). Oil productivity and composition of sunflower as a function of hybrid and planting date, *Industrial Crops and Products*, 33(2), 537–543, doi: 10.1016/j.indcrop.2010.11.004

Kolosok I.O., PhD student, Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine

Features of the yield formation of sunflower hybrids in the conditions of the north-eastern forest steppe of Ukraine

Sunflower belongs to crops with low pre-harvest sowing density and low compensatory capacity of the parameters that are components of the crop. This feature complicates the functioning of population mechanisms of regulation of generative parameters of plants in the same way as it happens in crops of cereal crops. The success of realizing the generative potential of plants (crop yield) is determined by the compliance of the mechanisms of plant productivity, created through selection, to specific environmental conditions. Under these conditions, the most effective method of stabilizing and increasing crop yield is the correct selection of hybrids.

To evaluate the effectiveness of various yield formation schemes 9 sunflower hybrids were studied in 2019–2021. Research was carried out within the framework of scientific topics of the Sumy National University and the Institute of Agriculture of the North East of the National Academy of Sciences. The conditions of the field experiment reproduced the main range of agrotechnical ones for sunflower growing in the northeastern forest-steppe zone of Ukraine.

The range of weather conditions over the years of research contributed to the identification of genotypes that were characterized by the ability to actively grow in conditions of low temperatures and sufficient amount of precipitation in the juvenile phases of development, as well as the ability to realize the generative potential of plants at higher temperatures and moisture deficit in the second half of the growing season.

Yield indicators and their deviations from the average means were analyzed in terms of hybrids, years of research and rates of mineral fertilizers. Evaluation of productivity formation schemes was carried out on the basis of the indicator of ecological plasticity for the main selectively controlled traits.

According to the study results of sunflower hybrids reaction to the year conditions and the fertilizer rate, it was established that: 1) Differences in the average yield indicators of individual research years increase with application of average rate of mineral fertilizers. On the variant with the maximum fertilizer rate the opposite effect was observed: the reaction of hybrids to the differences in weather conditions during the research years was weakened; 2) The high level of similarity in the reaction of low-yielding hybrids to weather conditions is based on a common complex of genetic mechanisms of yield formation. However, higher than average level of yield in each specific case is provided by an individual genetic scheme; 3) Comparison of hybrids according to the indicator of ecological stability of the main selectively controlled traits indicates the expediency to select of three groups with different schemes of yield formation: with a high level of plasticity of 1000 seed weight and the development of the leaf apparatus (Phenomen, Jason and Nabir); with a high level of plasticity of most indicators, primarily the number of seeds, the size of the inflorescence and the development of the leaf apparatus (Agent and LG 53.77); with an average level of plasticity according to the main selectively controlled indicators (Theo, Oscar, Zlatson and Dobrodiy).

Key words: sunflower, yield, adaptability, analyzing background, mineral fertilizers, sowing density, plasticity.

СТЕПОВІ ФІТОЦЕНОЗИ УКРАЇНИ: ОСОБЛИВОСТІ Й ІСТОРІЯ ВИВЧЕННЯ

Коплик Яна Віталіївна

аспірантка

Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна

ORCID: 0000-0001-6268-5429

y_koplik@ukr.net

В статті наведено характеристику особливостей степових рослинних угруповань, обґрунтовано їх екологічну роль, наведено основні етапи та напрями вивчення степів, зазначено роль абіотичних і біотичних факторів у їх формуванні, зокрема механізму впливу випасання копитних тварин на степові рослинні угруповання. Зазначено, що степова екосистема формувалася під впливом диких трав'янистих тварин – стад диких коней, куланів та козуль (нині їх функцію виконує домашня худоба), що є необхідною умовою для підтримання степового типу рослинності. Під час випасання зменшується накопичення мертвої рослинної біомаси, а під час витоппування тваринами порушується цілісність мертвого покриву, що забезпечує проростання нових пагонів злаків та інших степових видів. Також це знімає проблему мезофітизації через затримку мертвим покривом значно більшої кількості вологи, ніж це характерно для степів. Надмірний випас, як і його повна відсутність негативно впливає на стан степової рослинності.

Наведена характеристика сучасного стану степових біотопів на території України, підкреслено високий ступінь їх антропогенної трансформації. Узагальнено інформацію про ділянки степу, у тому числі, цілинного, які нині збереглися на території України і знаходяться у складі об'єктів природно-заповідного фонду. Зазначено біологічні особливості типових степових видів-ксерофітів, серед яких восковий наліт та опушення на листках і довга та розгалужена коренева система.

Стаття включає інформацію щодо аспектів антропогенної діяльності, які стали основною причиною зменшення частки степових фітоценозів у структурі рослинності України. Обґрунтовано необхідність їх збереження та охорони, враховуючи їх значення у збереженні цінного степового біорізноманіття та критичний стан.

Одними із головних напрямів вивчення степових фітоценозів є класифікація степової рослинності, умови та особливості її формування, а також режим навантаження, що забезпечує нормальне функціонування степових екосистем. Проаналізовано роботи низки як вітчизняних, так і іноземних науковців.

Ключові слова: степові фітоценози, абіотичні та біотичні фактори формування степу, класифікація, режим користування, історія вивчення.

DOI <https://doi.org/10.32845/agrobio.2022.3.6>

Вступ. Степові фітоценози мають важливе екологічне значення, яке пов'язане з регулюванням кліматичних умов, підтримкою біогеохімічних циклів, ефективним депонуванням карбону, формуванням первинної біомаси та регулюванням колообігу води (Mordkovych, 1982). Важливою є і соціологічна роль степів, адже вони є осередком унікального біологічного різноманіття (Нруґора & Solomakha, 2005).

На сьогодні степові фітоценози зазнали вираженої антропогенної трансформації. У природному стані степова рослинність збереглася лише на ділянках, які не підлягають господарському освоєнню, а також на тих, які знаходяться у складі об'єктів природно-заповідного фонду. Антропогенна діяльність, що проявляється розорюванням територій, необґрунтованим створенням захисних смуг та залісненням, загибеллю малих річок, надмірним випасом худоби та промисловим освоєнням, є головним фактором змін та знищення степових ділянок (Нруґора & Solomakha, 2005). Саме тому проблема охорони та збереження природних степових комплексів на сьогодні є актуальною та потребує детального вивчення.

Метою публікації є характеристика особливостей формування та функціонування степових фітоценозів, оцінка їх сучасного стану на території України та висвітлення основних етапів дослідження степових фітоценозів.

Особливості степових фітоценозів. Степи є природними трав'яними угрупованнями, які формуються у помірному поясі, мають зональний характер і внутрішньоконтинентальне розташування. Природними передумовами утворення степів є поєднання біотичних та кліматичних факторів. Головними факторами є низька температура взимку та недостатнє насичення вологою ґрунтів влітку. Такі умови формуються за нетривалих та нечастих опадів і є оптимальними для росту трав-ксерофітів, але не є оптимальними для розвитку дерев. Важливе значення для степової рослинності також має вплив копитних тварин, який вони здійснюють під час випасання (Shennikov, 1964).

Основна частина степової рослинності представлена дернинними злаками, які разом із бобовими та різнотрав'ям формують особливий степовий травостій. Ксероморфна будова обумовлює наявність у степових видів воскового нальоту на листках та опушення, що дозволяє запасати вологу в умовах її дефіциту, а також глибоку і розгалужену кореневу систему як засіб більш активного поглинання вологи (Yakubenko et al., 2010). Шенніков О.П. зазначав, що помітну роль у флористичному складі степів мають синузії однорічників, у тому числі й ефемерів та ефемероїдів, іноді лишайників і наземних водоростей (Shennikov, 1983).

Як вже зазначалося, степові ділянки збереглися переважно у складі об'єктів природно-заповідного фонду. Степові заповідники характеризуються специфічним заповідним режимом, що пов'язаний з особливостями функціонування степових фітоценозів.

Особливості степових рослинних угруповань значною мірою пов'язані із біотичними факторами їх формування. Провідну роль відіграють копитні тварини, які на них випасаються. За відсутності такого впливу, степові біотопи суттєво змінюються. Наприклад, дернини ковили та інших злаків досягають значних розмірів, а мертвий покрив, який щорічно утворюється, накопичується і заважає появі нових пагонів як даного виду, так і інших. Також товстий мертвий покрив між дернинами ковили унеможливує розвиток дрібних однорічних ефемерів. Іншим наслідком відсутності випасання є поступова мезофітизація рослинного покриву. Вона виникає тоді, коли внаслідок накопичення мертвого покриву, який зберігає вологу, відбувається розвиток менш сухолюбних трав. В результаті ковиловий степ поступово замінюється на угруповання більш мезофільного типу (Shennikov, 1964).

У минулому степи знаходилися під впливом витоутування стад диких трав'янистих тварин. До XVIII сторіччя це були стада диких коней, куланів та козуль. Сьогодні стада диких трав'янистих тварин замінено на домашню худобу. Витоутування поверхні степу тваринами порушує цілісність мертвого покриву, руйнуючи його, а часткове поїдання трави зменшує накопичення мертвих залишків. Саме це є однією із умов підтримання степового типу рослинності (Shennikov, 1964).

Ступінь і характер змін рослинності під впливом випасання значною мірою залежать від багатьох супутніх умов: від клімату і погоди, ґрунту, від поїдання рослин фітоценозу, на якому випасаються тварини, від виду тварин, що випасаються, від їх кількості на одиницю площі та часу, від строків випасання і тривалості пасовищних періодів. Тому важлива раціональна організація випасання, що базується на знаннях біологічних основ пасовищного господарства у конкретних природних умовах. Неправильна організація випасання швидко призводить до збіднення флори і до втрати продуктивності кормових угідь. Помічено, що негативний вплив посухи на степові фітоценози більш виражений на ділянках з інтенсивним випасанням худоби, порівняно з ділянками із меншим навантаженням (Rabotnov, 1978). Правильний вибір місць і строків випасання, помірне навантаження, тобто науково обґрунтована організація випасу перетворюють його з фактору, здатного знищити цінне угіддя, у фактор, яким можна змінити рослинність у бажаному напрямі і навіть підвищити кормову цінність фітоценозу.

Крім тварин, що випасаються, значну роль у підтриманні особливостей степової рослинності відіграють багаточисельні тварини, які мешкають у даному типі екосистеми: мишоподібні гризуни, ховрахи, бабаки, хом'яки та ін. Ними порушується цілісність степової дернини, а викиди ґрунту навколо нор сприяють поселенню багатьох видів рослин, забезпечуючи підтримання «різнотравності» ценозів. Впливає на степ також суцільне або вибіркоче поїдання ними рослин. Специфіка пові-

тряно-водного, теплового і сольового режимів степових ґрунтів є результатом викидів ґрунту тваринами, формування ними нор, удобрення екскрементами і речовинами, що утворюються під час розкладання трупів тварин (Shennikov, 1964).

Характеристика основних степових фітоценозів території України, що належать до об'єктів природно-заповідного фонду. Етапи та напрями вивчення степової рослинності. Вперше питання про охорону та збереження цінних степових комплексів на території України постало у кінці 19 століття. В 1898 р. Ф. Е. Фальц-Фейном на півдні України було створено заповідну структуру, яка являла собою недоторкану ділянку цілинного типчакково-ковилового степу. З метою подальшого вивчення та спостереження за природними процесами до роботи був залучений ботанік Йосип Пачоський. Вже у 1921 р. було створений перший державний степовий заповідник, а в 1984 р. за рішенням Координаційної ради ЮНЕСКО, «Асканія-Нова» стала біосферним заповідником – еталоном природи посушливого степу (Fitoriznomanittia zapovidnykiv i natsionalnykh pryrodnykh parkiv Ukrainy, 2012, Ch.1, p.13).

В 1961 році був створений Український степовий заповідник, який складається з декількох ділянок-філіалів, що утворили зональний профіль з півночі на південь території України. До Українського природного заповідника входили природний заповідник «Михайлівська цілина», сформований лучними степами та нині виокремлений у самостійну структуру; відділення «Хомутівський степ» – справжній різнотравно-типчакково-ковиловий степ; «Кам'яні могили» та «Крейдяна флора», де зустрічається степова рослинність на виходах кам'яних порід; Кальміуський заповідник – наймолодше з відділень Українського степового заповідника, який являє собою кам'янистий степ із відслоненнями гранітів не тільки у вигляді скель на схилах долини р. Кальміус, але також як плоскі гранітні відслонення на вододільних височинах (Fitoriznomanittia zapovidnykiv i natsionalnykh pryrodnykh parkiv Ukrainy, 2012, Ch.1, p.336).

В 1968 році був створений Луганський степовий заповідник, який включає «Стрілецький степ», «Провальський степ» та Станично-Луганську філію заповідника, де охороняються, переважно, справжні та лучні степи (Fitoriznomanittia zapovidnykiv i natsionalnykh pryrodnykh parkiv Ukrainy, 2012, Ch.1, p. 221).

У Чорноморському біосферному заповіднику представлені найпівденніші степи України. Фрагменти степів часто зустрічаються на територіях національних парків, заповідних урочищ (резерватів). На Поділлі степова рослинність представлена у ландшафтних заказниках «Подільські Товтри» та «Кременецькі гори». На Закарпатті елементи степової флори представлені у резерватах Чорна гора та Юліївська гора (Fitoriznomanittia zapovidnykiv i natsionalnykh pryrodnykh parkiv Ukrainy, 2012, Ch.1, p.73).

Одночасно з заповіданням степових ділянок на території України, розпочалося і їх активне дослідження. Ще у 1839 р. Ф.Тецман – управитель степового заповідника Асканії-Нова вивчав степову рослинність, вперше

застосувавши метод пробних площин, а його стаття вважається першою друкованою працею в області степової фітоценології (Teetzmann, 1839).

Питання про класифікацію та визначення типів степів вперше було розглянуто С.І. Коржинським (1888–1891). У науковій праці про північну межу чорнозему на сході Європи автором було визначено чотири основні формації степу, а саме: лучний, ковиловий, чагарниковий і кам'янистий степи. Перші три формації були визначені за морфолого-флористичним принципом, а остання – за топологічним (Korzhinskiy, 1888).

У 1908–1915 роках Г.М. Висоцьким було чітко розділено ковилові степи на більш північні – «широколистяний ковильний» та більш південні – «вузьколистяний ковильний» та «сірий ковильний» (Vysotskiy, 1908). Крилов П.М. (1916) під час дослідження степової рослинності, не відмежовував степи від луків і навіть найбільш південні степи визначав як луки. В основу методики виділення основних типологічних одиниць степів П.М. Крилова було покладено облік відсоткового співвідношення степових та лучно-лісових форм (Krylov, 1911). Однак запропоновані ним деякі аспекти методики виділення типів степів піддавалися критиці Келлера Б.А., який, у свою чергу, при формуванні принципів типології степів на перше місце висував відмінності в екологічному характері відповідних типів рослинності. Так, Б.А. Келлер розділив лучні степи на різнотравно-лучні та дернинно-лучні степи (Keller, 1916).

Перше комплексне обстеження рослинності засоленних ґрунтів та степової рослинності України було проведено відомим геоботаніком Г.І. Біликом. Наукові праці автора присвячені районуванню Лісостепу і Степу УРСР (Bilyk, 1970). Для степової частини Української РСР, яка є складовою частиною Європейсько-Азіатської степової області, Понтичної провінції, автор виділяв дві підпровінції, 13 округів, 40 геоботанічних районів і ряд підрайонів. Також науковцем було проведено геоботанічне картування та районування рослинності степової зони України (Bilyk, 1963). Біликом Г.І. було досліджено особливості рослинного покриву степового природного заповідника «Михайлівська цілина» та його зміни під впливом господарського використання (Bilyk, 1957, 1973, 1974). Також ним проведено вивчення рослинного покриву Стрілцівського, Провальського степів, абсолютно заповідної ділянки Хомутівського степу та заповідника Кам'яні могили (Bilyk, 1959, 1971).

Вагомий внесок було зроблено В.В. Альохінін, який вивчав степову флору, розробляв методи вивчення рослинних угруповань, займався проблемами класифікації рослинності. В основу класифікації степів ним було покладено їх географічну приналежність, відповідно до якої степи поділялися на два основні типи. Перший тип мав назву північних степів (або різнотравно-широколистяно-злакові степи), другий – південні степи. Перші охоплюють степи лісостепової зони, а другі – степи власне степової зони (Alehin, 1921, 1957).

Вивченням степових угруповань Східної частини Європи займалися й видатні фітоценологи Чехії: Й. Кліка та Й. Подпера. Праці науковців стосувалися вивчення

особливостей формування степової рослинності (Podpera & Klikka, 1925). Досліджував степову рослинність України Ю. К. Пачоський – польський вчений, який вивчав південні українські степи. Автору належить відкриття фітосоціологічного закону, або фітоценогенезу, під яким розуміється багатовіковий розвиток фітоценозів від простих давніх до сучасних складних (Pachoskiy, 1917, 1923, 1927).

Значну увагу науковці приділяли ділянкам степу, що мали охоронний статус. На базі степового заповідника Асканія-Нова дослідження проводив М.С. Шалита, який вивчав особливості відновлення рослинності після пожеж. Було виявлено, що внаслідок пожеж знищується мертвий покрив та незначна частина дернинних злаків. Багаторічники та дворічники майже не знищуються вогнем, і його вплив на них зводиться до сповільнення росту та значного відставання стадій розвитку у деяких видів (Shalyta, 1928).

Вивченням степових біотопів займався і Є.М. Лавренко, який розробив класифікацію степових угруповань. В її основу було покладено аналіз життєвих форм, які складають рослинні угруповання (синузальний склад угруповань). На відміну від інших авторів, які займалися питанням класифікації степової рослинності, Є.М. Лавренко сформував власне класифікацію рослинних угруповань, а не степових підзон. Він виділив три підтипи рослинних угруповань (або класи формацій). Перший тип має назву лучних степів, другий – справжні степи і третій – опустелені степи (Lavrenko, 1954, 1971). Видами-едафікаторами лучних степів виступають мезоксерофіти та багаторічники-еуксерофіти, а також до них віднесено значну частину трав'янистих багаторічних мезофітів та ксеромезофітів. Ценозоутворюючими видами справжніх степів є трав'янисті багаторічники-еуксерофіти. Мезофіти і ксеромезофіти у складі угруповань, як правило, у даному випадку представлені меншою мірою, або ж вони повністю відсутні. У незначній кількості зустрічаються еуксерофіти-напівчагарники. До ценозоутворюючих видів опустелених степів належать трав'янисті багаторічники-еуксерофіти, також виражені значною мірою еуксерофіти-напівчагарники. Вони формують добре виражену синузію. Чітко виражені також синузії однорічників (переважно ефемерів). У кожному підтипі степових рослинних угруповань повторюються групи формацій, едафікаторами яких виступають дернинні та кореневищні злаки, а також різнотрав'я. За екологічним характером лучні степи автор називає мезоксерофітними, справжні степи – ксерофітними, а опустелені степи – гіперксерофітними (Lavrenko, 1954).

Погребняк П.С. та Давиденко І.Д. детально вивчали питання антропогенної трансформації степів. Дослідники зазначали, що на степові заповідники України помітно впливають результати діяльності людини. Зокрема, автори звертали увагу на роль лісозахисних смуг, якими обсажені території заповідників та які виконують функції демаркаційної лінії між заповідними ділянками та сусідніми землями. Було визначено, що лісові смуги порушують режим цілинних степів змінюючи гідрологічний режим, через що вони відіграють негативну

роль. Наприклад, дослідження науковців у заповіднику «Михайлівська цілина» показали, що вздовж північно-східної межі лісові смуги затримують велику кількість снігу, що призводить до зволоження значних площ цілини, внаслідок чого у травостої зникають ксерофітні компоненти. Крім того, наявність лісових смуг сприяє розростанню деревно-чагарникових порід (Pohrebnyak & Davydenko, 1968).

Часто заповідні території межують із сільськогосподарськими угіддями, на яких ведеться активна господарська діяльність. Веденьков Є.П. у ході своїх досліджень на базі заповідника Асканія-Нова зазначав, що суттєву небезпеку для степових заповідників створюють зрошувальні системи сільськогосподарських угідь, які можуть викликати підвищення рівня ґрунтових вод і вторинне засолення ґрунтів (Vedenkov, 1971).

Гриценко В.В. було проведено комплексний аналіз лучних степів Київського плато і проаналізовано еколого-ценотичну, біоморфологічну та географічну структуру флори степових біотопів. Також під час своїх досліджень В.В. Гриценко звертає увагу на еколого-фітоценотичну класифікацію лучно-степової рослинності Київського плато, стан та структуру популяцій видів рослин, що занесені до Червоної книги України. Нею вказано на необхідність охорони флористичного різноманіття лучних степів (Hrytsenko, 2007, 2017).

На сьогодні антропогенна трансформація степових ділянок залишається в центрі зору багатьох дослідників. Наприклад, Б.Є. Якубенко у своїх дослідженнях зосереджує увагу на класифікації степової рослинності, враховуючи те, що значна її частина піддалась змінам внаслідок антропогенних чинників. Ним детально вивчена рослинність балок, які виступають цінними осередками унікальної степової рослинності через неможливість їх використання у господарській діяльності. При вивченні балкової рослинності Лісо-степу України, вчений підкреслює її неоднорідність, строкатість, що зумовлена високим вмістом бобових та різнотрав'я, а також помітну участь у флористичному складі лучних і лісових видів, що свідчить про їх мезофільніший характер і гетерогенність їх формування (Yakubenko, 2010).

Степову рослинність Центрального Поділля, яка належить до класів *Festuco-Brometea* та *Fragario viridis-Trifolion montani*, вивчали Я.П. Дідух та Ю.А. Вашеняк. Ними зауважено, що розподіл угруповань визначався геоморфологічною будовою, гідрорежимом, едафічними особливостями території та кліматичними умовами. Встановлено також, що у степових угрупованнях Центрального Поділля зростає кількість рідкісних видів рослин та запропоновано створювати охоронювані території на таких ділянках (Didukh & Vashenyak, 2012).

Сучасні дослідження степів стосуються також особливостей перебігу в них сукцесійних процесів. Так, Л.П. Боровик вивчала видовий склад угруповань перелогів та просторовий розподіл рослинності Стрільцівського степу. Нею було досліджено біотопи перелогів та загальну динаміку їх рослинності і встановлено, що у процесі сукцесії фіксується інтенсивна поява степових

видів і слабка тенденція щодо зменшення кількості нетипових для степів видів рослин (Vorovuk, 2021).

Нині питання особливостей функціонування, охорони та збереження степів активно вивчається вітчизняними науковцями. Серед них даній проблемі приділяють увагу науковці Інституту Ботаніки ім. М.Г. Холодного НАН України. Значна частина досліджень спрямована на висвітлення екологічної та соціологічної ролі степів, особливостей рослинного покриву, класифікації степових біотопів (Didukh, 1986, 1999, 2012, 2020; Dubyna, 2003, 2007, 2020; Kuzemko, 2009, 2016, 2020).

Під час вивчення степових фітоценозів увага науковців зосереджена на дослідженні степових фітоценозів, які знаходяться під охороною та є частинами об'єктів природно-заповідного фонду. Особливо важливими є вивчення тих ділянок степу, які ніколи раніше не зазнавали змін внаслідок антропогенної діяльності. Саме такою є ділянка лучного степу, що розташована на території Сумської області – природний заповідник «Михайлівська цілина», на базі якого проводилися і проводяться зараз ряд досліджень, що направлені на виявлення структурних змін рослинності степових ділянок в умовах як абсолютної заповідності, так і інших охоронних режимах користування. Вагомий внесок у вивчення рослинного покриву природного заповідника «Михайлівська цілина» зробили В.С. Ткаченко (Tkachenko, 1973, 1984, 2005), Г.І. Білик (Bilyk, 1957, 1973), І.О. Дудка (Dudka, 1998), О.С. Родінка (Rodinka, 2014), І.Г. Зоз (Zoz, 1993), Н.О. Парахонська (Parhonska, 1984). Науковцями було проведено геоботанічні дослідження, вивчено вплив багаторічного режимного викошування на структуру рослинності заповідника.

Висновки. В публікації проаналізовано наукові праці провідних вітчизняних та іноземних авторів, які проводили раніше або проводять сьогодні дослідження степових фітоценозів на території України. Виявлено напрями, які активно вивчались науковцями, та ті, які нині є недостатньо вивченими та потребують подальших досліджень. Зокрема, до таких напрямів належить науково обґрунтований режим навантажень на степові фітоценози для їх збереження.

Існує низка підходів до вивчення та класифікації степових фітоценозів, в основу яких покладено різноманітні аспекти, що пов'язані з особливостями розміщення, едафічними факторами та характером рослинності. Оскільки вивчення особливостей степових фітоценозів тривають, то з'являються нові підходи до їх класифікації. При цьому, значна кількість підходів потребує перегляду та уточнення, враховуючи існуючу трансформацію рослинності, яка пов'язана насамперед із антропогенним впливом.

Дослідження різних аспектів функціонування степів на сучасному етапі розвитку геоботаніки та популяційної екології рослин стануть базою для розробки рекомендацій та плану дій, направлених на охорону та збереження цінних степових біотопів. Тому особливу цінність матимуть наукові праці, в яких увага буде зосереджена на динаміці степової рослинності внаслідок антропогенної трансформації, кліматичних змін і різних режимів навантажень.

Бібліографічні посилання:

1. Alehin, V.V. (1925). Fitosotsiologiya (uchenie o rastitelnykh soobshchestvakh) i eyo poslednie uspehi u nas i na Zapade [Phytosociology (the study of plant communities) and its recent successes in our country and in the West]. Metodika geobotanicheskikh issledovaniy. Moskva, Puchnina, 7–75 (in Russian).
2. Alehin, V.V. (1957). Geografiya rasteniy s osnovami botaniki [Geography of plants with the basics of botany]. Moskva, 519 (in Russian).
3. Alehin, V.V. (1986). Teoreticheskie problemy fitotsenologii i stepevedeniya [Theoretical problems of phytocenology and steppe science]. Moskva, 97 (in Russian).
4. Antifeev, D. A. & Golovanova, G. Ya. (2021). Ot Orlovo do Askanii [From Orlovo to Askania]. Melitopolskiy kraevedcheskiy zhurnal, № 17, 43–50 (in Russian).
5. Belgard, A.L. (1971). Stepnoe lesovedenie [Steppe forestry]. Moskva, Lesnaya promyshlennost, 336 (in Russian).
6. Bilyk, H. I. (1957). Roslynnist zapovidnyka Mykhailivska tsilyna ta yii zminy pid vplyvom hospodarskoi diialnosti liudyny [Flora of the Mykhailivska virgin reserve and its changes under the influence of human economic activity]. Ukr. botan. zhurnal, № 4, 26–39 (in Ukrainian).
7. Bilyk, H. I. (1973). Luchni stepy [Meadow steppes]. Roslynnist URSSR. Stepny, kamianysti vidslonennia, pisky. Kyiv, Naukova dumka, 33–84 (in Ukrainian).
8. Bilyk, H. I. & Tkachenko V.S. (1972). Suchasnyi stan roslynnoho pokryvu zapovidnyka Mykhailivska tsilyna na Sumshchyni [The current state of the plant cover of the Mykhailivska Virgin Nature Reserve in Sumy Oblast]. Ukr. botan. zhurnal, 29, № 6, 696–702 (in Ukrainian).
9. Bilyk, H.I. (1973). Riznotravno-typchakovo-kovylovi stepy [Variegated-grassy-stemmed steppes]. Roslynnist URSSR. Stepny, kamianysti vidslonennia, pisky. Kyiv, Naukova dumka, 94–179 (in Ukrainian).
10. Bilyk, H.I. (1974). Roslynnist luk balok zapovidnyka «Mykhailivska tsilyna» na Sumshchyni [Flora of meadows and beams of the reserve «Mykhailivskaya virgin land» in Sumy Oblast]. Ukr. botan. zhurnal, № 2, 198–204 (in Ukrainian).
11. Bilyk, H.I. & Osychniuk, V.V. (1967). Suchasnyi stan roslynnosti pokryv Askaniiskoho tsilynnoho stepu [The current state of vegetation cover of the Askaniya virgin steppe]. Ukrainskyi botanichnyi zhurnal, 24(4), 44–49 (in Ukrainian).
12. Bilyk, H.I. & Panova, L.S. (1959). Roslynni kompleksi zapovidnyka Kamiani Mohyly [Plant complexes of Kamiani Mohyly reserve]. Ukrainskyi botanichnyi zhurnal, 16(6), 40–48 (in Ukrainian).
13. Bilyk, H.I. & Tkachenko, V.S. (1971). Roslynni pokryv absolutnoho zapovidnoi dilianky Khomutovskoho stepu [Vegetation cover of the absolutely protected area of the Khomutovsky Steppe]. Ukrainskyi botanichnyi zhurnal, 28(3), 337–342 (in Ukrainian).
14. Bilyk, H.I. & Tkachenko, V.S. (1971). Roslynni pokryv Provalskoho stepu URSSR [Vegetation cover of the Proval steppe of the Ukrainian SSR]. Ukrainskyi botanichnyi zhurnal, 28(4), 443–449 (in Ukrainian).
15. Bilyk, H.I. & Tkachenko, V.S. (1971). Roslynni pokryv Striltsivskoho stepu URSSR [Vegetation cover of the Striltsiv steppe of the Ukrainian SSR]. Ukrainskyi botanichnyi zhurnal, 28(5), 613–617 (in Ukrainian).
16. Bilyk, H.I. & Tkachenko, V.S. (1973). Zminy roslynnoho pokryvu stepu Mykhailivska tsilyna na Sumshchyni zalezho vid rezhymu zapovidnosti [Changes in the vegetation cover of the Mykhailivska virgin steppe in Sumy Oblast depending on the regime of the nature reserve]. Ukr. botan. zhurnal, 30(1), 89–95 (in Ukrainian).
17. Borovyk, L.P. (2008). Pryrodni ta antropohenni faktory demutatsii perelohiv na terytorii Striltsivskoho stepu (viddilennia Luhanskoho pryrodnoho zapovidnyka) [Natural and anthropogenic factors of fallow demutation in the territory of the Striltsiv steppe (department of the Luhansk nature reserve)]. Chornomorskyi botanichnyi zhurnal, 4(1), 98–106 (in Ukrainian).
18. Borovyk, L.P. (2014). Vydovyi sklad perelohovykh uhrupovan pochatkovykh stadii suksesii na pivnichnomu skhodi Luhanskoi oblasti [Species composition of fallow communities of the initial stages of succession in the north-east of Luhansk region]. Visnyk Lvivskoho universytetu. Seriya biolohichna, 64, 137–146 (in Ukrainian).
19. Didukh, Ya. P. & Korotchenko, I.A. (1996). Stepova roslynnist pivdennoi chastyny Livoberezhnoho lisostepu Ukrainy. I. Klasy Festucetea vaginatae ta Helianthemo-Thymetea [Steppe flora of the southern part of the Left Bank forest-steppe of Ukraine. I. Classes *Festucetea vaginatae* and *Heliantgemo-Thyetea*]. Ukrainskyi fitotsenotychnyi zbirnyk. Seriya A. Fitosotsiologhiia, 2, 56–63 (in Ukrainian).
20. Didukh, Ya. P., Tkachenko, V. S., Pliuta, P. H., Korotchenko, I. A. & Fitsailo, T.V. (1998). Porivnialna otsinka fitoriznomanitnosti zapovidnykh stepovykh ekosystem Ukrainy z metoiu optymizatsii rezhymiv yikh okhorony [Comparative assessment of the phytodiversity of protected steppe ecosystems of Ukraine with the aim of optimizing their protection regimes]. Kyiv, 75 (in Ukrainian).
21. Didukh, Ya.P. (1989). Florystychna klasyfikatsiia uhrupovan «hisopovoi» flory [Floristic classification of groups of «hyssop flora»]. Ukrainskyi botanichnyi zhurnal, 46(6), 16–21 (in Ukrainian).
22. Didukh, Ya.P., Borsukevych, L.M., Davydova, A.O., Dziuba, T.P., Dubyna, D.V., Yemelianova, S.M., Kolomiichuk, V.P., Kuzemko, A.A., Kucher, O.O., Moisiienko, I.I., Pashkevych, N.A., Fitsailo, T.V., Khodosovtsev, O.Ie., Tsarenko, P.M., Chusova, O.O., Shapoval, V.V. & Shyriaieva, D.V. (2020). Biotopy stepovoi zony Ukrainy [Biotope of the steppe zone] (Red. akademik NAN Ukrainy Ya.P. Didukh). Kyiv – Chernivtsi, DrukART, 392 (in Ukrainian).
23. Didukh, Ya.P. & Korotchenko, I.A. (1996). Stepova roslynnist pivdennoi chastyny Livoberezhnoho lisostepu Ukrainy. I. Klasy Festucetea vaginatae ta Helianthemo-Thymetea [Steppe vegetation of the southern part of the Left Bank forest-steppe of Ukraine. I. *Festucetea vaginatae* and *Helianthemo-Thymetea* classes]. Ukrain skyi fitotsenotychnyi zbirnyk. Seriya A. Fitosotsiologhiia, 56–63 (in Ukrainian).
24. Didukh, Ya.P. & Vasheniak, Yu.A. (2012). Stepova roslynnist Tsentralnoho Podillia [Steppe vegetation of the Central Podillia]. Ukr. botan. zhurn., 69(6), 789–817 (in Ukrainian). 49

25. Dubyna, D.V. & Dziuba, T.P. (2007). Tsenotychnе riznomanittia halofitnoi roslynnosti Ukrainy ufitosozolohichnomu aspekti [Cenotic diversity of halophytic vegetation of Ukraine from the phytosociological aspect]. *Visti biosferneho zapovidnyka «Askaniia-Nova»*, 9, 21–31 (in Ukrainian).
26. Dubyna, D.V. & Movchan, Ya.I. (2013). Ekomerezha stepovoi zony Ukrainy: pryntsyipy stvorennia, struktura, elementy [Eco-network of the steppe zone of Ukraine: principles of creation, structure, elements]. Kyiv, LAT&K, 2013, 409 (in Ukrainian).
27. Dubyna, D.V., Sheliakh-Sosonko, Yu.R., Zhmud, O.I., Zhmud, M.Ie., Dvoretzkyi, T.V., Dziuba, T.P. & Tymoshenko, P.A. (2003). Dunaiskyi biosfernyi zapovidnyk [Danube Biosphere Reserve]. *Roslynniyi svit*. Kyiv, 459 (in Ukrainian).
28. Fitoriznomanittia zapovidnykiv i natsionalnykh pryrodnykh parkiv Ukrainy [Phytodiversity of reserves and national natural parks of Ukraine] (2012). Ch.1. Biosferni zapovidnyky. Pryrodni zapovidnyky. Kolektyv avtoriv pid red. V.A. Onyshchenka, T.L. Andriienko. Kyiv, Fitosotsiotsentr.
29. Hetman, V.I. (2000). Ekolohichni (edafichni) chynnyky produktyvnosti i bioriznomanittia stepovykh landshaftnykh kompleksiv Mykhailivskoi tsilyny [Ecological (edaphic) factors of productivity and biodiversity of the steppe landscape complexes of Mykhailivska virgin land]. *Problemy landshaftnoho riznomanittia Ukrainy: Zbirnyk naukovykh prats*. Kyiv, 175–182 (in Ukrainian).
30. Hryhora, I.M. & Solomakha, V.A. (2005). Roslynnist Ukrainy (ekoloho-tsenotychnyi, florystychnyi ta heohrafichni narys) [Vegetation of Ukraine (ecological-cenotic, floristic and geographical outline)]. Kyiv, Fitosotsiotsentr, 2005, 452 (in Ukrainian).
31. Hrytsenko, V. V. (2007). Luchni stepy Kyivskoho plato: flora, roslynnist, populiatsii ridskykh vydiv ta okhrona [Meadow steppes of the Kyiv plateau: flora, vegetation, populations of rare species and protection]: avtoref. dys. na zdobuttia nauk. stupenia kand. biol. nauk: 03.00.05. Kyiv, 20 (in Ukrainian).
32. Hrytsenko, V. V. (2017). Fitoriznomanittia botaniko-heohrafichnoi dilianky «Stepy Ukrainy» u Natsionalnomu botanichnomu sadu im. M.M. Hryshka NAN Ukrainy [Phytodiversity of the botanical and geographical area «Steppes of Ukraine» in the National Botanical Garden named after M.M. Hryshka of the National Academy of Sciences of Ukraine]. *Lisove i sadovo-parkove hospodarstvo*, 12 (in Ukrainian).
33. Podpera, J. (1925). Versuch einer epiontologischen Gliederung des europäischen Waldes. 21
34. Keller, B.A. (1923). Rastitelnyy mir russkikh stepey, polupustyn i pustyn [The flora of the Russian steppes, semi-deserts and deserts. Ecological and phytosociological essays]. *Ocherki ekologicheskije i fitosotsiologicheskije*, 1, 183 (in Russian).
35. Kharkevych, S. S. (1956). Stepovy zapovidnyk Mykhailivska tsilyna [Steppe reserve Mykhailivska virgin land]. *Ukrainskyi botanichnyi zhurnal*, 13(2), 58–67 (in Ukrainian).
36. Kleopov, Yu.D. (1929). Do pytannia pro klasyfikatsiiu stepiv pviddennoho skhodu Ukrainy [To the question of the classification of the steppes of southeastern Ukraine]. *Visnyk Kyivskoho botanichnoho sadu*. Kyiv, 10, 41–52 (in Ukrainian).
37. Kolomiichuk, V.P., Ostapko V.M. & Yarovy S.S. (2012). Pryrodnyi zapovidnyk Ukrainskyi stepovy [Ukrainian Steppe Nature Reserve]. Fitoriznomanittia zapovidnykiv i natsionalnykh pryrodnykh parkiv Ukrainy. Ch. 1. Biosferni zapovidnyky. Pryrodni zapovidnyky. Kyiv, Fitosotsiotsentr, 336–378 (in Ukrainian).
38. Konaikova, V.O. (2018). Biotopy pryrodnoho zapovidnyka «Ielanetskyi step» [Biotopes of the nature reserve «Yelanetsky Steppe»]. U zb.: *Klasyfikatsiia roslynnosti ta biotopiv Ukrainy: materialy tretioi naukovy-teoretichnoi konferentsii* (Kyiv, 19–21 kvitnia 2018 r.). Kyiv, 87–92 (in Ukrainian).
39. Kondratyuk, E.N., Burda R.I., Chuprina T.T. & Homyakov M.T. (1988). Luganskyi gosudarstvennyy zapovednik [Luhansk State Reserve]. Kiev, Naukova dumka, 188 (in Russian).
40. Kondratyuk, E.N. & Chuprina, T.T. (1992). Kovyilnyie stepi Donbassa. Sovremennoe sostoyanie i perspektivy vosstanovleniya [Feather-grass steppes of Donbass. Current state and prospects for recovery]. Kiev, Naukova dumka, 171 (in Russian).
41. Korzhinskiy, S. I. (1888). Severnaya granitsa chernozemno-stepnoy oblasti vostochnoy polosy Evropeyskoy Rossii v botaniko-geograficheskom i pochvennom otnoshenii [The northern border of the chernozem-steppe region of the eastern strip of European Russia in botanical-geographical and soil terms]. *Kazan*, 18(5), 253 (in Russian).
42. Krylov, P.N. (1927). Flora Zapadnoy Sibiri [Flora of Western Siberia]. Tomsk, 212 (in Russian).
43. Kuzemko, A.A. (2016). Classification of the class Molinio-Arrhenatheretea in the forest and foreststeppe zones of Ukraine. *Phytocoenologia*, 46(3), 241–256.
44. Kuzemko, A. A. (2011). Kontseptsiiia asotsiatsii v suchasniy fitosotsiologii [The concept of association in modern phytosociology]. *Chornomorskyi botanichnyi zhurnal*, 7(3), 215–229 (in Ukrainian).
45. Kuzemko, A.A. (2009). Dry grasslands on sandy soils in the forest and forest-steppe zones of the plains region of Ukraine: present state of syntaxonomy. *Tuexenia*, 29, 369–390.
46. Kuzemko, A., Dubyna, D., Dziuba, T., Moysiienko, I., Vasheniak, Y. & Zakharova, M. (2015). Syntaxonomy of sandy and rocky grasslands of Ukraine: preliminary results of large-scale analysis. In: *From Population Biology to Community Ecology. 12 th European Dry Grassland Meeting. Book of Abstracts* (Mainz, Germany, 22–27 May 2015). Mainz-Trier, 24.
47. Lavrenko, E. M. (1971). Osnovnyie problemy biogeotsenologii i zadachi biogeotsenologicheskikh issledovaniy v SSSR [The main problems of biogeocenology and the tasks of biogeocenological research in the USSR]. *Zhurnal obschey biologii*, 32 (4), 395–408 (in Russian).
48. Lavrenko, E. M. (1980). Stepi. Rastitelnost Evropeyskoy chasti SSSR [Steppes. Vegetation of the European part of the USSR]. Leningrad, Izd-vo Nauka, 203–272 (in Russian).
49. Lavrenko, E.M. (1954). Stepi Evraziatskoy stepnoy oblasti, ih geografiya, dinamika i istoriya [Steppes of the Eurasian steppe region. Their geography, dynamics, history]. *Voprosy botaniki*. Leningrad, Nauka, 155 – 191 (in Russian).

50. Lavrenko, E.M., Karamyisheva, Z.V. & Nikulina, R.I. (1991). Stepi Evrazii [Steppes of Eurasia]. Nauka, 146 (in Russian).
51. Lavrenko, Ye.M. & Zoz, I.H. (1928). Roslynnist tsilyny Mykhailivskoho kinnoho zavodu (kol. Kapnista) Sumskoi okruhy [Roslynnist tsilyny Mikhailivsky film factory (kol. Kapnist) Sumy district]. Okhorona pamiatok pryrody na Ukraini. Kharkiv, 2, 3–16 (in Ukrainian).
52. Lyisenko, G. N. (2014). Stepnyie zapovedniki i absolyutno zapovednyiy rezhim: poiski kompromissa [Steppe reserves and absolutely reserved regime: the search for a compromise]. Stepnoy byulleten, 11–16 (in Russian).
53. Lyisenko, G. N. & Korotchenko, I. A. (2006). Sintaksonomicheskie izmeneniya rastitel'nogo pokrova lugovoy stepi zapovednika «Mihaylovskaya tselina» (Sumskaya oblast, Ukraina) [Syntaxonomic changes in the vegetation cover of the meadow steppe of the reserve «Mikhailovskaya virgin» (Sumy region, Ukraine)]. Rastitelnost Rossii, 43–57 (in Russian).
54. Lysenko, H. (2007). Krytychnyi period avtohenetychnoi suksesii stepovykh fitotsenoziv yak vyjav protsesiv filotsenohenezu [The critical period of the autogenetic succession of steppe phytocenous structures as a manifestation of the processes of phyllocenogenesis]. Lviv, Visnyk Lvivskoho universytetu, Seriya biologichna, 45, 85–90 (in Ukrainian).
55. Mala, Yu.I. (2016). Mezha mizh Lisostepom i Stepom: ekoloho-tsenotychna otsinka (na prykladi pravoberezhnoi Ukrainy) [The border between the forest-steppe and the steppe: an ecological and cenotic assessment (on the example of the right-bank Ukraine)]. Kyiv, Naukova dumka, 165 (in Ukrainian).
56. Mordkovich, V. H. (1982). Stepnye ekosistemy [Steppe ecosystems]. Novosybyrsk, Nauka, 1982, 206 (in Ukrainian).
57. Onyshchenko, V.A. & Andriienko, T.L. (2012). Fitoriznomanittia zapovidnykiv ta natsionalnykh pryrodnykh parkiv Ukrainy [Phytodiversity of reserves and national natural parks of Ukraine]. Kyiv, Fitosotsiotsentr, 406 (in Ukrainian).
58. Osychniuk, V. V. (1973). Zmina produktyvnosti stepovykh fitosenoziv zalezho vid struktury roslynnoho pokryvu [Change in the productivity of steppe phytocenoses depending on the structure of the plant cover]. Ukr. botan. zhurn., 30(2), 204–211 (in Ukrainian).
59. Osychniuk, V. V. (1979). Deiaki osoblyvosti zapovidnogo rezhymu u viddilenniakh Ukrainskoho stepovoho zapovidnyka [Some features of the protected regime in the branches of the Ukrainian Steppe Reserve]. Ukr. botan. zhurn., 36(4), 347–352 (in Ukrainian).
60. Osychnyuk, V. V. (1988). Flora Ukrainskogo stepnogo zapovednika (annotirovannyiy spisok sosudistykh rastenyi) [Flora of the Ukrainian Steppe Reserve (an annotated list of vascular plants)]. Moskva, 44 (in Russian).
61. Pachoskiy, I. K. (1917). Opisanie rastitelnosti Hersonskoy gubernii, ch.2. Stepi [Description of the vegetation of the Kherson province, part 2. Steppes]. Materialy po issledovaniyu pochv i gruntov Hersonskoy gubernii, 13, 336 (in Russian).
62. Pachoskiy, I. K. (1923). Tselinnaya zapovednaya step Askaniya-Nova [Virgin protected steppe Askania-Nova]. Askaniya-Nova, stepnoy zapovednik Ukrainy, Moskva (in Russian).
63. Pachoskiy, I. K. (1926). Nablyudeniya nad tselinnyim pokrovom v Askaniya-Nova v 1923 g [Observation of virgin cover in Askania-Nova]. Visti Derzhavnogo stepovogo zapovidnika «Chapli», 3 (in Russian).
64. Pohrebniak, P.S. (1968). Osnovy lisovoi typolohii [Basics of forest typology]. Moskva, Kolos, 440 (in Ukrainian).
65. Panova, L.S. (1972). Rozpodil roslynnoho pokryvu zapovidnyka Kamiani Mohyly zalezho vid reliefu [Distribution of the vegetation cover of the Kamiani Mohyla reserve depending on the topography]. Ukrainnyi botanichniy zhurnal, 29(4), 468–475 (in Ukrainian).
66. Panova, L.S. (1983). Rozpodil roslynnoho pokryvu zapovidnyka Kamiani Mohyly [Distribution of vegetation cover of Kamiani Mohyla reserve]. Ukrainnyi botanichniy zhurnal, 40(3), 70–80 (in Ukrainian).
67. Parakhonska, N.O. (1984). Zminy florystychnoho skladu Mykhailivskoi tsilyny v umovakh zapovidnosti [Changes in the floristic composition of Mykhailivska virgin land under the conditions of the reserve]. Ukr. botan. zhurn., 41(5), 13–16 (in Ukrainian).
68. Polchaninova, N.Yu. (2004). Vosstanovlenie stepnykh araneokompleksov na zapovednykh territoriyah s razlichnyim senokosnyim rezhimom [Restoration of steppe araneocomplexes in protected areas with different haymaking regimes]. Aktualnyie problemyi sohraneniya ustoychivosti zhivyykh sistem. Mater. VIII Mezhdunar. nauchn. ekol. konf. Belgorod, 149–165 (in Russian).
69. Polchaninova, N.Yu. (2012). Izmenenie stepnykh araneokompleksov pod vozdeystviem rezhimnykh meropriyatiy v zapovednikah Ukrainy i Rossii [Changes in steppe araneocomplexes under the influence of regime measures in the reserves of Ukraine and Russia]. Rezhimy stepnykh osobo ohranyaemykh prirodnykh territoriy: Materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyaschenoy 130-letiyu so dnya rozhdeniya professora V.V. Alehina. Kursk, 156–159 (in Russian).
70. Prystupa, I.V. (2011). Osnovy heobotaniky ta fitotsenolohii: Navchalnyi posibnyk [Basics of geobotany and phytocenology: Study guide]. Zaporizhzhia, ZNU, 10 (in Ukrainian).
71. Rabotnov, T. A. (1978). Fitotsenologiya: Uchebnoe posobie dlya biologicheskikh fakul'tetov vuzov [Phytocenology: Textbook for biological faculties of universities]. Izdatel'stvo MGU, Moskva, 384 (in Russian).
72. Rodinka, O.S. (2014). Florystychni zminy u zapovidnyku «Mykhailivska tsilyna» ta yikh prychny [Floristic changes in the reserve «Mykhailivska virgin» and their causes]. Pryrodnychi nauky, 11, 52–57 (in Ukrainian).
73. Rodinka, O.S. & Shevchenko, Yu.M. (2013). Vplyv bahatorichnogo rezhymnogo vykoshuvannya travostoiu u viddilenni «Mykhailivska tsilyna» Ukrainskoho stepovoho pryrodnogo zapovidnyka na stan zberezhenia ta dynamiku chyselnosti vydiv roslyn ta tvaryn, zanesenykh do «Chervonoj Knyhy Ukrainy» [The effect of long-term regular mowing of grass in the «Mykhailivskaya virgin» section of the Ukrainian Steppe Nature Reserve on the state of preservation and the dynamics of the number of plant and animal species listed in the «Red Book of Ukraine»]. News Biosphere Reserve «Askania Nova», 15, 26 (in Ukrainian).
74. Shalyt, M. (1928). Deiaki vidomosti za protses vidnovlennia stepovoi roslynnosti na perelohakh Derzhavnogo stepovoho zapovidnyka «Chapli» (kol. Askaniia-Nova) [Some information on the process of restoration of steppe vegetation on

- the fallows of the State Steppe Reserve "Chapli" (Askania-Nova district)]. *Visti Derzh. Stepovoho zapovidnyka «Chapli»*, 7, 139–152 (in Ukrainian).
75. Shalyt, M. (1928). Velykyi Chapelskyi pid v Askanii-Nova ta yoho roslynnist roku 1927-1928 [Velikiy Chapelsky pod in Askania-Nova and its vegetation in 1927–1928.]. *Visti Derzh. Stepovoho zapovidnyka «Chapli»*, 7, 165–199 (in Ukrainian).
76. Shapoval, V.V. (2012). Biosfernyi zapovidnyk «Askaniia-Nova imeni F.E. Falz-Feina» [Biosphere Reserve «Askania-Nova named after F.E. Falz-Fein»]. V kn.: *Fitoriznomanittia zapovidnykiv i natsionalnykh pryrodnykh parkiv Ukrainy. Ch.1. Biosferni zapovidnyky. Pryrodni zapovidnyky*. Kyiv, Fitosotsiotsentr, 13–30 (in Ukrainian).
77. Shennikov, A.P. (1964). *Vvedenie v geobotaniku* [Introduction to Geobotany]. Izdatelstvo Leningradskogo universiteta, Leningrad, 448 (in Russian).
78. Teetzmann Franz. (1845). Ueber die Südrussischen Steppen und über die darinim Taurischen Gouvernement belegenen Besitzungen des Herzogs von Anhalt-Köthen. Beiträge zur Kenntniss des Russischen Reiches und der angrenzenden Länder Asiens. Elfte Bändchen. St. Petersburg, 3–137.
79. Tkachenko, V.S., Lysenko, H.M. (2005). Synfitoindykatsiia postpyrohennykh zmin ekotopichnykh kharakterystyk luchnoho stepu «Mykhailivska tsilyna» na Sumshchyni (Ukraina) [Synphytoindication of post-pyrogenic changes in the ecotopic characteristics of the meadow steppe «Mykhailivska virgin» in Sumy Oblast (Ukraine)]. *Ukr. botan. zhurn.*, 62(4), 468–482 (in Ukrainian).
80. Tkachenko, V.S., Parakhonska, N.O. & Sheremet, L.H. (1984). Dynamika struktury roslynnoho pokryvu zapovidnyku «Mykhailivska tsilyna» [The dynamics of the structure of the plant cover of the reserve «Mykhailivska virgin land»]. *Ukr. botan. zhurn.*, 41(3), 71–74 (in Ukrainian).
81. Tkachenko, V. S. (2004). Fitotsenotychnyi monitorynh rezervatnykh suksesii v Ukrainському stepovomu pryrodnomu zapovidnyku [Phytocenotic monitoring of reserve successions in the Ukrainian Steppe Nature Reserve]. *Kyiv, Fitosotsiotsentr*, 184 (in Ukrainian).
82. Tkachenko, V. S., Henov, A. P. & Lysenko, H. M. (2003). Strukturni zminy v roslynnomu pokryvizapovidnoho luchnoho stepu «Mykhailivska tsilyna» (Ukraina) za dannyymi velykomasshtabnohokartuvannia u 2001 rotsi [Structural changes in the vegetation cover of the protected meadow steppe "Mykhailivska virgin" (Ukraine) according to the data of large-scale mapping in 2001]. *Visti biosf. Zapov. «Askaniia-Nova»*, 5, 7–17 (in Ukrainian).
83. Tkachenko, V. S., Henov, A.P. & Lysenko, H.M. (1991). Struktura roslynnosti zapovidnoho stepu «Mykhailivska tsilyna» za danymi krupnomasshtabnoho kartuvannia v 1991 rotsi [Vegetation structure of the protected steppe "Mykhailivska virgin land" according to the data of large-scale mapping in 1991]. *Ukr. botan. zhurn.*, 50(4), 5–15 (in Ukrainian).
84. Tkachenko, V.S. (2007). Vraty enerhii stepovymy ekosystemamy za ryznykh vydiv yikh ekspluatatsii ta enerhetychni osnovy stabilnosti stepu [Energy losses of steppe ecosystems under different types of their exploitation and energy bases of steppe stability]. *Ukrainskyi fitotsenotychnyi zbirnyk. Serii S. Fitoekolohiia*, 25, 4–18 (in Ukrainian).
85. Tkachenko, V.S. (2009). «Striltsivskyi step» v fitotsenotychnomu monitorynhu Starobilskykh stepiv [«Striltsivsky steppe» in the phytocenotic monitoring of the Starobil steppes]. *Visti Biosfernoho zapovidnyka «Askaniia-Nova»*, 11, 6–19 (in Ukrainian).
86. Tkachenko, V.S., Didukh, Ya.P., Henov, A.P. & Dudka, I.O. (1998). *Ukrainskyi pryrodnyi stepovyi zapovidnyk. Roslynniyi svit* [Ukrainian natural steppe reserve. The plant world]. Kyiv, Fitosotsiotsentr, 280 (in Ukrainian).
87. Tkachenko, V.S. & Henov, A.P. (1986). Florotsenotychna kharakterystyka zaproponovanoho Kalmiuskoho derzhavnogo zakaznyka [Phylocoenotic characteristics of the proposed Kalmius state reserve]. *Ukrainskyi botanichnyi zhurnal*, 43(5), 92–96 (in Ukrainian).
88. Tymoshenko, P.A. (1999). Suchasnyi stan klasyfikatsii roslynnosti aren pivdnia Ukrainy [The current state of the vegetation classification of the arenas of southern Ukraine]. *Ukrainskyi fitotsenotychnyi zbirnyk. Serii A. Fitosotsiolohiia*, 1–2(12–13), 201–205 (in Ukrainian).
89. *Ukrainska radianska entsyklopediia u 12 tomakh.* (1985). Stepova zona. Holovna redaktsiia URE [Ukrainian Soviet encyclopedia. Steppe zone] (in Ukrainian).
90. Vakarenko, L.P. (2009). Perspektivy sozdaniya stepnykh regionalnykh parkov v Odesskoy oblasti [Prospects for the creation of steppe regional parks in the Odessa region]. *Stepnoy byulleten*, 26, 15–18 (in Russian).
91. Vasilyuk, A.V., Parnikoza, I.Yu. & Shevchenko, M.S. (2010). Bioraznoobrazie stepey pod ohranoy Krasnoy i Zelenoy knig Ukrainy [The biodiversity of the steppes under protection of the Red and Green Books of Ukraine]. *Stepnoy byulleten*, №29, 33–38 (in Russian).
92. Vasyliuk, O. & Kaliuzhna, M. (2009). Lisorozvedennia u stepovii zoni Ukrainy: realii, obmezhenia, zahrozy [Forestry in the steppe zone of Ukraine: realities, limitations, threats]. *Ekolohiia. Pravo. Liudyna*, №4–5 (34–34), 35–48 (in Ukrainian).
93. Vasyliuk, O. & Kolomytsev, H. (2011). Implementatsiia Kiotskoho protokolu zahrozhue stepam Ukrainy [The implementation of the Kyoto Protocol threatens the steppes of Ukraine]. *Ekolohiia. Pravo. Liudyna*, №13–14 (53–54), 29–31 (in Ukrainian).
94. Vedenkov, E. P. (1997). O vosstanovlenii estestvennoy rastitelnosti na yuge stepnoy Ukrainy [On the restoration of natural vegetation in the south of the steppe Ukraine]. *Askaniya-Nova*, 39 (in Russian).
95. Vedenkov, E. P. & Drogobych, N. E. (1998). O vosstanovitelnoy suksessii zalezhnoy rastitelnosti v Askanii-Nova. Zapovidna sprava v Ukrayins [On the restorative succession of fallow vegetation in Askania-Nova]. *Kaniv*, t.3, vip.2, 81–85 (in Russian).
96. Voitiuk, B.Iu. (2005). Roslynnist zasolenykh gruntiv Pivnichno-Zakhidnoho Prychor-nomor (suchasnyi stan, klasyfikatsiia, napriamky transformatsii, okhorona) [Vegetation of the saline soils of the North-Western Prychor-Nomor region (current state, classification, directions of transformation, protection)]. *Kyiv, Fitosotsiotsentr*, 224 (in Ukrainian).

97. Vysotskiy, G.M. (1905). Stepi Evropeyskoy Rossii [Steppes of European Russia]. Polnaya entsiklopediya russkogo selskogo hozyaystva, Moskva, 397–443 (in Russian).
98. Yakubenko, B. Ye., Hryhora, I. M. & Nikonov, S. B. (2005). Stepova roslynnist Ukrainy: suchasnyi stan ta perspektyvy yii optymizatsii ta vykorystannia [Steppe vegetation of Ukraine: current state and prospects for its optimization and use]. Monohrafiia: Naukove zabezpechennia staloho rozvytku silskoho hospodarstva v Stepu Ukrainy i AR Krym. Kabinet Ministriv Ukrainy. Natsionalnyi ahrarnyi universytet. Kyiv, Aleva, 1, 408–432 (in Ukrainian).
99. Yakubenko, B. Ye., Hryhoriuk, I.P., Yakubenko, N.B. & Serha, O.I. (2010). Klasyfikatsiia stepovoi roslynnosti Lisostepu Ukrainy [Classification of steppe vegetation of the Forest Steppe of Ukraine]. Naukovyi visnyk Uzhhorodskoho universytetu. Serii Biolohiia, 27, 68–79. (in Ukrainian).
100. Yaroshenko, P. D. (1961). Geobotanika: Osnovnyie ponyatiya, napravleniya i metody [Geobotany: Basic concepts, directions and methods]. Akad. nauk SSSR. Izd-vo Akad. nauk SSSR, 138 (in Russian).
101. Zoz, I. H. (1933). Roslynnist Mykhailivskoi tsilyny na Sumshchyni [Vegetation of Mykhailivska virgin land in Sumy Oblast]. Zhurnal bio.-botan. tsykladu VUAN, 5–6, 157–183 (in Ukrainian).

Koplyk Ya.V., PhD student, Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine

Steppe phytocoenoses of Ukraine: specifics and history of the study

The article describes the characteristics of steppe plant groups, substantiates their ecological role, gives the main stages and directions of studying steppes, indicates the role of abiotic and biotic factors in their formation, in particular, the mechanism of influence of ungulate grazing on steppe plant groups. It is noted that the steppe ecosystem was formed under the influence of wild herbivores – herds of wild horses, kulans and roe deer (now their function is performed by domestic livestock), which is a necessary condition for maintaining the steppe type of vegetation. During grazing, the accumulation of dead plant biomass decreases, and during trampling by animals, the integrity of the dead cover is disturbed, which ensures the germination of new shoots of cereals and other steppe species. It also removes the problem of mesophytization due to the retention of a much larger amount of moisture by the dead cover than is typical for the steppes. Excessive grazing, as well as its complete absence, negatively affects the state of steppe vegetation.

The description of the current state of steppe biotopes on the territory of Ukraine is given, and the high degree of their anthropogenic transformation is emphasized. Information is given about the areas of the steppe, including virgin steppe, which are now preserved on the territory of Ukraine and are part of the objects of the nature reserve fund. The biological features of typical steppe xerophyte species are indicated, including wax coating and pubescence on the leaves and a long and branched root system.

The article includes information on aspects of anthropogenic activity, which became the main reason for the decrease in the share of steppe phytocoenoses in the vegetation structure of Ukraine. The need for their preservation and protection is substantiated, taking into account their importance in preserving the valuable steppe biodiversity and their critical state.

One of the main directions of studying steppe phytocoenoses is the classification of steppe vegetation, the conditions and features of its formation, as well as the mode of loads that ensures the normal functioning of steppe ecosystems. The works of a number of both domestic and foreign scientists were analyzed.

Key words: *steppe phytocoenoses, abiotic and biotic factors of steppe formation, classification, mode of use, history of study.*

ВПЛИВ ОБРОБКИ НАСІННЯ МЕТАБОЛІЧНО АКТИВНИМИ РЕЧОВИНАМИ НА ФОТОСИНТЕТИЧНУ ПРОДУКТИВНІСТЬ ПРОРОСТКІВ ПШЕНИЦІ М'ЯКОЇ (*TRITICUM AESTIVUM* L.) ЗА МОДЕЛЮВАННЯ ВОДНОГО ДЕФІЦИТУ

Паливода Юлія Миколаївна

аспірантка

Ніжинський державний університет імені Миколи Гоголя, м. Ніжин, Україна

ORCID: 0000-0001-6544-3441

yulia.palivoda@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

*Пшениця, одна з найважливіших сільськогосподарських культур у світі, виробництво якої є важливим для людства. В Україні серед зернових культур *Triticum aestivum* L. належить перше місце. Вона займає понад 6 млн га, що становить понад 22 % усіх посівних площ зернових культур.*

Серед усіх природних чинників, які негативно впливають на фізіологічні процеси росту і розвитку пшениці та призводять до зниження урожайності, є водний дефіцит, спричинений посухою.

Питання щодо вивчення посухостійкості зернових культур, є актуальними, оскільки вони орієнтовані на вивчення реакцій рослин на водний стрес та впровадження методів підвищення стійкості рослин до посухи. Одним з таких методів є застосування метаболічно активних речовин, що підвищують стійкість зернових культур до різних несприятливих факторів, в тому числі і до посухи.

Метаболічно активні речовини входять до складу багатьох стимуляторів росту та інших препаратів для рослин. Щороку вивчають нові властивості метаболічно активних речовин та їхні перспективи щодо подальшого застосування. Використання метаболічно активних речовин дає змогу краще розкрити потенціал рослини, підвищити стресостійкість і в результаті збільшити продуктивність сільськогосподарських культур.

У статті наведено порівняльну характеристику впливу метаболічно активних речовин та їх комбінацій на формування асиміляційної поверхні, вміст зелених фотосинтетичних пігментів у проростках пшениці м'якої в умовах водного дефіциту, змодельованого за допомогою ПЕГ 6000. Встановлено, що попередня обробка насіння розчинами параоксибензойної кислоти (ПОБК), убіхінону – 10, магній сульфату ($MgSO_4$) та комбінацією вітамін Е + параоксибензойна кислота (ПОБК) + метіонін + магній сульфат ($MgSO_4$) сприяє збільшенню площі асиміляційної поверхні проростків пшениці на 17,7 %, 16,5 %, 16,2 % та 12,1 % відповідно, порівняно з площею асиміляційної поверхні проростків, насіння яких знаходилося в умовах водного дефіциту, змодельованого за допомогою ПЕГ 6000. Обробка насіння розчином убіхінону – 10 та комбінацією вітамін Е + убіхінон – 10 стимулювали синтез хлорофілу у листках пшениці на 14,4 % та 15,4 % відповідно, порівняно з групою рослин, насіння яких пророщували в умовах уповільненого надходження води.

Обробка насіння метаболічно активними речовинами сприяє збереженню оптимальної обводненості тканин за рахунок посилення ксероморфності листків та може бути використана як елементи технології вирощування зернових культур в умовах водного дефіциту.

Ключові слова: пшениця м'яка, метаболічно активні речовини, ПЕГ 6000, площа асиміляційної поверхні, хлорофіл а і b.

DOI <https://doi.org/10.32845/agrobio.2022.3.7>

Вступ. У світовому рослинництві, зернові культури займають найбільші посівні площі, що свідчить про їх виключно важливе продовольче, кормове і сировинне значення в народному господарстві. До найважливіших зернових культур як в Україні, так і у всьому світі належить пшениця.

На сьогодні одним із важливих завдань сільськогосподарського виробництва є підвищення продуктивності зернових. Через глобальну зміну клімату перед аграріями постала проблема зниження урожайності пшениці.

Одним із найгостріших екологічних стресорів є посуха, яка має виражений негативний вплив на мор-

фологічні, фізіологічні і біохімічні показники, що порушують процеси росту і розвитку пшениці та призводять до зниження урожайності (Рукало et al., 2019).

Питання щодо вивчення посухостійкості пшениці м'якої (*T. aestivum*) є актуальними, оскільки вони орієнтовані на вивчення реакцій рослин на водний дефіцит та впровадження методів підвищення стійкості рослин до посухи.

Вчені світу займаються питанням вивчення впливу посухи на рослини та пошуком речовин, що підвищують посухостійкість сільськогосподарських рослин, стимулюючи утворення фотосинтетичних пігментів та прискорюють інтенсивність фотосинтезу (Jia P., Melnyk A. et al.,

2021). З'ясовано, що застосування α -токоферолу, підвищує вміст зелених фотосинтетичних пігментів у листках, посилює антиоксидантні механізми кукурудзи *Zea mays* L. в умовах посухи (Ali et al., 2020). Експериментально доведено, що в стресових умовах вільні амінокислоти впливають на роботу синтезуючого апарату, а деякі з них беруть участь у регуляції метаболізму, визначаючи ефективність роботи фітогормонів (Zaefyzadeh et al., 2009). Обробка насіння саліциловою кислотою збільшує вміст хлоропластних пігментів у листках озимої пшениці. Застосування біологічно активних речовин дає змогу повніше реалізувати потенційні можливості рослин, підвищити їх стійкість до дії різних стресових чинників та збільшити врожай (Maltseva et al., 2011; Zabolotna A. et al., 2021).

На сьогодні у галузі рослинництва часто використовують метаболічно активні речовини, які входять до складу багатьох стимуляторів росту рослин. Щороку вченими вивчаються нові властивості цих речовин та перспективи щодо подальшого їх застосування (Kozichko & Navii, 2020).

Таким чином, пошук метаболічно активних сполук, що зменшують негативну дію посухи та стимулюють фізіолого-біохімічні процеси в організмі зернових культур є актуальною проблемою сьогодення.

Метою даної роботи є дослідження впливу обробки насіння метаболічно активними речовинами на фотосинтетичну продуктивність проростків пшениці м'якої за умов водного дефіциту, змодельованого за допомогою ПЕГ 6000.

Матеріали і методи досліджень. Для дослідження використовували насіння пшениці м'якої (*T. aestivum*) сорту Провінціалка. Цей сорт селекції Носівської селекційно-дослідної станції Миронівського інституту пшениці імені В.М. Ремесла Національної академії аграрних наук України. Він є одним із найбільш придатних сортів для вирощування продовольчого зерна високої якості в зоні Лісостепу та Полісся та характеризується високою посухостійкістю (State register, 2022).

Дослідження проводилися в навчально-науковій лабораторії з біохімічних та медико-валеологічних досліджень Ніжинського державного університету імені Миколи Гоголя. Для моделювання водного дефіциту використовували розчин нейногенного високомолекулярного полімеру поліетиленгліколю 6000 (ПЕГ 6000) концентрацією 12 %. Для оцінки на стійкість до посухи рекомендується використовувати зазначену концентрацію ПЕГ 6000 (Seldymyrova, 2019; Jia et al., 2021).

Вивчення впливу метаболічно активних речовин на фотосинтетичну продуктивність за тривалої дії водного дефіциту проводили в чашках Петрі, насіння пшениці замочували на 3 години у розчинах досліджуваних речовин та їх комбінацій. Дослідження передбачало використання таких варіантів:

- 1) контроль (необроблене насіння + дистильована вода);
- 2) обробка насіння розчином ПЕГ 6000 (12 %.);
- 3) обробка насіння розчином вітаміну Е (10^{-8} М) – Е;

- 4) обробка насіння розчином убіхінону-10 (10^{-8} М) – Q;
- 5) обробка насіння розчином метіоніну (0,001%) – М;
- 6) обробка насіння розчином параоксисбензойної кислоти (ПОБК) (0,001%) – П;

7) обробка насіння розчином $MgSO_4$ (0,001%) – Mg;

- 8) обробка насіння комбінацією речовин: вітамін Е (10^{-8} М) + убіхінон - 10 (10^{-8} М) – EQ;

- 9) обробка насіння комбінацією речовин: вітамін Е (10^{-8} М) + метіонін (0,001 %) + ПОБК (0,001%) – ЕМП;

- 10) обробка насіння комбінацією речовин: вітамін Е (10^{-8} М) + метіонін (0,001%) + ПОБК (0,001%) + $MgSO_4$ (0,001%) – ЕМПМg.

У зазначених концентраціях метаболічно активні сполуки виявили високу ефективність щодо впливу на фотосинтетичну продуктивність зернобобових культур (Kozichko & Navii, 2020). Повторність дослідів була чотириократна.

Оброблене насіння заливали 20 мл 12 % розчину ПЕГ 6000 і пророщували протягом 10 діб в термостаті при температурі 20 °С.

Площу листової поверхні визначали за методикою (Yeshchenko et al., 2005). Вміст пігментів – хлорофілів *a*, *b* і загальний вміст хлорофілів визначали спектрофотометричним методом на *СФ-26* (Рочупок, 1976). Інтенсивність поглинання червоного кольору вимірювали за довжин хвиль 665, 654, 649 нм з етиловим спиртом як стандартом.

Статистично опрацьовували матеріал за допомогою методів математичної статистики з використанням стандартних вбудованих функцій пакета спеціалізованого програмного забезпечення MS Office Excel – 2010.

Результати. Листок – основний асиміляційний орган рослини, в якому утворюються органічні речовини, які слугують структурно-енергетичним матеріалом для всього організму. Розмір асиміляційного листового апарату та період його активної дії є прямим показником фотосинтетичної активності рослини (Shadchyna et al., 2006).

Листок має найбільші адаптивні властивості до умов навколишнього середовища, що виражається в зміні площі асиміляційної поверхні. За дефіциту води відбувається зменшення площі листової поверхні та затримка процесів клітинного росту. Ростова реакція належить до головних механізмів захисту рослин пшениці від критичних втрат води в умовах посухи (Zhuk, 2011).

Фізіологічні показники площі асиміляційної поверхні проростків пшениці м'якої за пророщування в умовах уповільненого надходження води на розчині ПЕГ 6000 із попереднім замочуванням насіння у розчинах метаболічно активних сполук наведені у таблиці 1.

Згідно отриманих нами результатів, асиміляційна поверхня проростків насіння пшениці м'якої за дії метаболічно активних речовин на розчині осмотично-активної речовини ПЕГ 6000 має найменшу площу. Так, у варіанті з посухою площа листової пластинки зменшилася на 0,6 см² і становить 81,1 % у порівнянні з контролем. Це одна з найбільш швидких адаптивних реакцій рослин на водний дефіцит – зупинка подальшого збільшення поверхні випаровування через пригні-

Площа асиміляційної поверхні проростків пшениці м'якої сорту Провінціалка за умов водного дефіциту, змодельованого за допомогою ПЕГ 6000 за дії метаболічно активних речовин

| Варіанти дослідів | Площа листової пластинки, см ² | % до контролю |
|-------------------|---|---------------|
| Контроль | 3,38±0,18 | 100,0 |
| ПЕГ | 2,74±0,20 | 81,1 |
| ПЕГ+Е | 3,03±0,18# | 89,6 |
| ПЕГ+Q | 3,30±0,36# | 97,6 |
| ПЕГ+М | 2,53±0,21 | 74,9 |
| ПЕГ+П | 3,34±0,17# | 98,8 |
| ПЕГ+Mg | 3,29±0,25# | 97,3 |
| ПЕГ+EQ | 3,07±0,13# | 90,8 |
| ПЕГ+ЕМП | 2,89±0,14# | 85,5 |
| ПЕГ+ЕМПМg | 3,15±0,14# | 93,2 |

– Різниця достовірна порівняно з групою рослин, насіння яких пророщували в умовах уповільненого надходження води на розчині ПЕГ ($p < 0,05$)

Таблиця 2

Вміст хлорофілів а і b у листках проростків пшениці м'якої сорту «Провінціалка» в умовах водного дефіциту за дії метаболічно активних речовин

| Варіанти дослідів | Хлорофіл а | | Хлорофіл b | | a:b |
|-------------------|------------|---------------|------------|---------------|-------|
| | мг/г | % до контролю | мг/г | % до контролю | |
| Контроль | 0,75±0,03 | 100,0 | 0,32±0,03 | 100,0 | 2,3:1 |
| ПЕГ | 0,83±0,03 | 110,7 | 0,35±0,01 | 109,4 | 2,4:1 |
| ПЕГ+Е | 0,79±0,09 | 105,3 | 0,34±0,01 | 106,3 | 2,3:1 |
| ПЕГ+Q | 0,97±0,09# | 129,3 | 0,37±0,01# | 115,6 | 2,6:1 |
| ПЕГ+М | 0,92±0,10# | 122,7 | 0,39±0,05# | 121,9 | 2,4:1 |
| ПЕГ+П | 0,80±0,03 | 106,7 | 0,35±0,01 | 106,3 | 2,3:1 |
| ПЕГ+Mg | 0,73±0,03 | 97,3 | 0,31±0,01 | 96,9 | 2,4:1 |
| ПЕГ+EQ | 0,95±0,05# | 126,7 | 0,38±0,01# | 118,8 | 2,5:1 |
| ПЕГ+ЕМП | 0,72±0,04 | 96,0 | 0,30±0,02 | 93,8 | 2,4:1 |
| ПЕГ+ЕМПМg | 0,84±0,02# | 112,0 | 0,37±0,01# | 115,6 | 2,3:1 |

– Різниця достовірна порівняно з групою рослин, насіння яких пророщували в умовах уповільненого надходження води на розчині ПЕГ ($p < 0,05$)

чення росту клітин. Існує прямий зв'язок між розміром асиміляційної поверхні і інтенсивністю зневоднення: чим більше площа листя, тим швидше рослина втрачає воду (Kolupaiev, 2010).

Попереднє замочування насіння в розчинах метаболічно активних речовин усуває інгібуючий вплив змодельованого водного дефіциту. У порівнянні з обробкою ПЕГ найвищі показники площі асиміляційної поверхні мали проростки, насіння, яких зазнало попередньої обробки розчинами П, Q, Mg. Так, за обробки насіння пшениці *T. aestivum* розчином П в умовах водного дефіциту площа асиміляційної поверхні проростків зростає на 17,7 %, за обробки розчином Q – на 16,5 %, за обробки Mg – на 16,2 % порівняно з площею асиміляційної поверхні проростків, насіння яких знаходилося в умовах водного дефіциту, змодельованого за допомогою ПЕГ 6000. Висока ефективність щодо збільшення площі асиміляційної поверхні проростків пшениці в умовах посухи була відмічена також при використанні комбінації ЕМПМg.

Основним джерелом синтезу й нагромадження рослинами біомаси є процес фотосинтезу. Головними фотосинтезуючими пігментами вищих рослин є хлорофіли а та b, оскільки продуктивність фотосинтетичного апарату тісно пов'язана з їх вмістом у листках.

У табл. 2 відображений вплив метаболічно активних сполук на вміст хлорофілів а і b та їх співвідношення у листках проростків пшениці м'якої пророщених в умовах уповільненого надходження води на розчині ПЕГ 6000.

Дослідження впливу метаболічно активних речовин на вміст хлорофілу а в листках проростків пшениці м'якої (*T. aestivum*) показали, що обробка насіння пшениці м'якої розчином Q та комбінацією EQ найефективніше стимулювали синтез хлорофілу а в умовах водного дефіциту, перевищуючи показники контролю на 29,3 %, та на 26,7 % відповідно, а показники проростків, насіння яких що знаходилося в змодельованих умовах посухи, – на 16,9 % та 14,3 % відповідно. Висока ефективність щодо вмісту хлорофілу а була відмічена також при використанні розчину М.

Схожа тенденція простежується і при дослідженні вмісту хлорофілу b (табл. 2). Так, обробка насіння розчином М мало найкращий вплив на вміст пігменту – перевищення контролю на 21,9%, а посухи – на 12,3 %. Деяко нижча ефективність щодо підвищення вмісту хлорофілу b за обробки насіння комбінацією EQ – значення фотосинтетичного показника підвищилось порівняно з контролем на 18,8 %, а з посухою на 9,2 %.

Досліджувані метаболічно активні речовини показали позитивний вплив на співвідношення хлорофілу *a* до хлорофілу *b*, що становить відповідно 2,4:1 та відповідає нормальному співвідношенню згідно наукових даних.

Результати дослідження впливу метаболічно активних речовин на вміст загального хлорофілу в листках проростків пшениці в умовах водного дефіциту представлено у табл. 3. Показано, що обробка насіння пшениці комбінацією EQ збільшила показник суми хлорофілів *a* і *b* у листках на 27,8 % порівняно з контролем і на 15,4 % порівняно з проростками, насіння яких знаходилося в умовах посухи. Висока ефективність щодо вмісту загального хлорофілу листках проростків пшениці в умовах посухи була відмічена також при використанні таких метаболічно активних речовин як Q та M.

Таблиця 3

Вміст загального хлорофілу у листках проростків пшениці м'якої сорту «Провінціалка» в умовах водного дефіциту за дії метаболічно активних речовин

| Варіанти досліджу | Хлорофіл <i>a</i> + <i>b</i> | |
|-------------------|------------------------------|---------------|
| | мг/г | % до контролю |
| Контроль | 0,97±0,05 | 100 |
| ПЕГ | 1,09±0,04 | 112,4 |
| ПЕГ+E | 1,09±0,04 | 112,4 |
| ПЕГ+Q | 1,23±0,07# | 126,8 |
| ПЕГ+M | 1,20±0,15# | 123,7 |
| ПЕГ+P | 1,09±0,03 | 112,4 |
| ПЕГ+Mg | 0,99±0,05 | 102,1 |
| ПЕГ+EQ | 1,24±0,05# | 127,8 |
| ПЕГ+ЕМП | 0,96±0,06 | 99,0 |
| ПЕГ+ЕМПМg | 1,17±0,07# | 120,6 |

– Різниця достовірна порівняно з групою рослин, насіння яких пророщували в умовах уповільненого надходження води на розчині ПЕГ ($p < 0,05$)

Обговорення. Посуха є одним із екологічних факторів, що обмежують фотосинтез рослин. Фотосинтетична система дуже чутлива до гальмівних факторів навколишнього середовища, і стрес від посухи призводить до пошкодження реакційних центрів. (Khayatnezhad & Gholamin, 2012). Сучасний стан досліджень проблеми фотосинтезу дає підставу вважати, що фотосинтетична діяльність сільськогосподарських культур є основою їх продуктивності й значною мірою залежить від вмісту пігментів у рослинах (Shin et al., 2021).

Концентрація хлорофілу вважається чутливим індикатором стану рослини і стійкості її до водного стресу. Вчені Ірану та Азербайджану довели, що існує тісна взаємодія між генотипами та водним дефіцитом на вміст хлорофілу у різних сортів твердої пшениці (Zaefyzadeh et al., 2009). Згідно їх досліджень вміст хлорофілу під час водного дефіциту підвищується у сортів які мають високий індекс посухостійкості і зменшується у нестійких сортів. Це пояснюється вищим рівнем антиоксидантів у посухостійких сортів пшениці та більшою стійкістю молекул хлорофілу до окисного пошкодження.

У багатьох працях повідомляється про зниження вмісту хлорофілу і зміни співвідношення хлорофілів *a* і *b* внаслідок тривалої ґрунтової посухи (Morhun et al., 2002; Sokolovska-Serhiienko & Stasyk, 2008; Jia et al., 2021). У дослідженнях, де вивчали наслідки м'якої і помірної посухи, було показано незмінність вмісту хлорофілів (Flexas & Medrano, 2002).

Вважають, що вміст хлорофілу починає знижуватись тільки тоді, коли асиміляція CO₂ тривалий час була дуже пригніченою. Нетривала ґрунтова посуха не впливала на концентрацію хлорофілу у дослідних рослин посухостійких сортів озимої пшениці (Sokolovska-Serhiienko & Stasyk, 2008).

У працях Шматка та співавторів (Shmatko et al., 1989) показано, що за умов водного дефіциту посухостійкі сорти озимої пшениці характеризувалися стійкою пігментною системою порівняно із нестійкими сортами.

Інтенсивність фотосинтезу та вміст фотосинтетичних пігментів у рослинах залежить від мінерального живлення. Застосування метаболічно активних сполук для попередньої обробки насіння викликає певні зміни в пігментному складі листків (Kozziuchko et al., 2020).

Використання метаболічно активних речовин дає змогу знизити шкідливий вплив природних чинників та збільшити продуктивність сільськогосподарських культур (Nardi et al., 2016).

У роботі ми досліджували вплив метаболічно активних речовин в умовах водного дефіциту на площу асиміляційної поверхні та вміст хлорофілів *a* та *b* у листках проростків пшениці м'якої.

Одним з факторів оптимізації функціонування асиміляційної поверхні в умовах водного дефіциту є рівень мінерального живлення (Terek, 2007). З'ясовано, що попередня обробка насіння розчинами P, Q, Mg та комбінацією ЕМПМg збільшує площу асиміляційної поверхні проростків порівняно з проростками, насіння яких знаходилося в умовах водного дефіциту, змодельованого за допомогою ПЕГ 6000. Це пов'язано з тим, що метаболічно активні речовини відіграють важливу роль у функціонуванні рослинного організму. Зокрема, убіхінон – 10 залучений до біоенергетичних процесів, захисту від пошкоджуючої дії активних форм кисню та продуктів окислення, виступає в якості ефективного імуностимулятора (Liu & Lu, 2016). Параоксибензойна кислота регулює активність комплексу антиоксидантних ферментів та виконує в клітині функцію сигнальних молекул при формуванні захисних реакцій (Barkosky & Einhellig, 2003). MgSO₄ є для рослинного організму одним із джерел магнію, який необхідний для функціонування понад 300 ферментів. Окрім того, що магній є центральним атомом молекули хлорофілу, він бере участь у численних фізіологічних процесах під час росту та розвитку рослин. 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 (Guo et al., 2015; Chornyi, 2020). Метіонін задіяний у багатьох метаболічних процесах рослинних організмів. Зокрема, він потрібний для

біосинтезу білків, бере участь у регулюванні стану листових продихів та оптимізації обміну води в рослинному організмі. Активна форма метіоніну, S-аденозилметіонін, виконує ключові функції як основний донор метильної групи і як попередник метаболітів, як-от етилен, поліаміни, вітамін B1, 3-диметилсульфоніопропіонат (осмопротектор), і як джерело сірки: диметилсульфід (Hildebrandt et al., 2015).

Вітамін E 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. Токофероли захищають рослини на ранніх етапах росту від згубної дії активних форм кисню, що утворюються під час активних біохімічних процесів у молодій рослині (Sattler et al., 2004, Jia et al., 2022).

Високий вміст хлорофілу *a* та *b*, на нашу думку, пояснюється високим показником адаптаційного потенціалу дослідних рослин, що забезпечується ефективною роботою фотосинтетичного апарату асиміляційних органів. Це пов'язано з тим, що однією із найважливіших функцій убіхінону – 10 є транспорт електронів у дихальному ланцюзі під час фотосинтезу. Разом із пластохіноном він є складовою хімічних реакцій фотофосфорилування та окислювального фосфорилування відповідно в тилакоїдах хлоропластів. Окрім того, убіхінон – 10 є антиоксидантом (Liu & Lu, 2016). Метіонін – це сірковмісна амінокислота, яка приймає участь у синтезі білків, ферментів, фітогормонів і низки інших необхідних для рослинного організму сполук. Саме фітогормональний баланс забезпечує нормальне проходження фотосинтезу.

Обробка насіння м'якої пшениці розчинами метаболічно активних сполук, таких як Q, EQ, M, ЕМПМг забезпечує кращу адаптацію рослин до умов водного дефіциту. В ході наших досліджень з'ясовано, що збільшення вмісту зелених фотосинтетичних пігментів за відносно незначної площі асиміляційної поверхні є показником ксеноморфної структури листків, що вказує на високу адаптаційну здатність рослин до умов посухи. Вченими з'ясовано, що запобігання висиханню досягається завдяки морфологічній, анатомічній пристосованості рослин до збереження оптимальної

обводненості тканин при сухості повітря та ґрунту. Це здійснюється трьома основними напрямками: регулювання втрати води за допомогою ксероморфної будови листків (невелика площа листової поверхні при інтенсивному розвитку палісадної паренхіми і високому вмісту фотосинтетичних пігментів); посилення поглинання води з ґрунту завдяки збільшенню потужності кореневої системи та зниженню водного потенціалу коренів; накопичення води та активізація її транспорту (Zlobin, 2004). У попередніх наших дослідженнях показано, що обробка насіння розчинами метаболічно активних сполук стимулювала утворення коренів на проростках пшениці в умовах водного дефіциту (Palyvoda et al., 2021).

Таким чином, застосування попередньої обробки насіння метаболічно активними речовинами пшениці м'якої (*T. aestivum* L.) та росту кореневої системи. Це підвищує посухостійкість пшениці м'якої та дає можливість зберегти високу продуктивність сільськогосподарських культур за умов водного дефіциту.

Висновки. Встановлено, що використання метаболічно активних речовин в умовах посухи сприяло оптимізації формування та функціонування асиміляційної поверхні рослин пшениці м'якої сорту Провінціалка. Найбільш ефективними метаболічно активними речовинами, які стимулюють збільшення фотосинтетичної поверхні проростків пшениці в умовах посухи є розчини: П, Q, Mg та комбінація ЕМПМг.

Досліджувані комбінації метаболічно активних речовин стимулювали синтез хлорофілу у листках пшениці в умовах водного дефіциту. Найвищі показники були виявлені при обробці насіння розчином Q та комбінацією EQ.

Попередня обробка насіння розчинами Q, M та комбінацією EQ сприяє максимальній реалізації фотосинтетичної продуктивності в умовах дефіциту вологи за рахунок посилення ксероморфної будови листків, тому, подальше вивчення впливу вище зазначених речовин на зернові культури в умовах посухи є перспективним напрямком досліджень.

Передпосівна обробка насіння метаболічно активними речовинами може бути використана як елементи технології за вирощування зернових культур в умовах водного дефіциту.

Бібліографічні посилання:

1. Ali, Q., Javed, M., Haider, M., Habib, N., Rizwan, M., Perveen, R., Ali, S., Alyemeni, M., El-Serehy, H. & Al-Misned, F. (2020) α -Tocopherol foliar spray and translocation mediates growth, photosynthetic pigments, nutrient uptake, and oxidative defense in Maize (*Zea mays* L.) under drought stress. *Agronomy*. Vol. 10, No. 9, P.1235.
2. Barkosky, R.R. & Einhellig, F.A. (2003) Allelopathic interference of plant water relationships by para-hydroxybenzoic acid. *Botanical Bulletin of Academia Sinica.*, 44, 53–58
3. Chorny, S.H. (2020). *Osnovy ahronomichnoi khimii: navchalnyi posibnyk* [Fundamentals of agronomic chemistry: a textbook]. MNAU, Mykolaiv, 284 (in Ukrainian)
4. Derzhavnyi reiestr sortiv roslyn, prydatnykh dlia poshyrennia v Ukraini na 2022 rik [State register of plant varieties suitable for dissemination in Ukraine] (2022) (Chynnyi vid 2022-09-08). Vyd. ofits. Kyiv. 526. (in Ukrainian)
5. Flexas, J. & Medrano, H. (2002) Energy dissipation in C3 plants under drought. *Funct. Plant Biology*, 29(10), 1209–1215.
6. Guo, W., Chen, S., Hussain, N., Cong, Y., Liang, Z. & Chen, K. (2015) Magnesium stress signaling in plant: just a beginning. *Plant Signal Behav.*, 10(3), Article: e992287

7. Hildebrandt, T.M., Nunes-Nesi, A., Araújo, W.L. & Braun, H.P. (2015) Amino Acid Catabolism in Plants. *Mol Plant*. Vol 8(11), P.1563–79.
8. Jia, P., Melnyk, A. & Zhang, Z. (2022). Differential adaptation of root and shoot to salt stress correlates with antioxidant capacity in mustard. *Pakistan journal of botany*, 54(6), 2001–2011 doi: 10.30848/PJB2022-6(32)
9. Jia, P., Melnyk, A., Li L., Kong, X., Dai, H., Zhang, Z. & Butenko, S. (2021). Effects of drought and rehydration on the growth and physiological features of mustard seedlings. *Journal of Central European Agriculture*, 22(4), 836–847 doi: 10.5513/JCEA01/22.4.3246.
10. Jia, P., Melnyk, A., Zhang, Z., Butenko, S. & Kolosok, V. (2021). Effects of seed pre-treatment with plant growth compound regulators on seedling growth under drought stress. *Agraarteadus*, 32(2), 251–256 doi: 10.15159/jas.21.35. Khatyatzhad, M. & Gholamin, R. (2012) The effect of drought stress on leaf chlorophyll content and stress resistance in maize cultivars (*Zea mays*). *African Journal of Microbiology Research*, 6 (12), 2844–2848.
11. Kolupaiev, Yu.Ye. (2010) *Osnovy fiziologii stii kosti roslyn: Kurs leksii* [Basics of physiology of plant resistance: Course of lectures]. Kharkiv. 121 (in Ukrainian).
12. Koziuchko, A. & Havii, V. (2020) Efektyvnist vplyvu peredposivnoi obrobky nasinnia metabolichno aktyvnymy rehovynamy ta rehulatorom rostu roslyn «vypel» na asymiliatsiini protsesy soi sortu annushka u fazi tsvitinnia Roslyn [The effectiveness of the influence of pre-sowing treatment of seeds with metabolically active substances and plant growth regulator «Pennant» on the assimilation processes of Annushka soybeans in the flowering phase of plants]. *Zbirnyk naukovykh prats LОНОΣ*. Tom 2. 82–85. (in Ukrainian).
13. Koziuchko, A.H., Havii, V.M. & Kuchmenko, O.B. (2020) Vplyv peredposivnoi obrobky nasinnia metabolichno aktyvnymy rehovynamy na okremi fiziologichni pokaznyky soi sortu Annushka ta yii produktyvnist [The effect of pre-sowing treatment of seeds with metabolically active substances on certain physiological indicators of Annushka soybean and its productivity]. *Naukovi zapysky Ternopilskoho natsionalnoho pedahohichnoho universytetu imeni Volodymyra Hnatiuka*. Ser. Biologhiia. Ternopil : TNPU im. V. Hnatiuka, 1–2 (79), 84–90. doi: 10.25128/2078-2357.21.4.11 (in Ukrainian).
14. Liu, M. & Lu, S. (2016) Plastoquinone and Ubiquinone in Plants: Biosynthesis, Physiological Function and Metabolic Engineering. *Front Plant Sci.*, 7, 1898.
15. Maltseva, N.M., Haievskiy, A.P. & Derevianko, K.Iu. (2011) Vplyv biologichno aktyvnykh rehovyn ta yikh kompozytsii na vmist fotosyntetychnykh pihmentiv u lystkakh ozymoi pshenytsi v umovakh defitsytu fosforu [The influence of biologically active substances and their compositions on the content of photosynthetic pigments in winter wheat leaves under conditions of phosphorus deficiency]. *Fyziologhiya y byokhymiya kult. Rastenyi*, 43(5), 403–411. (in Ukrainian).
16. Morhun, V.V., Hryhoriuk, I.P. & Nyzhnyk, T.P. (2002) Pihmentnyi fond kloroplastiv v lystkakh sortiv za umov posukhy ta obrobky polistymulinom K [The pigment fund of chloroplasts in the leaves of cultivars under conditions of drought and treatment with polystimulin K]. *Naukovi zapysky Ternopil. ped. un-tu*. Ser. Biologhiia, 3, 180–186. (in Ukrainian).
17. 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
18. Palyvoda, Iu.M., Havii, V.M. & Kuchmenko, O.B. (2021) Fiziologo-biokhimichni pokaznyky prorostkiv pshenytsi miakoi (*Triticum aestivum* L.) pry modeliuvanni vodnoho defitsytu za dii metabolichno aktyvnykh spoluk [Physiological and biochemical indicators of common wheat seedlings (*Triticum aestivum* L.) in the simulation of water deficit under the action of metabolically active compounds]. *Naukovi zapysky Ternopilskoho natsionalnoho pedahohichnoho universytetu imeni Volodymyra Hnatiuka*. Ser. Biologhiia. Ternopil: TNPU im. V. Hnatiuka, 3(81), 44–54. doi: 10.25128/2078-2357.21.3.7 (in Ukrainian).
19. Pochynok, Kh.N. (1976). *Metody biokhimichnoho analizu Roslyn* [Methods of biochemical analysis of plants]. *Naukova dumka*, Kyiv, 336 (in Ukrainian)
20. Pykalo, S.V., Demydov, O.A., Yurchenko, T.V., Prokopik, N.I. & Kharchenko, M.V. (2019) Porivnialna otsinka metodiv vyznachennia posukhosti kosti sortiv pshenytsi miakoi ozymoi [Comparative assessment of methods for determining drought tolerance of soft winter wheat varieties]. *Science Rise: Biological Science*, 4, 19, 17–21 (in Ukrainian).
21. 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, 1419–1432.
22. Seldymyrova, O.A. (2019) Testyrovanye selektyvnykh ahentov dlia otsenky yarovoi miahkoi pshenytsy na ustoi chyvost k zasukhe [Testing of selective agents for evaluation of spring soft wheat for drought resistance]. *Ekobyotekh*, 2(1), 51–62 (in Russian).
23. Shadchyna, T.M., Huliaiev, B.I. & Kirizii, D.A. (2006) Rehuliatsiia fotosyntezy i produktyvnist roslyn: fiziologichni ta ekolohichni aspekty [Regulation of photosynthesis and plant productivity: physiological and ecological aspects]. *Fitosotsiotsentr*, Kyiv, 384 (in Ukrainian).
24. Shin, Y.K., Bhandari, S.R., Jo, J.S., Song, J.W. & Lee, J.G. (2021) Effect of Drought Stress on Chlorophyll Fluorescence Parameters, Phytochemical Contents, and Antioxidant Activities in Lettuce Seedlings. *Horticulturae*, 7, 238
25. Shmatko, Y.H., Hryhoriuk, Y.A. & Shvedova, O.E. (1989) Ustoi chyvost rastenyi k vodnomu y temperaturnomu stressam [Resistance of plants to water and temperature stress]. *Nauk. dumka*, Kyev, 224 (in Russian).
26. Sokolovska-Serhienko, O.H. & Stasyk, O.O. (2008) Osoblyvosti reaktsii fotosyntetychnoho aparatu kontrastnykh za posukhosti kosti sortiv ozymoi pshenytsi na gruntovu posukhu [Peculiarities of the reaction of the photosynthetic apparatus of winter wheat varieties contrasting in terms of drought resistance to soil drought]. *Visnyk. Ukr. tov-va henetykiv i selektsioneriv*, 6(1), 137–144 (in Ukrainian).
27. Terek, O.I. (2007). *Rist roslyn: navchalnyi posibnyk* [Plant growth: a study guide]. *Vyd-vo Lvivskoho natsionalnoho universytetu imeni Ivana Franka*, Lviv, 248 (in Ukrainian).

28. 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).
29. Zabolotna, A.V., Zabolotnyi, O.I., Rozborska, L.V., Zhyliak, I.D. & Datsenko, A.A.. (2021) Vmist pihmentiv i chysta produktyvnist fotosyntezy kukurudzy za vykorystannia rehulatoriv rostu roslyn [Pigment content and net photosynthetic productivity of maize using plant growth regulators]. Visnyk Sumskoho natsionalnoho ahrarynoho universytetu. Seriiia «Ahronomiia i biolohiia», 4 (46), 9–15. (in Ukrainian).
30. Zaefyzadeh, M., Quliyev, R.A., Babayeva, S.M. & Abbasov, M.A. (2009) The Effect of the Interaction between Genotypes and Drought Stress on the Superoxide Dismutase and Chlorophyll Content in Durum Wheat Landraces. Turk J Biol., 33, 1–7.
31. Zhuk, O.I. (2011) Formuvannia adaptivnoi vidpovidi roslyn na defitsyt vody. [Formation of adaptive response of plants to water deficit]. Fyziolohiya y byokhymiya kult. Rastenyi, 43(1), 26–37 (in Ukrainian).
32. Zlobin, Yu.A. (2004) Kurs fiziolohii i biokhymii roslyn: pidruchnyk [Course of physiology and biochemistry of plants: textbook]. VTD «Universytetska knyha», Sumy, 464. (in Ukrainian).

Palivoda Yu.M., PhD student, Nizhyn Mykola Gogol State University, Ukraine

Haviy V.M., PhD (Biological Sciences), Nizhyn Mykola Gogol State University, Ukraine

The effect of seed treatment with metabolically active substances on the photosynthetic productivity of common wheat (*Triticum aestivum* L.) seedlings under simulation of water deficit

*Wheat one of the most important agricultural crops in the world, the production of which is important for mankind. In Ukraine, *Triticum aestivum* L. ranks first among grain crops. It occupies more than 6 million hectares, which is more than 22% of all grain crops.*

Among all the natural factors that negatively affect the physiological processes of growth and development of wheat and lead to a decrease in productivity, there is a water deficit caused by drought.

Questions regarding the study of the drought resistance of grain crops are relevant, as they are focused on the study of plant reactions to water stress and the implementation of methods of increasing plant resistance to drought. One of these methods is the use of metabolically active substances that increase the resistance of grain crops to various adverse factors, including drought.

Metabolically active substances are part of many growth stimulants and other preparations for plants. New properties of metabolically active substances and their prospects for further use are studied every year. The use of metabolically active substances makes it possible to better reveal the plant's potential, increase stress resistance and, as a result, increase the productivity of agricultural crops.

The article provides a comparative description of the influence of metabolically active substances and their combinations on the formation of the assimilation surface, the content of green photosynthetic pigments in common wheat seedlings under conditions of water deficit, simulated using PEG 6000. It was established that pretreatment of seeds with solutions of paraoxybenzoic acid (POBA), ubiquinone – 10, magnesium sulfate ($MgSO_4$) and the combination of vitamin E + paraoxybenzoic acid (POBA) + methionine + magnesium sulfate ($MgSO_4$) helps to increase the assimilation surface area of wheat seedlings by 17.7%, 16.5%, 16.2% and 12.1%, respectively, compared to the area of the assimilation surface of seedlings whose seeds were in conditions of water deficit, simulated using PEG 6000. Treatment of seeds with a solution of ubiquinone - 10 and a combination of vitamin E + ubiquinone – 10 stimulated the synthesis of chlorophyll in wheat leaves by 14.4% and 15.4%, respectively, compared to the group of plants whose seeds were germinated under conditions of slow water supply.

Treatment of seeds with metabolically active substances contributes to the preservation of optimal hydration of tissues by increasing the xeromorphism of leaves and can be used as elements of the technology of growing grain crops in conditions of water deficit.

Key words: soft wheat, metabolically active substances, PEG 6000, assimilation surface area, chlorophyll a and b.

ОСОБЛИВОСТІ ЕЕГ СТУДЕНТОК-БИОЛОГИНЬ З РІЗНОЮ ЕФЕКТИВНІСТЮ НАОЧНО-ОБРАЗНОГО МИСЛЕННЯ

Третяк Тетяна Олегівна

аспірантка

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, м. Дніпро, Україна

ORCID: 0000-0001-7154-8610

tessamina78@gmail.com

Дрегваль Ігор Володимирович

кандидат біологічних наук, доцент

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара м. Дніпро, Україна

ORCID: 0000-0001-6272-2082

dregigor24@gmail.com

Севериновська Олена Вікторівна

доктор біологічних наук, професор

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, м. Дніпро, Україна,

ORCID: 0000-0002-0002-1237

eseverinovskaya@gmail.com

Досягнення високого результату при розумовій діяльності забезпечує наочно-образний тип мислення як складова частина індивідуальних особливостей інтелектуальної діяльності людини. У дослідженні розумової діяльності на наочно-образний тип мислення приймали участь студентки-біологині з різними показниками. За допомогою апаратно-програмного комплексу DX-NT32.V19 здійснювали реєстрацію та первинний аналіз ЕЕГ-активності мозку. У результаті досліджень було встановлено, що при успішному виконанні завдань на наочно-образне мислення загальна кількість функціональних зв'язків зменшується за рахунок зменшення міжпівкульних взаємин, але збільшується внутрішньо-півкуля когерентність. Функціональні зв'язки у всіх діапазонах ЕЕГ вказують на передачу інформації через мозолисте тіло, що створює умови для виконання когнітивних завдань за допомогою швидкого аналізу. Відбувається «територіальне звуження» та посилення взаємодій у лобних, скроневих та тім'яних ділянках. Це дає підстави припустити, що ефективність наочно-образного мислення залежить від високого рівня знань та вмінь, які зберігаються у специфічних ділянках кори (скроневій та тім'яній) й узгодженості роботи лобних областей, які можуть встановлювати зв'язки з «полімодальними» та «супермодальними» елементами скроневої та тім'яної зон. Таким чином за результатами наших досліджень ефективно наочно-образному мисленню відповідають більші значення спектральної потужності у β 2-піддіпазоні та менша потужність у α -діпазоні ЕЕГ, патерни когерентності правої півкулі у β 1-піддіпазоні ЕЕГ та збільшення просторової складності, та сили когерентних зв'язків в θ -смузі з багаточисельними довгими міжпівкульними взаємодіями, що характерно при виконанні креативних завдань. У випадках підвищення ефективності образного мислення встановлюється значний функціональний зв'язок у δ -смузі в задніх відділах кори та короткі міжпівкульні міжсиметричні синхронізації, що пояснюється гальмівними процесами активної уваги на сторонні стимули, завдяки чому можлива інтеграція окремих елементів при уявному створенні образів. Також ймовірність досягнення високого результату пов'язана з зорово-просторовою стратегією виконання завдання, симультанним способом когнітивного процесу, гальмування рухових програм та зменшенням концентрації на самому завданні.

Ключові слова: наочно-образне мислення; біоелектрична активність головного мозку; розумова активність; когнітивна діяльність; функціональні зв'язки.

DOI <https://doi.org/10.32845/agrobio.2022.3.8>

Вступ. Загальноприйнятим є уявлення про те, що динаміка таких процесів, як увага, пам'ять, мислення, що визначають якість професійної діяльності людини, знаходить відображення у просторово-часовій організації електричної активності мозку, а виявлення електроенцефалографічних показників, що відображають певні сторони інтелектуальної діяльності людини (Aziz-Zadeh et al., 2013) має практичне значення для підвищення ефективності когнітивної діяльності.

У літературі можна знайти значну кількість фундаментальних досліджень, в яких розглядається зв'язок різних ритмічних та просторово-часових параметрів

електроенцефалограми (ЕЕГ) зі складовими інтелектуальної діяльності, такими як наочно-образне мислення (Finke, 1985; Bechtereva & Nagornova, 2007). Оперування наочними образами допомагають мати уяву про різні предмети та їх просторове положення, а також у думках змінювати їх взаємне розміщення, що лежить в основі розуміння істотних зв'язків та залежності речей.

Багато інформації, закодованої у біоелектричній активності мозку визначає неоднозначність та суперечливість трактувань щодо нейрофізіологічних механізмів патернів ЕЕГ. Складність нейрофізіологічної інтерпретації ЕЕГ-феноменів полягає у тому, що на ЕЕГ відбива-

ється робота всієї сукупності нейронів, об'єднаних у нейронних системах.

Також є ряд робіт, в яких дослідники пов'язують певні параметри ЕЕГ з успішністю виконання когнітивної діяльності (Kogorova & Dika, 2014; Dika & Denisova, 2011; Karatyugin, 2015). Також є велика кількість експериментального матеріалу, результати досліджень ЕЕГ людини під час виконання інтелектуальних завдань, які мають суперечливий характер та не дозволяють однозначно зіставити параметри біопотенціалів з конкретними психофізіологічними процесами. При виконанні інтелектуального завдання особами з різними фоновими показниками глобальної просторової організації потенціалів кори відбувається на фоні різного нейрофізіологічного та гормонального забезпечення, що важко враховувати при дослідженні (Maksymovych, 2015). Також залишається невирішеною і проблема знаходження універсальних електрофізіологічних показників, які були б надійно пов'язані з успішністю виконання широкого кола інтелектуальних завдань. Далеким від вирішення є питання щодо топографічних патернів активаційних та гальмівних процесів, які становлять фізіологічну основу інтелектуальних дій людей (Rominger et al., 2018), особливо тих, які опановують однакові компетенції.

Метою дослідження був наочно-образний тип мислення як складова частина індивідуальних особливостей інтелектуальної діяльності людини. Це обумовлює актуальність дослідження фізіологічного забезпечення наочно-образної розумової діяльності з метою виявлення фізіологічних чинників, які сприяють досягненню високого результату.

Матеріали і методи досліджень. В дослідженні взяли участь добровольці студентки-біологині (n = 118) віком 18–22 роки, правши з регулярним впродовж року менструальним циклом тривалістю 26–33 дні, які не вживали гормональні протизаплідні препарати. Всі були здорові, на момент дослідження не вживали ліків, не хворіли на неврологічні чи психіатричні захворювання,

не пред'являли скарг на фізичну стомленість або сонливість. Експерименти проводились у період фолікулярної фази (4–7 день) менструального циклу. Дослідження проводились у ранкові години у тихому, добре провітрюваному затемненому екранованому приміщенні з постійною температурою +20–22 °C (Rominger et al., 2018). Студенткам пропонували задачі із збірника тестів на розвиток образного мислення (Fillips, 2012). Час експозиції інструкції 5 секунд, час експозиції «бланку» завдання – 4 секунди; загальний час виконання завдання – 5 хвилин. У кінці дослідження визначали коефіцієнт успішності (ефективність) виконання завдання у відсотках, відмічаючи і оцінюючи обрані відповіді. Значення до 50% правильних відповідей вважали низькими, від 51 до 75% – середніми, а вищі за 76% – високими. Відповідно до цього були визначені групи студенток з середньою та високою ефективністю наочно-образного мислення.

У процесі розумової діяльності здійснювали реєстрацію та первинний аналіз ЕЕГ-активності за допомогою апаратно-програмного комплексу DX-NT32.V19, (виробник «DX-Complex», LTD, м. Харків, Україна). Розміщення електродів проводилось за міжнародною системою 10/20 монополярно. Нейтральний електрод розташовувався у ділянці лоба. Після перегляду та видалення артефактів, шляхом математичної обробки, розраховували кількісні параметри ЕЕГ за хвилину: нормовану спектральну потужність в частотних полосах, що відповідають δ – (1-4 Гц), θ – (4-8 Гц), α – (8-13 Гц), β_1 – (13-20 Гц) та β_2 – (20-30 Гц) ритмам та силу когерентних зв'язків між різними відведеннями. Когерентні (Ког) зв'язки кожного частотного діапазону ЕЕГ згрупували у 12 видів (табл. 1). Ког = 0,6-0,69 розцінювали як значимі зв'язки середнього ступеня, а Ког < 0,7 – як значимі зв'язки високого ступеня.

Статистичний аналіз проводили з використанням пакетів програми «Statistica 6.0» (Copyright © StatSoft, Inc. 1984-2001, Serial number 31415926535897) та Excel (MSOffice 7). Оскільки розподіл майже всіх показників

Таблиця 1

Види когерентних зв'язків, які підлягали аналізу та відповідні їм пари відведення

| Види когерентних відведень | | Відповідні пари відведень |
|---|---|--|
| 1 | | 2 |
| Внутрішньо-півкульні короткі | – у передніх відділах правої півкулі | Fp2-F4, Fp2-F8, Fp2-T4, F4-F8, F4-T4, F8-T4 |
| | – у передніх відділах лівої півкулі | Fp1-F3, Fp1-F7, Fp1-T3, F3-F7, F3-T3, F7-T3 |
| | – у задніх відділах правої півкулі | O2-P4, O2-T6, O2-C4, P4-C4, P4-T6, T6-C4 |
| | – у задніх відділах лівої півкулі | O1-P3, O1-T5, O1-C3, P3-C3, P3-T5, T5-C3 |
| Внутрішньо-півкульні довгі | – між передніми й задніми відділами правої півкулі | Fp2-O2, Fp2-P4, Fp2-T6, F8-O2, F8-T6, F8-P4, F4-T6, F4-P4, F4-O2 |
| | – між передніми й задніми відділами лівої півкулі | Fp1-O1, Fp1-P3, Fp1-T5, F7-O1, F7-T5, F7-P3, F3-T5, F3-P3, F3-O1 |
| Міжпівкульні в передніх та задніх відділах кори | – у передніх відділах кори | Fp1-F8, Fp1-T4, Fp1-F4, Fp2-F7, Fp2-T3, F4-T3 |
| | – у задніх відділах кори | O1-T6, O1-P4, O2-T5, O2-P3, P4-T5, P3-T6 |
| Міжпівкульні діагональні | – між передніми відділами правої півкулі та задніми відділами лівої | Fp2-O1, Fp2-T5, Fp2-P3, F8-O1, F8-T5, F8-P3, F4-O1, F4-T5, F4-P3 |
| | – між передніми відділами лівої півкулі та задніми відділами правої | Fp1-O2, Fp1-T6, Fp1-P4, F7-O2, F7-T6, F7-P4, F3-O2, F3-T6, F3-P4 |
| Міжпівкульні між симетричними відведеннями | – короткі | Fp1-Fp2, F3-F4, C3-C4, P3-P4, O1-O2 |
| | – довгі | F7-F8, T3-T4, T5-T6 |

був відмінним від нормального (за критерієм Лілієфора), то для порівняння залежних вибірок застосовували Т-критерій Вілкоксона, а незалежних – критерій Манна-Уїтні. Для опису вибіркового розподілу вказували медіани та нижній і верхній квартилі (Me [25; 75]). Значення $P < 0,05$ вважали статистично достовірними.

Результати. У студенток з високою ефективністю наочно-образного мислення усереднена спектральна потужність (СП) провідного α -ритму у стані спокою була статистично достовірно вищою ($p < 0,05$), у порівнянні з менш ефективними (табл. 2).

Під час виконання завдання на наочно-образне мислення у студенток з середньою ефективністю виконання тестів майже на всіх ділянках кори головного мозку було встановлене зниження СП ЕЕГ у α -діапазоні в 1,2–2,3 рази порівняно до фонових значень (рис. 1), зазначимо також, що найбільше зниження зафіксували в тім'яних, потиличних та скроневих відведеннях.

Статистично достовірно ($p < 0,05$) зниження СП α -коливальності у всіх відведеннях ЕЕГ при наочно-образному тестуванні характерно й для високо ефективних осіб (рис. 2). Відмітимо також, що чим більше розвинута дана здібність, тим нижчі значення нормованої спектральної потужності α -діапазону.

Позначення: фонові спектральні потужності складових ЕЕГ (закрыті очі) лівої (А) та правої (В) півкулі, спектральна потужність складових ЕЕГ лівої (Б) та правої (Г) півкулі під час виконання завдання на наочно-образне мислення.

Позначення: фонові спектральні потужності складових ЕЕГ (закрыті очі) лівої (А) та правої (В) півкулі, спектральна потужність складових ЕЕГ лівої (Б) та правої (Г) півкулі при виконанні завдання на наочно-образне мислення.

* – статистично достовірно відносно фонових значень для відповідної групи досліджених при рівні значимості $p < 0,05$ за критерієм Вілкоксона;

– статистично достовірно відносно значень студенток з середньою ефективністю, при рівні значимості $p < 0,05$ за U-критерієм Манна-Уїтні.

Результати порівняння (за U-критерієм Манна-Уїтні) значень СП у студенток з різною ефективністю вико-

нання завдання на наочно-образне мислення показали (рис. 2), що у студенток, які більш успішно виконали завдання СП у відповідному діапазоні мали нижчі значення показників у центральних, тім'яних та потиличних зонах кори головного мозку.

Взагалі при виконанні завдань на наочно-образне мислення усереднена за локалізаціями спектральна потужність ЕЕГ в β -полосі правої півкулі у жінок з високим проявом наочно-образного мислення статистично достовірно збільшувалась ($p < 0,05$) (табл. 2), порівняно до стану спокою.

У осіб обох досліджених груп під час наочно-образного мислення потужність β_1 -хвиль була вищою у ЕЕГ потиличних областей, а СП β_2 -складових ЕЕГ рівномірно розподілялась у корі (рис. 1, рис. 2). У студенток з середньою ефективністю виконання завдання відбувалося збільшення потужності β_1 -хвиль у потиличній та тім'яній зонах, а у осіб з високою ефективністю – у потиличних та фронтальних.

Спектральна потужність β_2 -складових у осіб з меншою ефективністю наочно-образного мислення статистично достовірно ($p < 0,05$) збільшувалась у передніх локаціях Fp1, Fp2, F3, F7, F8, а у осіб з високою ефективністю – у фронтальних Fp1, Fp2, F7, F8 зонах та центральних й скроневих ділянках правої гемісфери (рис. 1, рис. 2).

За даними усередненої за локалізаціями спектральної потужності ЕЕГ у δ -діапазоні у студенток з середньою ефективністю наочно-образного мислення статистично достовірно ($p < 0,05$) збільшувались в обох гемісферах (табл. 2). При цьому статистично достовірно збільшення ($p < 0,05$) спектральної потужності δ -складових зафіксували в різних ділянках кори головного мозку (рис. 1, рис. 2). Статистично достовірних відмінностей потужності в δ -полосі ЕЕГ між групами з середньою та високою ефективністю виконання когнітивного наочно-образного завдання не встановили (рис. 2).

Усереднені дані за локалізаціями спектральної потужності ЕЕГ в θ -діапазоні у жінок з середньою ефективністю виконання тесту на наочно-образне мислення статистично достовірно ($p < 0,05$) збільшувались в передній

Таблиця 2

Значення усередненої за локалізаціями спектральної потужності складових ЕЕГ у жінок з різною ефективністю наочно-образного мислення

| Діапазони ЕЕГ | Усереднена за локалізаціями спектральна потужність ЕЕГ у жінок, (n=55) | | | |
|---------------|--|---|--|---|
| | з середньою ефективністю наочно-образного мислення | | з високою ефективністю наочно-образного мислення | |
| | фон | під час виконання завдань | фон | під час виконання завдань |
| α | <u>190 (159; 211)</u> 195 (168; 214) | 153 (144; 166)# 146 (139; 157)# | <u>213 (194; 226)*</u> 219 (204; 239)* | <u>134 (128; 143) #*</u> 132 (128; 135) #* |
| β_1 | <u>72 (44; 85)</u> 65 (57; 93) | <u>5170 (57; 92)</u> 73 (53; 86) | <u>65 (52; 75)</u> 73 (52; 96) | <u>74 (51; 89)</u> 76 (53; 96) |
| β_2 | <u>42 (24; 57)</u> 37 (33; 66) | <u>43 (26; 81)</u> 40 (32; 57) | <u>37 (26; 67)</u> 40 (31; 55) | <u>36 (24; 49)</u> 43 (32; 65) |
| δ | <u>211 (204; 223)</u> 216 (198; 237) | <u>243 (233; 291) #</u> 246 (234; 286) # | <u>216 (207; 232)</u> 246 (225; 238) | <u>226 (212; 236)#</u> 251 (244; 263) |
| θ | <u>178 (152; 191)</u> 184 (156; 199) | <u>188 (151; 208)</u> 189 (156; 207) | <u>184 (162; 225)</u> 189 (177; 228) | <u>186 (164; 193)</u> 208 (163; 223) |

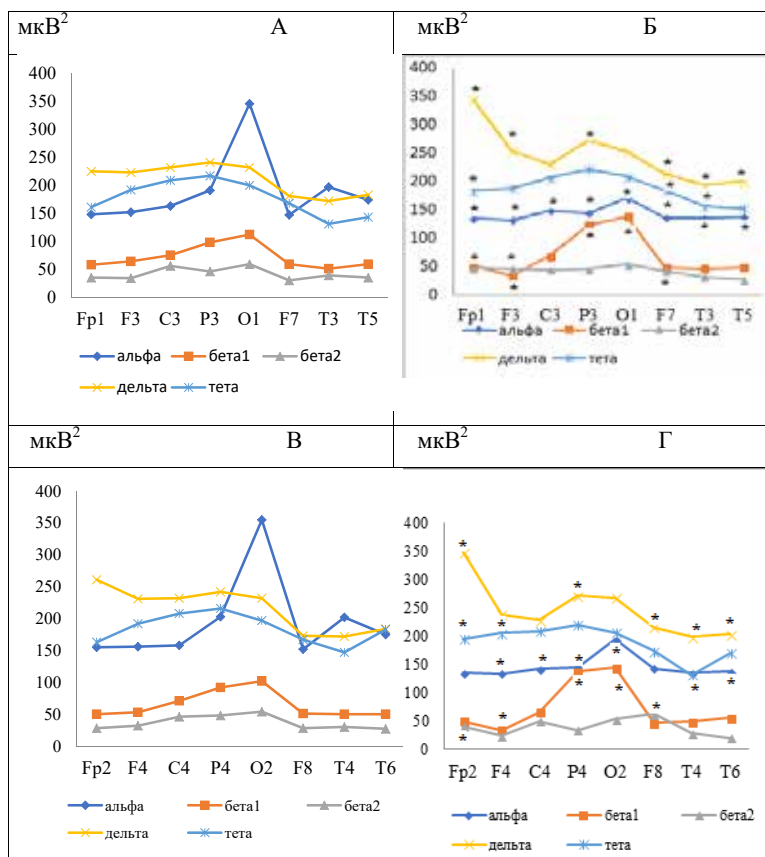


Рис. 1. Спектральна потужність ЕЕГ різних частотних діапазонів у жінок з середньою ефективністю наочно-образного мислення, (n = 55)

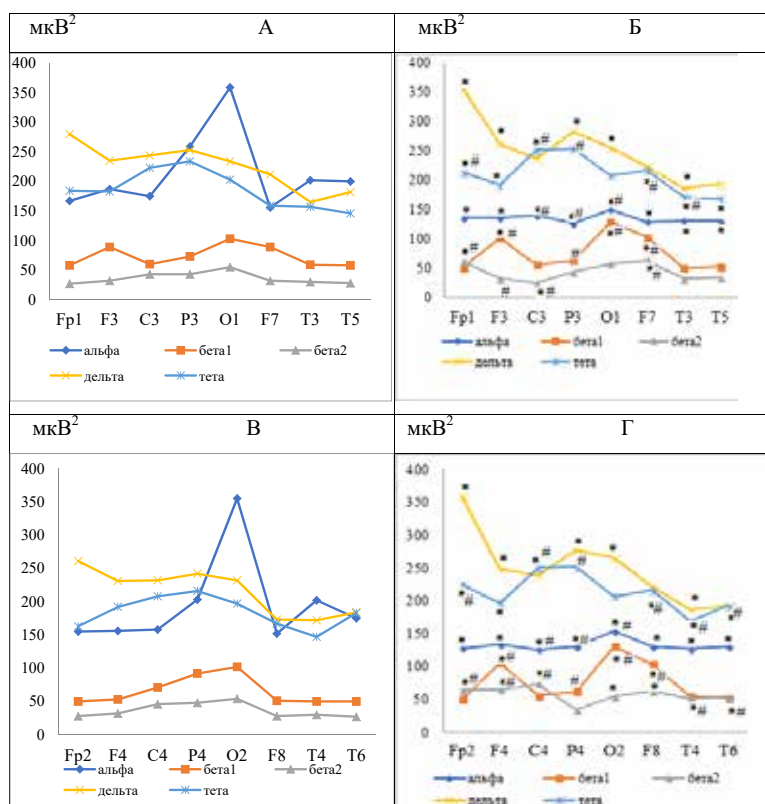


Рис. 2. Спектральна потужність ЕЕГ різних частотних діапазонів у жінок з високою ефективністю наочно-образного мислення, (n = 55)

зоні кори головного мозку Fp1, Fp2, F4, F7, F8 та в точці Т3 (рис. 1, 2). У жінок з високою ефективністю виконання тесту на наочно-образне мислення збільшення спектральної потужності θ -складової ЕЕГ у більшості ділянок є суттєвим (рис. 2).

На основі когерентного аналізу у досліджуваних з середньою ефективністю наочно-образного мислення у α -діапазоні ЕЕГ визначили значимі когерентні зв'язки середнього (Ког = 0,61-0,68, $p < 0,05$) ступеня у передніх та задніх відділах обох півкуль (рис. 3 А_{1,2}), у міжпівкульних передніх локусах (рис. 3 А₃) та діагональні міжпівкульні (рис. 3 А₄). Найбільш вагомим значенням когерентності (Ког = 0,7-0,95, $p < 0,05$) характерні як для міжпівкульних коротких симетричних відведень, так і для міжпівкульних відведень задніх відділів кори (рис. 3 А_{5,6}).

У досліджуваних з високою ефективністю наочно-образного мислення у α -діапазоні встановлені статистично достовірні когерентні зв'язки в передніх та задніх відділах обох півкуль (рис. 3 Б_{1,2}), але в лобній зоні правої півкулі вони мали більш високі когерентні зв'язки (Ког = 0,77 – 0,99, $p < 0,05$). У передніх відділах кори (рис. 3 Б₃) зберігається міжпівкульна синхронність та набуває більшого значення. Високими залишаються короткі міжпівкульні когерентні зв'язки між симетричними відведеннями (рис. 3 Б₅). З'являються внутрішньо-півкульові довгі зв'язки між передніми і задніми відділами лівої півкулі (рис. 3 Б₃) та міжпівкульні довгі синхронізації між симетричними відведеннями (рис. 3 Б₄). Виконання завдання вимагало й здійснення маніпуляцій з сенсорними образами, тому ми відмічали значні функціональні

зв'язки між зонами С3-С4, які є проєкційними зонами області пальців рук.

Позначення: тонка лінія – когерентні зв'язки середнього ступеня (Ког = 0,6-0,69, $p < 0,05$), товста лінія – когерентні зв'язки високого ступеня (Ког = 0,71–0,95, $p < 0,05$)

А – студентки з середньою ефективністю наочно-образного мислення.

Види когерентних зв'язків: 1 – у передніх відділах правої та лівої півкулі, 2 – у задніх відділах правої та лівої півкулі, 3 – міжпівкульні у передніх відділах кори, 4 – міжпівкульні діагональні, 5 – короткі міжпівкульні між симетричними відведеннями, 6 – міжпівкульні у задніх відділах кори.

Б – студентки з високою ефективністю наочно-образного мислення.

Види когерентних зв'язків: 1, 2, 6 – позначення, як і у попередній групі;

3 – внутрішньо-півкульні довгі між передніми й задніми відділами лівої півкулі, 4 – міжпівкульні довгі між симетричними відведеннями, 5 – міжпівкульні у передніх відділах кори.

Виражені короткі міжпівкульні зв'язки свідчать про можливість розв'язання завдання за допомогою образного сприйняття та швидкого аналізу, що може сприяти швидкості, легкості та більш ефективному виконанню наочно-образного завдання (рис. 3 А₅, Б₅).

У β 1-піддіапазоні ЕЕГ при виконанні завдань на наочно-образне мислення у студенток з середньою ефективністю виконання тестів відмічали міжпівкульну діагональну синхронізацію біопотенціалів середнього

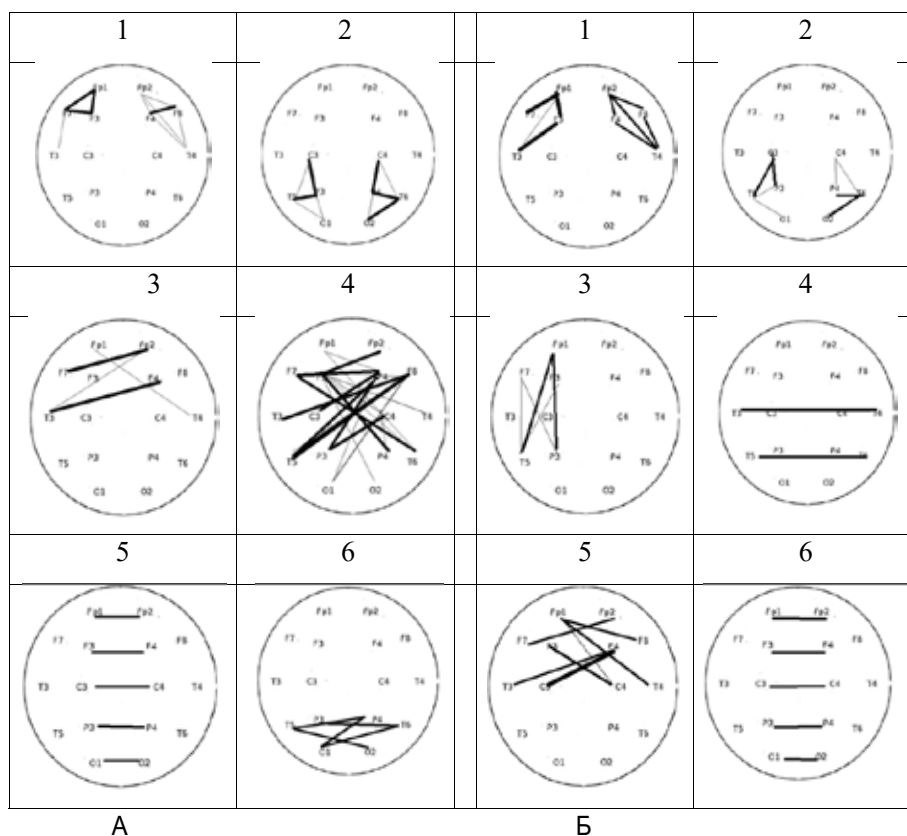


Рис. 3. Функціональні зв'язки кори мозку у α -діапазоні при виконанні тестового завдання, (n = 55)

та високого ступеня ($\text{Kog} = 0,63-0,8$, $p < 0,05$) між передніми відділами правої та задніми відділами лівої (рис. 4 А₁) півкулі, а також збільшення когерентності у міжпівкульних відведеннях між симетричними локусами (рис. 4 А₂).

Позначення: (А, В) – студентки з середньою ефективністю наочно-образного мислення. Тонка лінія – когерентні зв'язки середнього ступеня ($\text{Kog}=0,6-0,69$, $p<0,05$), товста лінія – когерентні зв'язки високого ступеня ($\text{Kog}=0,7-0,89$, $p<0,05$). (Б, Г) – студентки з високою ефективністю наочно-образного мислення при виконанні тестового завдання. Види когерентних зв'язків в β_1 -смузі: 1 – міжпівкульні діагональні між передніми відділами правої півкулі та задніми відділами лівої, 2 – короткі та довгі міжпівкульні між симетричними відведеннями, 3 – у передніх відділах правої півкулі, 4 – короткі міжпівкульні між симетричними відведеннями; в β_2 -смузі: 1 – у передніх відділах лівої півкулі, 2 – міжпівкульні короткі міжсиметричні, 3 – внутрішньо-півкульні короткі у задніх відділах лівої півкулі, 4 – міжпівкульні короткі міжсиметричні.

У студенток з високою ефективністю у вищезазначених зонах значно зменшувалась кількість когерентних зв'язків та знижувалась їх сила, що може свідчити про зниження концентрації уваги та вказувати на специфіку мозкової активності досліджуваних (рис. 4 Б₃). Наявність коротких міжпівкульних зв'язків між симетричними відведеннями у осіб обох груп (рис. 4 А₂, Б₄) може вказувати на нескладність завдань для опитуваних і використання швидкого та звичайного аналізу при виконанні завдання.

У β_2 -піддіапазоні при виконанні тестів на наочно-образне мислення реєстрували значимі ($p<0,05$) когерентні зв'язки середнього ступеня у лівій лобній зоні (рис. 4 В₁) та встановили статистично достовірні коефіцієнти когерентності ($\text{Kog}=0,63-0,82$, $p<0,05$) у коротких міжпівкульних міжсиметричних відведеннях у студенток

з середньою ефективністю наочно-образного мислення (рис. 4 В₂).

Виражена інтеграція між лобно-потиличними областями кожної з півкуль (рис. 4 В₃) свідчить про виникнення декількох паралельних процесів та відбивається у функціональній відокремленості діяльності нейронних ансамблів: одночасно відбувається обробка образної інформації, створення асоціацій та контроль за процесом. У осіб з більшою ефективністю виконання тестів на наочно-образне мислення відмічали синхронізацію ЕЕГ хвиль в β_2 -смузі у лівій потиличній ділянці (рис. 4 Г₄) та, як і у попередньому випадку – функціональний зв'язок ($\text{Kog}=0,6-0,82$, $p<0,05$) у коротких міжпівкульних відведеннях.

Кількісне вираження рівня інтегративної діяльності у досліджуваних з середньою ефективністю виконання завдання на образне мислення у δ -діапазоні ЕЕГ різних відділів кори головного мозку обмежене із середнім ступенем вираженості ($\text{Kog}=0,6-0,73$, $p<0,05$), а синхронізація стосується задніх відділів правої півкулі ($\text{Kog}=0,5-0,77$, $p<0,05$) та міжпівкульні довгі симетричні відведення ($\text{Kog}=0,3-0,71$, $p<0,05$).

З підвищенням ефективності образного мислення збільшується функціональний зв'язок в δ -смузі у задніх відділах правої півкулі (C_4-T_6 ; P_4-O_1 ; P_4-O_2) та значимі міжпівкульні когерентності у задніх відділах кори ($\text{Kog}=0,34-0,71$, $p<0,05$). Зникають міжпівкульні довгі міжсиметричні зв'язки, натомість з'являються короткі міжпівкульні міжсиметричні синхронізації (P_3-P_4 ; O_1-O_2).

При виконанні наочно-образних завдань у студенток з середньою ефективністю статистично достовірно ($p<0,05$) збільшуються довгі внутрішньо-півкульні когерентності у θ -діапазоні між передніми та задніми відділами лівої півкулі (Fp_1-P_3 ; Fp_1-O_1), збільшується ($p<0,05$) міжпівкульна діагональна синхронізація між передніми

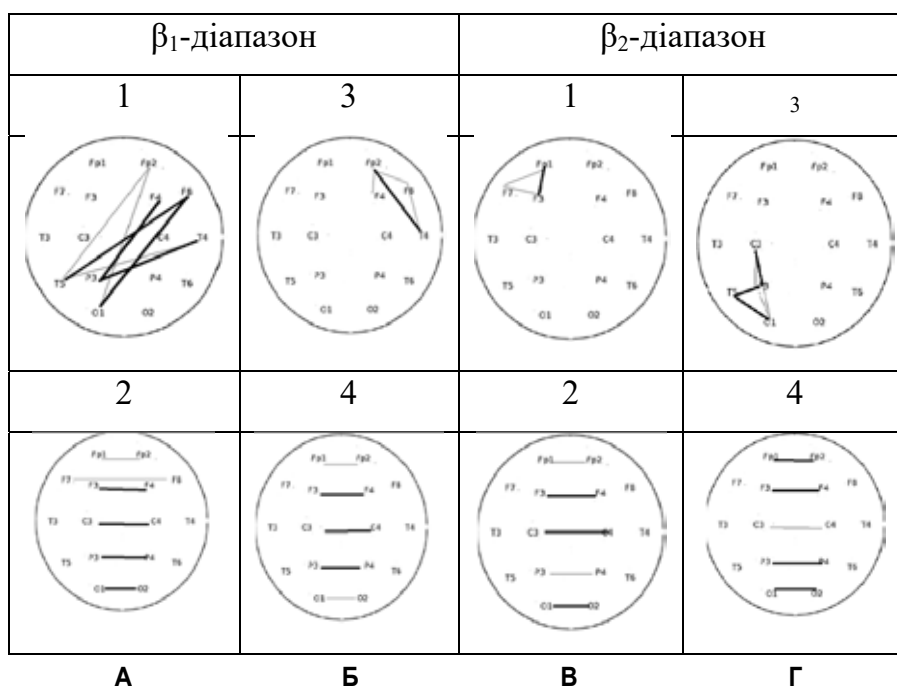


Рис. 4. Функціональні зв'язки кори мозку у β -діапазоні при виконанні тестового завдання, ($n = 55$)

відділами правої півкулі та задніми відділами лівої ($F_{p_2}-O_1$; $F_{p_2}-T_5$; F_8-T_3 ; T_4-T_5) та, як і в інших частотних діапазонах ЕЕГ, є значними ($p < 0,05$) міжпівкульні короткі та довгі когеренції між симетричними відведеннями. З підвищенням ефективності виконання завдань на наочно-образне мислення збільшується синхронізація мозкової активності у θ -смузі: стають потужнішим (Ког = 0,67-0,82, $p < 0,05$) міжпівкульні діагональні зв'язки між передніми відділами правої півкулі та задніми відділами лівої ($F_{p_2}-T_5$; $F_{p_2}-P_3$; $F_{p_2}-O_1$; F_8-O_1), з'являються високо когерентні взаємини між потиличними та тім'яними зонами (C_3-T_5 ; C_3-P_3 ; P_3-O_1 ; T_5-O_1) з перевагою у лівій півкулі, а також з'являються функціональні короткі міжпівкульні зв'язки між симетричними відведеннями ($F_{p_1}-F_{p_2}$; F_3-F_4 ; C_3-C_4 ; T_3-T_4 ; P_3-P_4 ; O_1-O_2).

Обговорення. Вважається, що високий α -індекс на електроенцефалограмі може бути показником відсутності емоційної напруги і є тестом для визначення емоційної стабільності (Егорова, 1973). За значеннями домінуючого α -ритму, ми можемо припустити різний функціональний стан кори головного мозку досліджуваних до початку тестування: відсутність напруги у студенток з високою ефективністю образного мислення і деяке посилення мозкової активності у студенток із середньою ефективністю цього виду когнітивної діяльності. Виявлено, що існує тісний зв'язок між α -активністю в стані спокою та β шумом та змінами обох процесів, які визначаються змінами демпфування базових α -коливальних процесів. Затухання α -коливань є результатом того, що найбільш слабо демпфована мода розподілу стає більш сильно демпфованою це може спостерігатись в характеристиці просторово-часових особливостей ЕЕГ у стані спокою (David & Suresh, 2020; Evertz et al., 2022). Також виявлено зниження α -ритму при збільшенні зовнішніх стимулів на гальмівну популяцію кори головного мозку (Hartoyo et al., 2020).

Klimesch W. (Klimesch, 1999) вважає, що збільшення потужності в нижньому β -діапазоні у потиличних та тім'яних ділянках кори пов'язано зі збільшенням зусиль які необхідно докласти випробуванним для підтримання концентрації уваги під час виконання завдання, а збільшення спектральної потужності у потиличних та лобових областях є свідченням середнього, але не надмірного навантаження при меншій концентрації уваги.

Збільшення потужності β 2-частот на ЕЕГ у лобових ділянках кори пов'язують з участю останніх у регуляції активного функціонального рівня та уваги (Dan'ko, 2005), аналізом зорової інформації і з участю у процесах «невербальної категоризації» та з реакцією на нові стимули (Gusel'nikov, 1976; Donoghue et al., 2020).

Є думка (Fernandez et al., 1993), що збільшення δ -активності може бути пов'язано, як зі збільшенням внутрішньої концентрації суб'єктів під час виконання завдань, так і з складними задачами та емоційним реакціями (Mitchell et al., 2008; Polunina & Lefterova, 2012).

На думку декількох авторів, потужність θ -складової ЕЕГ збільшується з ускладненням завдання (Petsche et al., 1992; Klimesch et al., 1994). У деяких дослідженнях (Klimesch et al., 1994) було відзначено збільшення

θ -потужності під час епізодичного завдання розпізнавання. Також є відомості, що θ -потужність у стані спокою пов'язана з когнітивною активністю (Finnigan & Robertson, 2011).

Таким чином за останні роки є докази, що синхронізація повільно хвильової активності в передньо-центрально-задній відведеннях у процесі запам'ятовування нової інформації та виконання когнітивних завдань (Mitchell et al., 2008) є нормальним нейрофізіологічним проявом розумової активності здорових людей. Така активність є закономірною та відбиває осциляторні взаємодії між структурами гіпокампу та лобної кори (Polunina & Lefterova, 2012).

Активізація зв'язків у лівій скроневій області (рис. 3 Б₃) може вказувати на активацію ментальних процесів пошуку правильної відповіді при виконанні завдання (Harmony et al., 1999). Формування коротких міжпівкульних зв'язків свідчить про функціональні зв'язки при розв'язанні завдання за допомогою образного сприйняття та швидкого аналізу, що може сприяти швидкості, легкості та більш ефективному виконанню наочно-образного завдання (рис. 3 А₅, Б₆), подібні процеси спостерігались у результаті професійної підготовки (Tarasova, 2007).

Спостерігаємо зникнення міжпівкульних лобно-потилічних-скроневих довгої синхронізації та утворення функціональних взаємодій у правій півкулі ймовірно є ознакою нелінійності та функціональної незалежності передньо-задніх коркових зон у процесі образного мислення (Tarasova, 2007) та роботи з образною інформацією, що можна розглядати як електрофізіологічний корелят симультанного способу мисленого процесу. Прояв певного домінування при якому спостерігається домінування однієї зони півкулі над іншою, що може мати більший вплив на певні функції (Al-Hadithi et al., 2016).

Невелика кількість значимих функціональних зв'язків між різними відділами кори головного мозку у β 2-діапазоні може бути пов'язана з розосередженою увагою і зменшенням рівня свідомого контролю та абстрактним творчим підходом при виконанні завдання (Dika & Denisova, 2011). Активність у β -частотному діапазоні лобної зони лівої півкулі характерна синхронізація, яка залежить від рівня інтелекту та корелює зі складністю організації мозку (Thürer et al., 2016).

Біопотенціали в θ -діапазоні в лівій тім'яно-скроневій частині кори (C_3-T_3 ; F_7-T_3) можна пов'язати із залученням «внутрішньої» мови під час виконання завдань (Harmony et al., 1999).

Отже, ефективному виконанню завдання відповідають більші значення потужності β 2-активності та менша спектральна потужність α -складових ЕЕГ у центральних, тім'яних та потиличних зонах кори головного мозку, що пов'язано як з розосередженою увагою та зменшенням рівня свідомого контролю, так і з інтегральними ефектами різних способів обробки інформації. Тоді як у групі осіб з середньою ефективністю виконання завдання ці зміни протилежні і механізми виконання завдання основані на таламо-корти-

кальних зв'язках з залученням систем задньої частини мозку та опорою на зорово-просторову епізодичну пам'ять. Також є дані про збільшення потужності β 2-активності, що пов'язано з перебігом розвитку розсіяного склерозу та больових синдромів (Churyna et al., 2016).

Сформовані при наочно-образному мисленні патерни когерентності в правій півкулі мозку β 1-піддіпазоні можна розглядати як показник симультанного способу когнітивного процесу. Прояв активності β -діпазоні деякі автори пов'язують із зовнішньою сенсорною чи моторною діяльністю при цьому наголошують про зниження коливань загальної активації та обмеженість кількості сенсорної інформації (Lazarev, 2006).

У θ -діпазоні висока ефективність виконання когнітивного завдання пов'язана з активацією спектральної потужності θ -складової ЕЕГ скронево-центрально-потилічної ділянки лівої півкулі, що вказує на зорово-просторову, а не вербальну (як у осіб з середньою ефективністю) стратегію виконання завдання. Також відмітимо складну мозаїку міжкульової взаємодії коркових ділянок правої півкулі з задніми ділянками лівої у θ -смузі з багаточисельними довгими міжпівкульними взаємодіями, що характерно при виконанні креативних завдань (Cherninsky et al., 2010).

З підвищенням ефективності образного мислення встановлюється значний функціональний зв'язок в δ -смузі у задніх відділах кори та короткі міжпівкульні міжсиметричні синхронізації, що можна пояснити гальмівними процесами активної уваги на сторонні стимули, завдяки чому можлива інтеграція окремих елементів при уявному створенні образів. Для виконання наочно-образних завдань необхідний план дій, який включає тимчасову організацію активації залучених кіркових мереж та гальмування рухових програм.

Висновки. Виражені короткі міжпівкульні функціональні зв'язки між симетричними відведеннями у всіх діапазонах ЕЕГ вказують на передачу інформації через мозолисте тіло, що створює умови для виконання когнітивних завдань за допомогою швидкого аналізу. Ефективному наочно-образному мисленню відповідають патерни когерентності правої півкулі у β 1-піддіпазоні ЕЕГ, що є можливим для включення «диференційної уваги» під час селекції інформації. Таким чином ймовірність досягнення високого результату в досліджуваних учасниках найбільш пов'язана з зорово-просторовою стратегією виконання завдання, симультанним способом когнітивного процесу, гальмування рухових програм та зменшенням концентрації на самому завданні.

Бібліографічні посилання:

1. Al-Hadithi, N., Al-Imam, A., Irfan, M., Khalaf, M., & Al-Khafaji, S. (2016) The relation between cerebral dominance and visual analytic skills in Iraqi medical students, a cross sectional analysis. *Asian Journal of Medical Sciences*, 7(6), 47–52. doi: 10.3126/ajms.v7i6.15205
2. Aziz-Zadeh, L., Liew, S., & Dandekar, F. (2013) Exploring the neural correlates of visual creativity. *Soc Cogn Affect Neurosci*, 8(4), 475–480. doi: 10.1093/scan/nss021.
3. Bechtereva, N. P., & Nagornova, Zh.V. (2007) Changes in EEG coherence during tests for nonverbal (Figurative) creativity, *Human Physiology*. 33(5): 515-23. DOI: 10.1134/S0362119707050015
4. Cherninsky, A., Kryzhanovskiy, S., Tukajev, S., Piskorska, N., Zyma, I., & Makarchuk, M. (2010) Relations between human resting and reactive EEG during activity with different information richness. *Physies of the Alive*, 18(2), 85–91.
5. Chupryna G., Svyrydova N., & Kozlov V. (2016) Features of electrical brain activity in patients with multiple sclerosis, taking into account the comorbidity. *East European journal of Neurology*, 06(12), 20–26.
6. Danko, S. G. (2005) Elektroentsefalograficheskie korrelyatsii sostoyaniy mozga pri verbalnom obuchenii [Electroencephalographic correlations of brain states in verbal learning]. *Rossiya Moskva: Fiziologiya cheloveka*, 31(5), 15–20 (in Russian).
7. David, T.J. Liley, & Suresh D. Muthukumaraswamy (2020) Evidence that alpha blocking is due to increases in system-level oscillatory damping not neuronal population desynchronisation, *NeuroImage*, 208, 116408, doi: 10.1016/j.neuroimage.2019.116408.
8. Dikaya, L. A., & Denisova, I. A. (2011) Sravnitelnyiy analiz funktsionalnoy organizatsii koryi mozga u muzykantov i hudozhnikov pri vyipolnenii professionalno-spetsifichnoy tvorcheskoy deyatel'nosti [Comparative analysis of the functional organization of the cerebral cortex in musicians and artists in the performance of professionally specific creative activities] *Rostov-na-Donu: Severo-Kavkazskiy psihologicheskii vestnik*, 9(1), 14–17 (in Russian).
9. Donoghue, T., Haller, M., Peterson, E., Varma, P., Sebastian, P., Gao, R., Noto, T., Lara, A., Wallis, J., Knight, R., Shestyuk, A., & Voytek, B. (2020) Parameterizing neural power spectra into periodic and aperiodic components. *Nature neuroscience*, 23(12), 1655–1665. doi: 10.1038/s41593-020-00744-x
10. Egorova, I. S. (1973) Elektroentsefalografiya [Electroencephalography] *Rossiya Moskva: Meditsina*, 296 (in Russian).
11. Evertz, R., Hicks, D.G., & Liley, D.T.J. (2022) Alpha blocking and $1/f\beta$ spectral scaling in resting EEG can be accounted for by a sum of damped alpha band oscillatory processes. *PLoS Comput. Biol.*, 18(4), e1010012. doi: 10.1371/journal.pcbi.1010012
12. Fernandez, T., Harmony, T., Rodriguez, M., Reyes, A., Marosi, E., & Bernal, J. (1993) Test-retest reliability of EEG spectra parameters during cognitive tasks. I. Absolute and relative power, *Int. J. Neurosci*, 68, 255–261.
13. Fillips, Ch. (2012) Kreativ i obraznoe myshlenie: 50 50 zadach dlya trenirovok [Creative and imaginative thinking: 50+50 tasks for training] *Rossiya Moskva: Jeksmo*. 192 (in Russian).
14. Finke, R. A. (1985) Theories relating mental imagery to perception, *Psychological Bulletin*. 98(2):236–259. doi: 10.1037//0033-2909.98.2.236.

15. Finnigan S., & Robertson I. H. (2011) Resting EEG theta power correlates with cognitive performance in healthy older adults. *Psychophysiology*, 48(8), 1083–1087. doi: 10.1111/j.1469-8986.2010.01173.x
16. Guselnikov V. I. (1976) *Elektrofiziologiya golovnogo mozga: kurs lektsiy*. [Electrophysiology of the brain: course of lectures] Rossiya Moskva: Vysshaya shkola, 423 (in Russian).
17. Harmony, T, Fernández, T, Silva, J, Bosch, J, Valdés, P, Fernández-Bouzas, A, Galán, L., Aubert, E., & Rodríguez, D. (1999) Do specific EEG frequencies indicate different processes during mental calculation? *Neurosci Lett*. 266(1), 25–8. doi: 10.1016/s0304-3940(99)00244-x
18. Hartoyo, A, Cadusch, P. J., Liley, D. T., & Hicks, D. G.. (2020) Inferring a simple mechanism for alpha-blocking by fitting a neural population model to EEG spectra. *PLoS computational biology*. 16(4):e1007662. pmid:32352973
19. Karatyigin, N. A. (2015) *Elektrofiziologicheskie korrelyaty razlichnoy rezul'tativnosti intellektualnoy deyatel'nosti: dissertatsiya*. [Electrophysiological correlates of different efficiency of intellectual activity] Rossiya Moskva: NII normalnoy fiziologii RAMN, Rossiya, (in Russian).
20. Karpova, V. V., & Dikaya, L. A. (2014) Osobennosti funktsionalnykh svyazey koryi mozga u ispytuemykh s raznyim urovnem produktivnosti obraznoy tvorcheskoy deyatel'nosti [Features of the functional connections of the cerebral cortex in subjects with different levels of productivity of figurative creative activity] *Rostov-na-Donu: Severo-Kavkazskiy psikhologicheskii vestnik*, 12(2), 42–46 (in Russian).
21. Klimesch, W, Schimke, H, & Schwaiger, J. (1994) Episodic and semantic memory: an analysis in the EEG theta and alpha band. *Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol*. 91, 428–441.
22. Klimesch, W. (1999) EEG alpha and theta oscillations reflect cognitive and memory performance: a review and analysis. *Brain Res. Brain Res. Rev.*, 29, 169–195.
23. Lazarev, V. V. (2006) The relationship of theory and methodology in EEG studies of mental activity. *Int. J. Psychophysiol*, 62, 384–393.
24. Maksymovych, K. Yu. (2011) *Neirofiziologichni mekhanizmy spryiniattia informatsii v rizni fazy menstrual'nogo tsyklu u zhinok: dysertatsiia*. [Neurophysiological mechanisms of information perception in different phases of the menstrual cycle in women] Kyiv: Taras Shevchenko National University of Kyiv (in Ukrainian).
25. Mitchell, D. J, McNaughton, N, Flanagan, D, & Kirk, I. J. (2008) Frontal - midline theta from the perspective of hippocampal «theta». *Progress in Neurobiology*, 86, 156–185.
26. Petsche, H, Lacroix, D, Lindner, K, Rappelsberger, P, & Schmidt-Henrich, E. (1992) Thinking with images or thinking with language: a pilot EEG probability mapping study. *Int. J. Psychophysiol*, 12, 31–39.
27. Polunina, A. G., & Lefterova, N. P. (2012) *Topografiya spektralnykh kharakteristik bioelektricheskoy aktivnosti golovnogo mozga v sostoyanii pokoya* [Topography of the spectral characteristics of the bioelectrical activity of the brain at rest] Rossiya Moskva: *Vestnik nevrologii, psikiatrii i neyrokhirurgii*, 4, 48–54 (in Russian).
28. Rominger, C, Papousek, I, Perchtold, C. M, Weber, B, Weiss, E. M, & Fink, A. (2018) The creative brain in the figural domain: Distinct patterns of EEG alpha power during idea generation and idea elaboration. *Neuropsychologia*. pii:S0028-3932(18)30070-8. doi: 10.1016/j.neuropsychologia.2018.02.013.
29. Tarasova, I. V. (2007) *Elektrofiziologicheskiy analiz polovnykh osobennostey polusharnoy organizatsii obraznogo i verbal'nogo tvorcheskogo myshleniya: dissertatsiya*. [Electrophysiological analysis of gender characteristics of the hemispheric organization of figurative and verbal creative thinking] Rossiya Novosibirsk: Federalnoe gosudarstvennoe byudzhethoe nauchnoe uchrezhdenie «Nauchno-issledovatel'skiy institut fiziologii i fundamentalnoy meditsiny» RAMN (in Russian).
30. Thüerer, B., Stockinger, C., Focke, A., Putze, F., Schultz, T., & Stein, T. (2016) Increased gamma band power during movement planning coincides with motor memory retrieval. *NeuroImage*, 125, 172–181.

Tretyak T.O., PhD student, Oles Honchar Dnipro National University, Dnipro, Ukraine

Drehval I.V., PhD (Biological Sciences), Associate professor, Oles Honchar Dnipro National University, Dnipro, Ukraine

Severinovskaya E.V., Doctor (Biological Sciences), Professor, Oles Honchar Dnipro National University, Dnipro, Ukraine

Characteristics of the eeg of female biology students with different efficiency of visual and imaginary thinking

Achieving a high result in mental activity provides a visual-figurative type of thinking as a component of the individual characteristics of a person's intellectual activity. Female biology students with different indicators took part in the study of mental activity on the visual-figurative type of thinking. Using the DX-NT32.V19 hardware and software complex, registration and primary analysis of brain EEG activity was carried out. As a result of the research, it was established that during the successful completion of visual thinking tasks, the total number of functional connections decreases due to a decrease in interhemispheric relationships, but intrahemispheric coherence increases.

Functional connections in all EEG bands indicate the transmission of information through the corpus callosum, which creates conditions for performing cognitive tasks with the help of rapid analysis. There is a «territorial narrowing» and strengthening of interactions in the frontal, temporal and parietal regions. This gives reason to assume that the effectiveness of visual thinking depends on a high level of knowledge and skills stored in specific areas of the cortex (temporal and parietal) and the coherence of the work of the frontal areas, which can establish connections with «polymodal» and «supermodal» elements of the temporal and parietal zones.

Thus, according to the results of our research, effective visual thinking corresponds to higher values of spectral power in the β_2 -subband and lower power in the α -band of the EEG, coherence patterns of the right hemisphere in the β_1 -subband of the EEG and an increase in spatial complexity, and the strength of coherent connections in θ -stripes with numerous long

interhemispheric interactions, which is characteristic when performing creative tasks. In cases of increasing the efficiency of figurative thinking, a significant functional connection is established in the δ -band in the posterior parts of the cortex and short interhemispheric intersymmetric synchronizations, which is explained by the inhibitory processes of active attention to extraneous stimuli, thanks to which the integration of individual elements during the imaginary creation of images is possible. Also, the probability of achieving a high result is related to the visual-spatial strategy of performing the task, the simultaneous way of the cognitive process, the inhibition of motor programs and the reduction of concentration on the task itself.

Key words: *visual thinking; bioelectric activity of the brain; mental activity; cognitive activity; functional connections.*

СТРЕСОСТІЙКІСТЬ КІНОА ТА РОЛЬ ЕНДОФІТНИХ СИМБІОНТІВ У ЇЇ ФОРМУВАННІ

Троценко Надія Володимирівна

аспірантка

Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна

ORCID: 0000-0002-6671-2014

ntrotsenko15@ukr.net

Мельник Андрій Васильович

доктор сільськогосподарських наук, професор

Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна

ORCID: 0000-0001-7318-6262

melnik.ua@yahoo.com

В аграрному виробництві абіотичні стреси є основною причиною втрати врожаю (до 50%) у всьому світі. Культура кіноа (*Chenopodium quinoa* Willd. (Amaranthaceae)) унікальна не тільки своєю харчовою цінністю, але й високою толерантністю до дії багатьох стресогенних факторів завдяки широкій генотиповій мінливості. Доведено, що реакцію рослин на всі види несприятливих змін докільця здатні змінювати ендосимбіонти – мікроскопічні гриби та бактерії. У рослин можуть формуватися асоціативні відносини з мікоризними грибами, ризосферними, епіфітними та ендоефітними бактеріями за типом мутуалізму чи синергізму. Колонізація мікробними симбіонтами потенційно послаблює несприятливі ефекти абіотичних стресів у рослин кіноа. Існують різноманітні гіпотези для опису взаємодії рослина–ендофіт у сенсі підвищення стійкості до абіотичного стресу. Показано, що адаптовані до стресу ендоефітні гриби, як симбіонти рослин, здатні пом'якшувати негативні наслідки засолення або посухи шляхом зміни низки фізіологічних і біохімічних реакцій рослин. Кіноа вважається посухостійкою культурою, здатною рости та давати насіння у напіваридних та аридних регіонах. Еволюційно рослини сформували різні механізми та реакції для перенесення нестачі води: морфологічні, фізіологічні та молекулярні. Але крім морфологічних адаптацій, що забезпечують толерантність рослин, на особливу увагу заслуговують асоціативні зв'язки з ендоефітними грибами. Саме група грибів-мікоризутворювачів як мутуалістичних партнерів рослин здатна послаблювати стресогенний вплив посухи та засолення. Кіноа пристосована до широкого діапазону маргінальних сільськогосподарських ґрунтів, схильних до впливу саме наявністю таких негативних абіотичних факторів. Доведена роль мікоризних ендоефітів у послабленні дії цих стресогенних впливів на рослини. Крім грибів виявлена також позитивна роль галотолерантних ризобактерій, асоційованих із кореневою системою кіноа, у послабленні стресу через засолення.

Мікроорганізми, пов'язані з рослинами, можна використовувати для підвищення продуктивності рослин та їх врожайності у стресогенних умовах. Розмаїття видів і штамів бактерій, пов'язаних із кіноа, є привабливою перспективою для розробки біотехнологічних препаратів для посилення стійкості рослин до стресів та підвищення продуктивності культури. Особливості едафічних мікроорганізмів, здатних підтримувати симбіотичні стосунки з різними екотипами кіноа, незважаючи на важливість цих асоціацій та їхню актуальність, залишаються дотепер ще мало вивченими.

Ключові слова: кіноа, абіотичний стрес, стресогенні фактори, ендосимбіонти, мікоризні гриби, бактерії, мутуалізм, синергізм, стрес-адаптована та посухостійка культура, продуктивність посівів.

DOI <https://doi.org/10.32845/agrobio.2022.3.9>

Вступ. Псевдозлак *Chenopodium quinoa* Willd. – місцева культура Південної Америки, відома з 3000 р. до н.е. Добре адаптована до суворих кліматичних умов пустелі та високогір'я, кіноа є важливим джерелом їжі у регіоні.

Останнім часом рослина привернула увагу завдяки своїй високій поживній цінності та унікальному біохімічному складу і вважається важливою потенційною культурою для підтримання продовольчої безпеки у світі (Тарія, 2015).

C. quinoa (Amaranthaceae) – однорічна однодомна рослина з прямостоячим стеблом та почерговим розташуванням листків із можливим різнокольоровим забарвленням через уміст бетаціанінів. Суцвіття – волоть довжиною 15–70 см, розташоване термінально, або від пазух нижніх листків.

Традиційна класифікація кіноа базується на основі географічної адаптації. Виділяють наступні екотипи культури:

(1) valley – вирощується на висоті від 2000 до 3500 м над рівнем моря у Колумбії, Еквадорі, Перу, Болівії;

(2) altiplano – вирощується на великих висотах понад 3500 м. над рівнем моря навколо озера Тітікака на кордоні Болівії та Перу;

(3) salares – вирощується на солончаках Болівії та Чилі, має високу толерантність до засолення;

(4) sea-level – вирощується у низинних районах південної та центральної частини Чилі;

(5) subtropical or yungas – вирощується у вологих долинах Болівії та включає генотипи пізнього цвітіння (Тарія, 2015; Bhargava & Ohri, 2016).

Генотипи кіноа вкрай різноманітні. Природна мінливість ознак, таких як тип суцвіття, колір та розмір насіння,

тривалість життєвого циклу, толерантність до засолення, вміст сапоніну та харчова цінність, сприяє адаптації кіноа до різноманітних середовищ (Bertero et al., 2004; Bhargava et al., 2007; Bhargava & Ohri, 2016; Fuentes & Bhargava, 2011; Gómez-Pando & Álvarez-Castro, 2010; Rodriguez & Isla, 2009).

Для збереження генетичної мінливості кіноа з 1960-х рр. започаткували створення генетичних банків. Нині 16 422 зразків цієї культури зберігаються у 59 генних банках у 30 країнах (Bazile et al., 2016).

В аграрному виробництві абіотичні стреси є основною причиною втрати врожаю (до 50 %) у всьому світі. Grime J. P. описав стреси як явища, які обмежують фотосинтетичну активність, наприклад дефіцит світла, води або мінеральних речовин у ґрунті (Grime, 2001).

Основні абіотичні стреси, що впливають на сучасні агроценози – посуха, заболочування, засоленість ґрунту, забруднення важкими металами, надлишок тепла, низькі температури і ультрафіолетове випромінювання (УФВ) – вивчають на генотипах кіноа, більшість із яких зосереджена у Болівії та Перу.

Три основні категорії екологічних стресорів, які впливають на фізіологічні процеси та ріст рослин: (1) фізичні або абіотичні фактори, такі як посуха, температура та світло; (2) хімічні – забруднювачі повітря, важкі метали та токсини; (3) біотичні – конкуренція, фітофаги та хвороби (Nilsen & Orcutt, 1996).

Подібно до біотичних факторів, абіотичні стреси у популяціях рослин, можуть діяти як потужні, еволюційно важливі агенти природного добору. Через тривалість еволюції рослин основні типи стресогенних середовищ не є незвичними для більшості видів. Вважається, що у дикорослих рослин як компонентів природних екосистем механізми толерантності до стресів сформувалися еволюційно (Orcutt & Nilsen, 2000). Загальна концепція полягає у тому, що рослини краще витримують стреси, коли стикаються з дією подібних факторів на більш пізньому етапі розвитку (Krings et al., 2007).

Останнім часом з'явилися повідомлення, що реакцію рослин на всі види стресів здатні змінювати мікроскопічні ендосимбіонти (гриби та бактерії).

1. Значення грибів-ендосимбіонтів у формуванні толерантності рослин до стресів. В організмі рослин живуть мікроорганізми (гриби, бактерії, актиноміцети тощо), які називаються ендоситами. Грибні ендосити колонізують різноманітні рослинні тканини (Rodriguez et al., 2009). Вони можуть бути локалізовані всередині клітин або у міжклітинниках провідної системи.

Ендосити більш тісно пов'язані з рослиною і їх корисний вплив значно більший, ніж представників ризосферної мікрофлори. Ендоситні мікроорганізми виявляють нижчу конкуренцію за поживні речовини, ніж мікроорганізми, що живуть у ризосфері, і тому забезпечують низку переваг для рослини-господаря (Muñoz-Rojas & Caballero-Mellado 2003).

У рослин можуть формуватися асоціативні відносини з різними ендосимбіотичними мікроорганізмами, включаючи мікоризні гриби, ризосферні, епіфітні та ендоситні бактерії (Dighton et al., 2005; Giauque et al., 2018).

Ендоситні гриби, пов'язані з кореневою системою, зазвичай зустрічаються у покритонасінних і висока швидкість колонізації цими організмами описана для різних видів рослин та різних середовищ (Ananda & Sridhar, 2002; Newsham et al., 2009; Porras-Alfaro et al., 2009; Khidir et al., 2010; Toju et al., 2013).

Зазвичай асоціації між мікоризним грибом і рослиною набувають мутуалістичного характеру, ґрунтованого на обміні поживними речовинами між цими партнерами, де рослина постачає продукти асиміляції, а гриб сприяє активному поглинанню поживних речовин і води, колонізуючи кортикальні клітини коренів рослин та формуючи арбускули (Vierheilig, 2004; Janouskova et al., 2017).

Існують різноманітні гіпотези для опису взаємодії рослина-ендосит в сенсі підвищення стійкості до абіотичного стресу. Три типи традиційних взаємодій – мутуалізм, коменсалізм та паразитизм – можуть бути послідовними та стабільними формами співжиття у діапазоні дії абіотичного стресу принаймні для деяких типів ендоситних асоціацій. Посилення мутуалістичної взаємодії, з посиленням стресу, узгоджується з припущенням, що ендоситні гриби можуть діяти як захисники-мутуалісти.

За нестачі елементів живлення у ґрунті, зокрема фосфору, мікоризне інфікування та наступні мутуалістичні зв'язки стають особливо корисними для рослини-господаря. Проте, характер взаємодії може змінюватися за більш сприятливих умов, набуваючи характеру коменсалізму або паразитизму, оскільки витрати на утримання ендосимбіонта перевищують переваги від партнерства (Morgan et al., 2005; Krings et al., 2007).

Для деяких видів рослин, інфікованих грибами (переважно мітлиця висока та райграс багаторічний (Augé, 2001) і кількох трав'яно-ендоситних асоціацій (Cheplick & Faeth, 2008; Khidir et al., 2010), доведено, що інфіковані господарі можуть виявляти більшу стійкість до посушливих умов. Крім того, встановлено, що багато видів рослин, інфікованих грибами-ендоситами в умовах дефіциту поживних речовин в ґрунті відзначаються покращеним ростом та розвитком (Cheplick & Faeth, 2008; Urcelay et al., 2011; Trivedi et al., 2020).

Однак, аналіз витрат і переваг рослинно-ендоситного симбіозу уздовж градієнтів абіотичного стресу виявляє достатню варіативність, що ставить під сумнів концепцію саме захисного характеру мутуалізму. Варіабельність характеру симбіотичних відносин між рослиною та грибом-ендоситом на абіотичному градієнті відображає зміни у функції «витрати-переваги» та інтенсивності зараження ендоситом. Більшість грибних ендоситів визначаються як коменсали, або їх функції в рослинах ще не досліджені. (Krings et al., 2007).

Асоціації із симбіотичними ендоситними грибами вважаються ключовим компонентом реакції рослин на абіотичний стрес (Rodriguez et al., 2008). Повідомляють про грибні симбіонти, що покращують стійкість господаря до низки абіотичних стресів, включаючи посуху, спеку та засолення (Baltruschat et al., 2008; Rodriguez et al., 2009; Singh et al., 2011; Bagher et al., 2013; Gupta & Huang, 2014; Gupta et al., 2021; Moghaddam et al., 2021).

Стійкість рослин до стресу, яка забезпечується представниками деяких таксонів грибів, ймовірно передбачає їхню адаптацію до середовища існування, тобто види грибів, виділені з рослин, що зустрічаються у регіонах із високим рівнем екологічного стресу, є особливо ефективними для підвищення стресостійкості хазяїна (Rodríguez et al., 2008; Giaucue., 2018).

Ендоефітні гриби, адаптовані до стресу, здатні пом'якшувати негативні наслідки засолення шляхом покращення низки фізіологічних і біохімічних реакцій рослин, включаючи фотосинтез, швидкість транспірації, активність антиоксидантних ферментів і концентрації молекул осмопротекторів, таких як пролін і розчинні цукри (Rodríguez et al., 2008; Zarea et al., 2012; Azad & Kaminskyj, 2016; Li et al., 2017; Molina-Montenegro et al., 2020; Moghaddam et al, 2021). У цьому сенсі види грибів, адаптовані до стресу, потенційно можуть бути використані як біологічний агент для послаблення дії абіотичного стресу на рослини в агроценозах.

Ефекти впливу ендоефітних грибів можуть бути синергічними або адитивними, коли присутність кількох мутуалістів забезпечує переваги рослині-господарю (Gazis and Chaverri, 2015; González-Teuber, 2016; Bilal et al., 2020). Переваги мікоризи щодо послаблення абіотичного стресу з участю одного виду беззаперечні. Проте синергічні ефекти взаємодії кількох видів грибів практично не вивчалися. Виняток становлять результати нещодавнього дослідження, які свідчать, що співіснування між кількома видами-ендоефітами призводить до посилення толерантності рослин на комбінований абіотичний стрес (Bilal et al., 2020). Було показано, що рослини сої, інокульовані одночасно двома видами грибів-ендосимбіонтів, характеризувалися покращеним ростом, фотосинтезом і антиоксидантними механізмами у відповідь на дію таких стресогенних факторів, як важкі метали, висока температура, посуха, порівняно з рослинами, інокульованими одним видом або неінокульованими (Bilal et al., 2020).

Ці результати підкреслюють важливість взаємодії кількох симбіотичних партнерів для послаблення стресу у рослин. Для сільськогосподарських культур поєднання симбіотичних мікроорганізмів може бути корисним з точки зору розробки та вдосконалення стратегій управління агроценозами.

Незважаючи на те, що дослідження ендоефітних грибних угруповань у рослин останнім часом активізувалися, мало відомо про різноманітність і видовий склад ендоефітних грибів, пов'язаних із сільськогосподарськими культурами (Khan Khan et al., 2016; Zakariaet al., 2016).

Визнано, що близько 80 % видів наземних рослин, включаючи кіноа, утворюють арбускулярну мікоризу (Trouvelot et al., 2015), хоча протягом багатьох років, повідомлялося, що деякі види родини *Chenopodiaceae* (*Amaranthaceae*), не мають здатності до формування едафічного симбіозу з грибами (Rydlová & Vosfítka, 2001; Chaudhry et al., 2005).

Серед великого розмаїття едафічних організмів арбускулярні мікоризні гриби мають найбільшу здатність формувати симбіоз із коренями кіноа. У цьому сенсі

цей тип симбіозу є найбільш корисним типом взаємодії (Begum et al., 2019; Teste et al., 2020).

Відділ *Glomeromycota* є найважливішою групою грибів-мікоризоутворювачів. Арбускулярні мікоризні гриби цього відділу зустрічаються у більшості типів рослинності, де формують мутуалістичний симбіоз із коренями рослин. Незважаючи на поширення, описано відносно небагато представників цієї таксономічної групи.

Досліджено особливості двох видів, які колонізують кореневу систему кіноа. Вивчення видів *Glomus mosseae* та *Glomus tortuosum* на рослинах кіноа показало, що інокуляція *Glomus mosseae* йшла більш інтенсивно і цей вид виявив найвищий рівень колонізації.

Встановлено, що види *Talaromyces minioluteus* (*Penicillium minioluteum*) і *Penicillium murcianum* колонізують тканини коренів кіноа, що ростуть поблизу Салар-де-Атакама (González-Teuber et al., 2017). Виявлено, що *P. minioluteum* покращує толерантність рослини-господаря до водного стресу (González-Teuber et al., 2018). Тобто екофізіологічні реакції кіноа слід аналізувати в зв'язку з середовищем зростання, що важливо для вивчення особливостей цього виду.

Низка вчених підкреслюють існування едафічних мікроорганізмів, здатних підтримувати симбіотичні стосунки з різними сортами кіноа, однак, незважаючи на важливість цих асоціацій, їх актуальність та аналіз дотепер мало вивчені (Ruiz et al., 2014).

2. Посухостійкість кіноа як результат асоціацій з грибами-ендоефітами. Екстремальні кліматичні умови, включаючи спеку, посуху та засолення ґрунту є ключовими обмеженнями для росту та поширення рослин. (Houston & Hartley, 2003).

Кіноа вважається посухостійкою культурою, здатною рости та давати насіння у посушливих регіонах. Культура здатна адаптуватися до напів-посушливих і посушливих середовищ за межами регіону Анд, таких як Азія, Північна Африка, Близький Схід і Середземномор'я.

Рослини сформували різні механізми реакції для перенесення нестачі води. Ці механізми можна розділити на три групи: (1) морфологічні стратегії, такі як уникнення стресу, наприклад, заглиблені корені та фенотипна пластичність, пов'язана з онтогенетичними процесами; (2) фізіологічні стратегії, такі як антиоксидантний захист, стабілізація клітинної мембрани, регуляція росту рослин, продихова провідність і осмотичні пристосування; (3) молекулярні стратегії, такі як активація стресових білків (осмопротектори) і аквапорини (Orcutt & Nilsen, 2000; Jacobsen et al., 2003; Rodríguez & Isla, 2009; González et al., 2009; Hinojosa et al, 2018).

Унікальні асоціації кореневої системи кіноа та грибів можуть сприяти здатності рослини переносити умови посухи. Колонізація ендоефітними грибами покращує продуктивність *S. quinoa* та її здатність протистояти тривалим періодам посухи (González-Teuber et al., 2019; Begum et al., 2019).

Гриб *Penicillium minioluteum*, використовували для вивчення впливу корневих ендоефітних грибів на формування стресостійкості різних сортів кіноа до посухи. Результати продемонстрували збільшення біомаси коре-

невої системи на 40 % при обробці інокулянтом. Разом із тим, не виявлено покращення процесу фотосинтезу, продигової провідності або фотохімічної ефективності за наявності ендоефітних грибів. Таким чином, взаємодія між *P. minioluteum* і кіноа продемонструвала позитивну реакцію на формування біомаси коренів, але лише в умовах посухи (Hussin et al., 2017; González-Teuber et al., 2018).

З використанням ендоефіта *Piriformospora indica* та сорту кіноа valley «Hualhuas» було проведено дослідження у тепличних умовах. Результати показали успішну колонізацію *P. indica* кореневої системи рослин. Така асоціація може пом'якшити деякі наслідки посухи завдяки кращому надходженню води та поживних речовин до рослин, що призведе до збільшення загальної біомаси, провідності продихів, водного потенціалу листя та чистого фотосинтезу (Baltruschat et al., 2008).

Такий симбіоз дозволяє рослинам-господарям покращити свою продуктивність за рахунок підвищення продигової провідності, фотосинтезу, підтримувати тургорний тиск і клітинні функції, необхідні для метаболічних процесів в умовах водного стресу. Позитивний вплив колонізації грибами може посилити активність антиоксидантного ферменту в вегетативних органах кіноа. За умов посухи препарати грибів можуть сприяти синтезу аквапорину, який покращує поглинання води та підтримує водний баланс (Augé et al., 2016).

Мікоризні арбускулярні гриби, які зустрічаються виключно у природному середовищі існування диких родичів культурних рослин, є представниками роду *Glomus*, відомих своєю здатністю до активного поглинання мінералів і води в умовах висихання ґрунту, а також здатністю продукувати біоактивні сполуки. Роди *Acaulospora*, *Claroideoglomus* і *Rhizophagus* родини *Glomeromycota* виробляють багато міцелію, а також відомі високою інтенсивністю колонізації кореневої системи та ефективністю у забезпеченні коренів сполуками фосфору.

При вивчені особливості ендоефітних грибів, пов'язаних з коренями кіноа, а також бактеріальних ендоефітів у насінні цієї культури встановлено, що колонізація мікробними симбіонтами послаблює несприятливі ефекти абіотичних стресів у рослин, а симбіотичні асоціації з мікроорганізмами сприяють перенесенню рослинами стресогенних змін навколишнього середовища (González-Teuber et al., 2018 Hussin et al., 2017; Pitzschke, 2016).

Природними регіонами зростання кіноа є напівпустельні регіони з екстремальними умовами нестачі вологості та температури. Тому ймовірно, що мікроорганізми-симбіонти також пристосовані до цих стресогенних умов. Було виділено та ідентифіковано видове різноманіття бактерій та досліджені їхні екосистемні властивості (фіксація азоту, мобілізація фосфору). Бактерії були представлені видами: *Bacillus amyloliquefaciens*; *B. tequilensis*; *B. vallismortis*; *B. subtilis*; *B. pumilus*; *B. licheniformis* і *B. firmus* (виділені з листків). *B. aryabhattai*; *B. megaterium*; *B. pumilus* і *Paenibacillus odorifer*; *Pseudomonas sp.*; *B. subtilis*; *Azotobacter sp.* (ізольована з коренів);

B. subtilis; *B. pumilus*; *B. amiliquefaciens* (виділені з насіння). *B. cereus* і *B. thuringiensis* також були виділені з ризосфери, всі інші види були ендоефітами. Ці мікроорганізми мають великий потенціал для розробки біотехнології, адаптованої до кіноа.

Кіноа пристосована до широкого діапазону маргінальних сільськогосподарських ґрунтів, у тому числі до тих, що мають високий вміст солей та схильні до посухи. В низці робіт розглядається одночасно солестійкість і посухостійкість кіноа (Hinojosa et al., 2018; Adolf et al., 2013; Jacobsen et al., 2003; Trognitz, 2003; Choukr-Alah et al., 2016; Ruiz et al., 2016). Після публікації еталонного генома кіноа було проведено нові дослідження транскриптомів стійкості до посухи та засолення у культури (Jarvis et al., 2017).

3. Толерантність кіноа до засолення. Засолення ґрунту є основним екологічним фактором, лімітуючим продуктивність сільськогосподарських культур у всьому світі. Біологічний підхід до цієї проблеми зосереджений на технологічних підходах щодо вирощування рослин, здатних вегетувати та створювати врожай на засоленних ґрунтах.

Для сільського господарства майбутнього серед потенційних культур, адаптованих до зміни клімату, кіноа як факультативна галофітна рослина з винятковими харчовими властивостями, посідає чільне місце (Choukr-Alah et al., 2016).

Поступове засолення ґрунту, внаслідок зміни клімату, неминуче вплине на ґрунтовий мікробіом, а також рослинність. На відміну від інших факторів навколишнього середовища, таких як посуха, спека або висока освітленість, які можуть впливати на ріст рослин на різних стадіях розвитку, хімічний склад ґрунту та вологість визначають здатність насіння до проростання.

Адаптаційні стратегії рослин до високої солоності та стресу від важких металів мають багато спільного (Bose et al., 2014). Тому рослини-галофіти пропонують використовувати для фітореMediaції (Lutts & Basciñan-Godoy, 2015).

Кіноа – це солестійка рослина, яка росте навіть при зрошенні 100 % морською водою (Kougo & Eisa, 2008). Рослина може накопичувати іони солей у тканинах і регулювати водний потенціал листків для підтримання клітинного тургора і транспірації (Jacobsen et al., 2003; Gómez-Pando et al., 2010).

Для перенесення умов засолення ґрунту, окрім анатомічної та морфологічної пластичності, рослини розвинули численні фізіологічні механізми, наприклад, осмотичну адаптацію, підвищену антиоксидантну реакцію, іонний гомеостаз для підтримки росту рослин. Для осмотичного регулювання неорганічні іони (K^+ , Na^+ і Cl^-) і сумісні органічні розчини (наприклад, розчинні цукри, пролін, гліцинбетаїн і поліаміни) є ключовими осмолітами, які відіграють життєво важливу роль у зниженні водного потенціалу клітин (Adolf et al., 2013; Jaramillo et al., 2020; Azad & Kaminskyj, 2016).

Однак внесок в осмотичну адаптацію через накопичення органічних розчинених речовин під впливом сольового стресу все ще є дискусійним і залежить від

генотипу, тривалості та інтенсивності стресу, сумісного ефекту інших факторів, а також віку рослини (Zlatev & Lidon, 2012; Ruiz et al., 2016).

Молекулярний аналіз кореневої системи рослин кіноа, що зростають в умовах засолених ґрунтів поблизу Солоного озера пустелі Атакама в Чилі показав, що корені є притулком для різноманітної групи ендоефітних грибів. У грибній асоціації домінували роди *Penicillium*, *Phoma* та *Fusarium* (González-Teuber et al., 2017).

У рослин кіноа переваги від партнерства з грибами в умовах засолення включають індукцію антиоксидантних ферментів і антиоксидантних метаболітів, покращуючи фотосинтез і продуктивність рослин. Встановлено, що антиоксидантні сполуки, що виділяються рослинно-грибним симбіозом у стресових умовах, сприяють протидії окислювальному стресу у *S. quinoa*, викликаючому засоленістю.

Додаткові механізми, потенційно залучені до послаблення впливу солі на продуктивність рослин за допомогою ендосимбіотичних грибів у *S. quinoa*, досі невідомі та потребують подальшого дослідження. Важливою є синергічна дія кількох видів-симбіонтів, які створюють додаткові переваги для рослини-хазяїна.

Нещодавно були вивчені нові підходи, зокрема застосування галотолерантних ризобактерій для покращення фізіологічної реакції кіноа на стрес, викликаний засоленням (Yang et al., 2016; Yang et al., 2018).

Наприклад, ризобактерії, що стимулюють ріст рослин, використовували для послаблення негативних наслідків, спричинених сольовим стресом, завдяки їхній здатності фіксувати азот, виробляти сидерофори та фітогормони, розчиняти мінеральні нерозчинні фосфати (Ashraf & Foolad, 2005). Мікроорганізми не тільки впливають на властивості ґрунту, але й допомагають рослинам протистояти соляно-лужному стресу, регулюючи фізіологічні та біохімічні реакції у рослинах.

Янг А. разом із співавторами досліджували зв'язок між галотолерантними бактеріями, що стимулюють ріст рослин (*Enterobacter sp.* і *Bacillus sp.*) і кіноа в умовах засолення (Yang et al., 2016). Результати показали, що обидва штами пом'якшували негативний вплив солоності, зменшуючи поглинання Na^+ і покращуючи водний баланс.

Незважаючи на сприятливий вплив на розвиток рослин і перспективи для застосування, ендоефітні бактерії, що передаються насінням, досі мало вивчені. Проте встановлено, що основний вплив ендоефітів насіння на рослини-хазяї включає стимуляцію росту та захист від стресу (Truysens et al., 2015). Покращене проростання насіння за рахунок епіфітної мікрофлори пов'язане з секрецією біоактивних вторинних метаболітів або з продукцією ACC дезамінази, яка знижує рівень гормону стресу етилену (Glick, 2014; Xu et al., 2014, Bhagat et al., 2021).

Ендоефітна асоціація може захистити кіноа від інших потенційно патогенних мікроорганізмів, забезпечуючи таким чином життєздатність насіння та розвиток рослин. Представники епіфітної мікрофлори насіння кіноа здатні виробляти антимікробні речовини (Mousa &

Raizada, 2015). Крім такої антагоністичної дії проти фітопатогенів, мікробіота продукує фітогормони, 1-аміноциклопропан-1-карбоксилазу (ACC) дезаміназу та EPS для підтримки росту рослин в естремальних умовах.

Виявлено, що різноманітні види бактерій, такі як *Pseudomonas aeruginosa*, *Azotobacter vinelandii*, *Sphingomonas paucimobilis*, *Azotobacter*, *Paenibacillus*, *Klebsiella*, *Bacillus* і *Pseudomonas spp.* відіграють важливу роль у підтримці росту рослин в умовах абіотичного стресу.

Використання ризобактерій, що стимулюють ріст рослин (PGPR -*Plant Growth-Promoting Rhizobacteria*), сприяють росту рослин і також здатні покращити стійкість до стресу (Gururani & Upadhyaya, 2013; Elesawi et al., 2018; Tiwari & Lata, 2018; Kuzyakov & Razavi, 2019). Встановлено, що PGPR важливі для зменшення негативних наслідків абіотичних стресів, таких як посуха, екстремальні температури та вплив важких металів (Bresson et al., 2013; Gururani & Upadhyaya, 2013; Khan et al., 2019; Vardharajula et al., 2011).

Рід *Pseudomonas* належить до ризосферної мікрофлори. Вплив штаму *Pseudomonas sp.* на ріст і фізіологію проростків *S. quinoa* оцінювали шляхом інокуляції насіння при сольовому стресі. За таких умов бактеріальний штам сприяв збільшенню маси коренів та загальної біомаси проростків, а також стимуляції росту рослин. Вміст хлорофілу а та хлорофілу b підвищувався при інокуляції насіння. Тобто обробка насіння *S. quinoa* бактеріями може покращити стійкість до засолення (Cai et al., 2021). Невідомо, чи всі рослини кіноа з різних регіонів, містять ендоефітні бактерії у насінні, і чи відрізняється мікробіоти толерантних до засолення сортів кіноа від менш стійких сортів.

Дослідження вказують, що рослини завдячують своєю стійкістю вдалому поєднанню різних видів бактерій. Привабливою є перспектива використання бактеріальних штамів високотолерантних сортів кіноа на нестійких сортах, що дало б можливість підвищити толерантність останніх. Бактерії є перспективними кандидатами для стратегій управління стресом для росту та розвитку рослин (Bhagat et al., 2021).

Багато досліджень показали, що на додаток до властивих рослинам механізмів подолання сольового стресу, мікроорганізми, пов'язані з рослинами, можна використовувати для підвищення продуктивності рослин і врожайності у стресогенних умовах. Таким чином, біоремедіація засоленних ґрунтів потребує використання рослин і мікробів, здатних переносити засолення.

Інформація про толерантність кіноа до інших стресогенних абіотичних факторів, таких як мороз, заболочування та забруднення важкими металами, ультрафіолетове випромінювання та висока температура повітря, досить обмежена. Так, епіфітні мікроорганізми (*Pseudomonas sp.*, *Enterobacter sp.*) знижують фітотоксичність кадмію (Mastretta et al., 2009). Було виявлено, що стійкі до кадмію бактерії насіння (*Bacillus sp.*, *Pantoea sp.*) збільшують поглинання кадмію при повторній інокуляції в рослин-господарів, які зазнали впливу кадмію. Такі бактерії є перспективними для цілей фіторемедіації (Truysens et al., 2014).

Виняткова здатність кіноа до відновлення робить культуру ще більш пластичною. Велике різноманіття видів і штамів бактерій, пов'язаних з кіноа, є перспективним для розробки біотехнологічних препаратів для підвищення стійкості та продуктивності кіноа.

Висновки. Незважаючи на численні дослідження про вплив стресогенних абіотичних факторів на кіноа, багато питань залишається нез'ясованими. Майбутні дослідження повинні зосередитися на генетичних основах і механізмах, залучених до вивчення взаємозв'язів стійкості кіноа до абіотичного стресу та хімічного складу

рослин. Ця додаткова інформація дозволить селекціонерам цієї культури створювати нові сорти, які широко пристосовані до різних умов навколишнього середовища, і, у свою чергу, сприятиме світовому поширенню кіноа.

Нещодавні дослідження схрещування між кіноа та її дикими родичами мають на меті створення нових генетичних комбінацій з багатообіцяючими можливостями розмноження для вирощування в екстремальних умовах. Загалом кіноа є чудовою моделлю для вивчення механізмів стійкості до абіотичного стресу та нових генів для покращення рослин.

Бібліографічні посилання:

1. Adolf, V. I., Jacobsen, S.-E., & Shabala, S. (2013) Salt tolerance mechanisms in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) *Environ. Exp. Bot.*, 92, 43–54. doi: 10.1016/j.envexpbot.2012.07.004
2. Aliyar, S., Aliasgharzad, N., Dabbagh Mohammadi Nasab, A. & Ostan, S. (2022). Effects of endophytic fungus *Serendipitaindica* on growth and nutritional characteristics of quinoa under salinity stress conditions. *Journal of Sol Biology*, 10(1), 1–20. doi: 10.22092/sbj.2022.354464.218
3. Alvarez-Flores, R., Winkel, T. & Nguyen-Thi-Truc, A. (2014). Root foraging capacity depends on root system architecture and ontogeny in seedlings of three Andean *Chenopodium* species. *Plant Soil*, 380, 415–428. doi: 10.1007/s11104-014-2105-x
4. Ananda, K., & Sridhar, K.R., (2002) Diversity of endophytic fungi in the roots of mangrove species on west coast of India. *Can. J. Microbiol.*, 48 871–878. doi: 10.1139/w02-080. PMID: 12489776.
5. Ashraf, M. & Foolad, M. R. (2005) Pre-sowing seed treatment—A shotgun approach to improve germination, plant growth, and crop yield under saline and non-saline conditions, *Advances in Agronomy*, 88. Academic Press; Waltham, M.A., USA, 223–271. doi: 10.1016/S0065-2113(07)00002-8
6. Ashraf, M., Athar, H. R. Harris, P.J.C., & Kwon, T.R. (2008). Some prospective strategies for improving crop salt tolerance. *Advances in Agronomy*, 97, 45–110. doi: 10.1016/S0065-2113(07)00002-8
7. Augé, R.M., Toler, H. D. & Saxton, A. M. (2016) Mycorrhizal stimulation of leaf gas exchange in relation to root colonization, shoot size, leaf phosphorus and nitrogen: A quantitative analysis of the literature using meta-regression. *Front. Plant Sci.* doi: 10.3389/fpls.2016.01084
8. Azad, K. & Kaminskyj, S. (2016). A fungal endophyte strategy for mitigating the effect of salt and drought stress on plant growth. *Symbiosis*, 68, 73–78. doi: 10.1007/s13199-015-0370-y
9. Bagheri, A. A., Saadatmand, S., Niknam, V., Nejadstatar, T., & Babaeizad, V. (2013). Effect of endophytic fungus, *Piriformospora indica*, on growth and activity of antioxidant enzymes of rice (*Oryza sativa* L.) under salinity stress. *Int. J. Adv. Biol. Biomed. Res.*, 1, 1337–1350.
10. Baltruschat, H., Fodor, J., Harrach, B. D., Niemczyk, E., Barna, B., Gullner, G., et al. (2008). Salt tolerance of barley induced by the root endophyte *Piriformospora indica* is associated with a strong increase in antioxidants. *New Phytol.* 180, 501–510. doi: 10.1111/j.1469-8137.2008.02583.x
11. Baltruschat, H., Fodor, J., Harrach, B. D., Niemczyk, E., Barna, B., Gullner, G., et al. (2008). Salt tolerance of barley induced by the root endophyte *Piriformospora indica* is associated with a strong increase in antioxidants. *New Phytol.* 180, 501–510. doi: 10.1111/j.1469-8137.2008.02583.x
12. Bascuñán-Godoy, L., Reguera, M., Blumwald, Y. M., & Blumwald, E. (2016). Water deficit stress-induced changes in carbon and nitrogen partitioning in *Chenopodium quinoa* Willd. *Planta* 243, 591–603. doi: 10.1007/s00425-015-2424-z
13. Bazile D., Jacobsen, S. E. & Verniau, A. (2016), The global expansion of quinoa: Trends and Limits. *Frontiers in Plant Science*, 7, doi: 10.3389/fpls.2016.00622
14. Begum, N., Qin, C., Hanger, M., Raza, S., Khan, M.I., Ashraf, M., Ahmed, N. & Zhang, L. (2019) Role of arbuscular mycorrhizal fungi in plant growth regulation: Implications in abiotic stress tolerance. *Frontiers in Plant Science*, 10(1068), 1-15. doi: 10.3389/fpls.2019.01068
15. Bertero, H.D., De la Vega, A.J., Correa, G., Jacobsen, S.E. & Mujica, A. (2004) Genotype and genotype-by-environment interaction effects for grain yield and grain size of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) as revealed by pattern analysis of international multi-environment trials. *Field Crop. Res.*, 89, 299–318. doi: 10.1016/j.fcr.2004.02.006.
16. Bhagat, N, Raghav, M, Dubey, S. & Bedi, N. (2021) Bacterial Exopolysaccharides: Insight into Their Role in Plant Abiotic Stress Tolerance. *J Microbiol Biotechnol.* Aug 28, 31(8), 1045–1059. doi: 10.4014/jmb.2105.05009. PMID: 34226402
17. Bhargava, A., Shukla, S., Rajan, S. & Ohri, D. (2007) Genetic diversity for morphological and quality traits in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) germplasm. *Genet. Resour. Crop Evol.*, 54, 167–173. doi: 10.1007/s10722-005-3011-0
18. Bhargava, A. & Ohri, D. (2016) Origin of genetic variability and improvement of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) In: Rajpal V., Rao S., Raina S., editors. *Gene Pool Diversity and Crop Improvement*. Springer; Cham, Switzerland, 241–270.
19. Bhargava, S. & Sawant, K. (2013) Drought stress adaptation: Metabolic adjustment and regulation of gene expression. *Plant Breed*, 132, 21–32. doi: 10.1111/pbr.12004
20. Bhagat, N., Raghav, M., Dubey, S. & Bedi, N., (2021) Bacterial Exopolysaccharides: Insight into Their Role in Plant Abiotic Stress Tolerance. *J Microbiol Biotechnol.* Aug 28; 31(8), 1045-1059. doi: 10.4014/jmb.2105.05009. PMID: 34226402.

21. Bilal, S., Shazad, R., Imran, M., Jan, R., Min Kim, K., & Lee, I.-J. (2020). Synergistic association of endophytic fungi enhances Glycine max L. resilience to combined abiotic stresses: heavy metals, high temperature and drought stress. *Ind. Crops Prod.* 143:111931. doi: 10.1016/j.indcrop.2019.111931
22. Bitterlich, M., Roupael, Y., Graefe, J. & Franken, P. (2018) Arbuscular mycorrhizas: A promising component of plant production systems provided favorable conditions for their growth. *Front. Plant Sci.*, 9, 1329. doi: 10.3389/fpls.2018.01329
23. Bosque-Sanchez, H., Lemeur, R., Van Damme, P. & Jacobsen, S. E. (2003) Ecophysiological analysis of drought and salinity stress of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Food Reviews International* 19(1-2), 111-119. doi: 10.1081/FRI-120018874
24. Bulgarelli, D., Schlaeppi, K., Spaepen, S., Van Themaat, E. V. L. & Schulze-Lefert, P. Structure and functions of the bacterial microbiota of plants. *Annu. Rev. Plant Biol.* 2013, 64, 807–838.
25. Cai D, Xu Y, Zhao F, Zhang Y, Duan, H. & Guo, X. (2021) Improved salt tolerance of *Chenopodium quinoa* Willd. contributed by *Pseudomonas* sp. strain M30-35. *PeerJ.*, 9, e10702. doi: 10.7717/peerj.10702.
26. Cai, Z., Wang, X., Bhadra, S. & Gao, Q. (2020) Distinct factors drive the assembly of quinoa-associated microbiomes along elevation. *Plant and Soil*, 448, 55-69. doi: 10.1007/s11104-019-04387-1
27. Cheplick, G. P. & Faeth, S. (2009) *Ecology and Evolution of the Grass–endophyte Symbiosis*. Oxford University Press, Oxford.Christensen.
28. Choukr-Allah, R., Rao, N. K., Hirich, A., Shahid, M., Alshankiti, A., Toderich, K., Gill, S. & Butt, K. (2016) Quinoa for marginal environments: Toward future food and nutritional security in MENA and central Asia regions. *Frontiers in Plant Science*, 7(346). doi: 10.3389/fpls.2016.00346
29. Choukr-Allah, R., Rao, N.K., Hirich, A., Shahid, M., Alshankiti, A., Toderich, K., Gill, S. & Butt, K.U.R. (2016) Quinoa for marginal environments: Toward future food and nutritional security in MENA and central Asia regions. *Front. Plant Sci.*, 7, 346. doi: 10.3389/fpls.2016.00346.
30. Choudhary, D.K., Kasotia, A., Jain, S., Vaishnav, A., Kumari, S., Sharma, K.P., et al. (2015). Bacterial-mediated tolerance and resistance to plants under abiotic and biotic stress. *J. Plant Growth Regul.*, 35, 276–300. doi:10.1007/s00344-015-9521-x
31. Crozier, S. E. Thomas, M. C. Aime Evans, H. C. & Holmes, K. A. (2006) Molecular characterization of fungal endophytic morphospecies isolated from stems and pods of *Theobroma cacao*. *Plant Pathol.*, 55, 783–791. doi: 10.1111/j.1365-3059.2006.01446.x
32. Dighton, J. J. White, P. & Oudemans, (2005) *The Fungal Community: Its Organization and Role in the Ecosystem*. Taylor & Francis Group, CRC Press, Boca Raton, FL.
33. Fuentes, F. & Bhargava, A. (2011). Morphological analysis of quinoa germplasm grown under lowland desert conditions. *J. Agron. Crop Sci.* 197, 124–134. doi: 10.1111/j.1439-037x.2010.00445.x
34. García-Parra, M., Roa-Acosta, D., Stechauner-Rohringer, R., García-Molano, J.F., Bazile, D. & Plazas-Leguizamón, N. (2020). Effect of temperature on the growth and development of quinoa plants (*Chenopodium quinoa* Willd.): A review on a global scale. *Sylwan*, 164(5), 411–433.
35. Gazis, R. & Chaverri, P. (2015). Wild trees in the Amazon basin harbor a great diversity of beneficial endosymbiotic fungi: is this evidence of protective mutualism? *Fungal Ecol.*, 17, 18–29. doi: 10.1016/j.funeco.2015.04.001
36. Giauque, H., Connor, E. W. & Hawkes, C. V. (2018). Endophyte traits relevant to stress tolerance, resource use and habitat of origin predict effects on host plants. *New Phytol.*, 221, 2239–2249. doi: 10.1111/nph.15504
37. Giauque, H., Connor, E. W. & Hawkes, C. V. (2018). Endophyte traits relevant to stress tolerance, resource use and habitat of origin predict effects on host plants. *New Phytol.*, 221, 2239–2249. doi: 10.1111/nph.15504
38. Gómez-Pando, L. R., Álvarez-Castro, R. & Eguiluz-de la Barra (2010) A. Short communication: Effect of salt stress on Peruvian germplasm of *Chenopodium quinoa* Willd.: A promising crop. *J. Agron. Crop Sci.* 196, 391–396. doi: 10.1111/j.1439-037X.2010.00429.x
39. González-Teuber, M., Urzúa, A., Plaza, P., & Bascuñán-Godoy, L. (2018) Effects of root endophytic fungi on response of *Chenopodium quinoa* to drought stress. *Plant Ecol.* 219, 231–240. doi: 10.1007/s11258-017-0791-1.
40. González-Teuber, M. (2016). The defensive role of foliar endophytic fungi for a South American tree. *AoB Plants* 8:lw050. doi: 10.1093/aobpla/plw050
41. González-Teuber, M., Vilo, C. & Bascuñán-Godoy, L. (2017) Molecular characterization of endophytic fungi associated with the roots of *Chenopodium quinoa* inhabiting the Atacama Desert, Chile. *Genom. Data.*, 11, 109–112. doi: 10.1016/j.gdata.2016.12.015
42. González, J. A., Gallardo, M., Hilal, M., Rosa, M. & Prado, F. E. (2009), Physiological responses of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) to drought and waterlogging stresses: dry matter partitioning. *Botanical Studies*, 50, 35–42.
43. Grime, J. P. (2001) *Plant Strategies, Vegetation Processes, and Ecosystem Properties*. 2nd Edition, John Wiley & Sons, Properties: By J.P. Grime (2nd Edition). Wiley. ISBN 0-471-49601-4 (hbk), 417. doi: 10.1016/S0006-3207(02)00055-1
44. Gupta, B. & Huang, B. (2014). Mechanism of salinity tolerance in plants: physiological, biochemical, and molecular characterization. *Int. J. Genom.* 2014, 701596–701596. doi: 10.1155/2014/701596
45. Gupta, S., Schillaci, M., Walker, R., Smith, P. M. C. Watt, M. & Roessner, U. (2021). Alleviation of salinity stress in plants by endophytic plant-fungal symbiosis: current knowledge, perspectives and future directions. *Plant Soil*, 461, 219–244. doi: 10.1007/s11104-020-04618-w
46. Hinojosa, L, González, J. A., Barrios-Masias, F. H., Fuentes, F. & Murphy, K. M. (2018) Quinoa Abiotic Stress Responses: A Review. *Plants (Basel)*. Nov 29,7(4),106. doi: 10.3390/plants7040106
47. Houston, J. & Hartley, A. J. (2003). The central Andean westslope rainshadow and its potential contribution to the origin of hyperaridity in the Atacama Desert. *Int. J. Climatol.*, 23, 1453–1464. doi: 10.1002/joc.938

48. Hussain, M. I., Muscolo, A., Ahmed, M., Asghar, M. A. & AlDakheel, A. J. (2020). Agro-morphological, yield and quality traits and interrelationship with yield stability in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) genotypes under saline marginal environment. *Plants*, 9, 1763. doi: 10.3390/plants9121763
49. Hussin, S., Khalifa, W., Geissler, N. & Koyro, H.-W. (2017) Influence of the root endophyte *Piriformospora indica* on the plant water relations, gas exchange and growth of *Chenopodium quinoa* at limited water availability. *J. Agron. Crop Sci.*, 203, 373–384. doi: 10.1111/jac.12199.
50. Janouskova, M., Krak, K., Vosatka, M., Puschel, D. & Storchova, H. (2017), Inoculation effects on root-colonizing arbuscular mycorrhizal fungal communities spread beyond directly inoculated plants. *PLoS ONE* 12(7), e0181525. doi: 10.1371/journal.pone.0181525
51. Jaramillo Roman, V., den Toom, L. A., Castro Gamiz, C., van der Pijl, N., Visser, R. G. F. & van Loo, E. N. (2020). Differential responses to salt stress in ion dynamics, growth and seed yield of European quinoa varieties. *Environ. Exp. Bot.*, 177, 104146. doi: 10.1016/j.envexpbot.2020.104146
52. Jacobsen, S. E., Mujica, A. & Jensen, C. R. (2003) The resistance of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) to adverse abiotic factors. *Food Rev. Int.*, 19, 99–109. doi: 10.1081/FRI-120018872.
53. Jarvis, D. E., Ho Y. S., Lightfoot, D. J., Schmöckel, S. M., Li B., Borm, T. J. A., Ohyanagi, H., Mineta, K., Michell, C. T., Saber, N. et al. (2017) The genome of *Chenopodium quinoa*. *Nature*, 542, 307–312. doi: 10.1038/nature21370.
54. Karimi, G. Pourakbar, L. & Siavash Moghaddam, S. (2022). Effectiveness of fungal bacterial biofertilizers on agro-biochemical attributes of quinoa (*Chenopodium quinoa* willd.) under salinity stress. *Int. J. Environ. Sci. Technol.* doi: 10.1007/s13762-022-04427-x
55. Khan, A. L., Hamayun, M., Ahmad, N., Hussain, J. Kang, S.M., Kim, Y.H., Adnan, M., Tang, D.C., Waqas, M., Radhakrishnan, R., Hwang, Y. H. & Lee, I. J., (2011) Salinity stress resistance offered by endophytic fungal interaction between *Penicillium minioluteum* LHL09 and *Glycine max.* L. *J. Microbiol. Biotechnol.*, 21, 893–902. doi: 10.4014/jmb.1103.03012
56. Khidir, H. H., Eudy, D. M., Porrás-Alfaro, A., Herrera, J., Natvig, D. O. & Sinsabaugh, R. L. (2010) A general suite of fungal endophytes dominate the roots of two dominant grasses in a semiarid grassland. *J. Arid Environ.*, 74, 35–42.
57. Koyro, H.W. & Eisa, S.S. (2008) Effect of salinity on composition, viability and germination of seeds of *Chenopodium quinoa*. *Willd Plant. Soil*, 302, 79–90
58. Krings, M., Taylor, T. N., Hass, H., Kerp, H., Dotzler, N. & Hermsen, E. J., (2007). Fungal endophytes in a 400-million-yr-old land plant: Infection pathways, spatial distribution, and host responses. *New Phytologist.*, 174, 648–657. doi: 10.1111/j.1469-8137.2007.02008.x
59. Li, L., Wang, X., Zhu, P., Wu, H., & Qi, S. (2017). Plant growth promoting endophyte *Piriformospora indica* alleviates salinity stress in *Medicago truncatula*. *Plant Physiol. Biochem.*, 119, 211–223. doi: 10.1016/j.plaphy.2017.08.029
60. Lutz, M. & Bascuñan-Godoy, L. (2017) The revival of quinoa: a crop for health. In: Waisundara V, Shiomi N (eds) *Superfood and functional food—an overview of their processing and utilization*. InTech, ISBN 978-953-51-5020-6, 37–54
61. Mastretta, C., Taghavi, C., Daniel van der Lelie, Mengoni, A., Galardi, F., Gonnelli, C., Barac, T., Boulet, J., Weyens, N. & Vangronsveld, J. (2009) Endophytic bacteria from seeds of *Nicotiana tabacum* can reduce cadmium phytotoxicity. *International Journal of Phytoremediation*, 11(3), 251–267. doi: 10.1080/15226510802432678
62. Moghaddam, M. S. H., Safaie, N., Soltani, J. & Hagh-Doust, N., (2021). Desert adapted fungal endophytes induce salinity and drought stress resistance in model crops. *Plant Physiol. Biochem.*, 160, 225–238. doi: 10.1016/j.plaphy.2021.01.022
63. Molina-Montenegro, M. A., Acuña-Rodríguez, I. S., Torres-Díaz, C., Gundel, P. E. & Dreyer, I. (2020). Antarctic root endophytes improve physiological performance and yield in crops under salt stress by enhanced energy production and Na⁺ sequestration. *Sci. Rep.*, 10, 5819. doi: 10.1038/s41598-020-62544-4
64. Muñoz-Rojas, J. & Caballero-Mellado (2003) Population dynamics of *Gluconacetobacter diazotrophicus* in sugarcane cultivars and its effect on plant growth. *Microbial ecology*, 46 (4), 454–464. doi: 10.1007/s00248-003-0110-3
65. Newsham, K. K. (2011) A meta-analysis of plant responses to dark septate root endophytes. *New Phytol.*, 190, 783–7934 doi: 10.1111/j.1469-8137.2010.03611.x
66. Newsham, K. K., Upson, R., & Read, D. J. (2009) Mycorrhizas and dark septate endophytes in polar regions. *Fungal Ecol.*, 2, 10–20. doi: 10.1016/j.funeco.2008.10.005
67. Oosten, V., Stasio, M. J., Cirillo, E. D., Silletti, V., Ventorino, S., Pepe, V., Raimondi, O. & Maggio, G. A., (2018). Root inoculation with *Azotobacter chroococcum* 76A enhances tomato plants adaptation to salt stress under low N conditions. *BMC Plant Biol.*, 18, 205
68. Orcutt, D. M. & Nilsen, E. T. (2000) *The Physiology of Plants under Stress Soil and Biotic Factors*. JohnWiley and Sons Inc., New York, 680 p
69. Ortiz, R., Ruiz-Tapia, E. N. & Mujica-Sanchez, A. (1998) Sampling strategy for a core collection of Peruvian quinoa germplasm. *Theor. Appl. Genet.*, 96, 475–483. doi: 10.1007/s001220050764
70. Parida, S. K. & Das, A. B. (2005). Salt tolerance and salinity effects on plants. *Ecotoxicol. Environ. Safety*, 60, 324–349. doi:10.1016/j.ecoenv.2004.06.010
71. Pitzschke, A. (2016) Developmental peculiarities and seed-borne Endophytes in Quinoa: Omnipresent, robust bacilli contribute to plant fitness. *Front. Microbiol.*, 7. doi: 10.3389/fmicb.2016.00002
72. Pitzschke, A. (2018) Molecular dynamics in germinating, endophyte-colonized quinoa seeds. *Plant Soil.*, 422, 135–154. doi: 10.1007/s11104-017-3184-2
73. Porrás-Alfaro, Herrera, J., Sinsabaugh, R. L., Odenbach, K. J., Lowrey, T. & Natvig, D. O. (2008) Novel root fungal consortium associated with a dominant desert grass. *Appl. Exp. Microbiol.*, 74, 2805–2813.

74. Pusztahelyi, T., Holb, I. J., & Pócsi, I. (2015). Secondary metabolites in fungus plant interactions. *Front. Plant Sci.*, 6, 573. doi: 10.3389/fpls.2015.00573
75. Radhakrishnan, R., Khan, A. L. & Lee, I.-J. (2013). Endophytic fungal pre-treatments of seeds alleviates salinity stress effects in soybean plants. *J. Microbiol.*, 51, 850–857. doi: 10.1007/s12275-013-3168-8
76. Rodríguez, R. J., Henson, J., Van Volkenburgh, E., Hoy, M., Wright, L., Beckwith, F., et al. (2008). Stress tolerance in plants via habitat adapted symbiosis. *ISME J.*, 2, 404–416. doi: 10.1038/ismej.2007.106
77. Rodríguez, L. A. & Isla, M. T. (2009) Comparative analysis of genetic and morphologic diversity among quinoa accessions (*Chenopodium quinoa* Willd.) of the South of Chile and highland accessions. *J. Plant Breed. Crop Sci.*, 1, 210–216.
78. Rodríguez, R. J., Redman, R. S. & Henson, J. M. (2004). The role of fungal symbioses in the adaptation of plants to high stress environments. *Mitig. Adapt. Strateg. Glob. Chang.*, 9, 261–272. doi: 10.1023/B:MITI.0000029922.31110.97
79. Rodríguez, R. J., White, J. F., Arnold, A. E., & Redman, R. S. (2009). Fungal endophytes: diversity and functional roles. *New Phytol.*, 182, 314–330. doi: 10.1111/j.1469-8137.2009.02773
80. Ruiz, K. B., Biondi, S., Oses, R., Acuña-Rodríguez, I. S., Antognoni, F., Martínez-Mosqueira, E. A., Coulibaly, A., Canahua-Murillo, A., Pinto M., Zurita-Silva, A., Bazile, D., Jacobsen, S. E., & Molina-Montenegro, M. A., (2014). Quinoa biodiversity and sustainability for food security under climate change. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 34(2), 349-359. doi: 10.1007/s13593-013-0195-0
81. Ruiz, K. B., Biondi, S., Martínez, E. A., Orsini, F., Antognoni, F. & Jacobsen, S.-E. (2016) Quinoa—A model crop for understanding salt-tolerance mechanisms in halophytes. *Plant Biosyst. Int. J. Deal. All Asp. Plant Biol.*, 150, 357–371. doi: 10.1080/11263504.2015.1027317
82. Ruiz, K. B., Aloisi, I., Del Duca, S., Canelo, V., Torrigiani, P., Silva, H., et al. (2016). Salares versus coastal ecotypes of quinoa: salinity responses in Chilean landraces from contrasting habitats. *Plant Physiol. Biochem.*, 101, 1–13. doi: 10.1016/j.plaphy.2016.01.010
83. Rydlová, J. & Vosfitka, M. 2001. Association of dominant plant species with arbuscular mycorrhizal fungi during vegetation development on coal mine spoil bank. *Folia Geobotanica*, 36, 85-97. doi: 10.1007/BF02803141
84. Shah, S. S., Shi, L., Li, Z., Ren, G., Zhou, B. & Qin, P. (2020). Yield, agronomic and forage quality traits of different quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) genotypes in Northeast China. *Agronomy*, 10, 1908. doi: 10.3390/agronomy10121908
85. Singh, L. P., Gill, S. S. & Tuteja, N. (2011). Unraveling the role of fungal symbionts in plant abiotic stress tolerance. *Plant Signal. Behav.*, 6, 175–191. doi: 10.4161/psb.6.2.14146
86. Soudzilovskaia, N. A., Van Bodegom, P. M., Terrer, C., Zelfde, M., McCallum, I., Luke-McCormack, M., Fisher, J., Brundrett, M., Cesar de Sa, N. & Tedersoo L. (2019). Global mycorrhizal plant distribution linked to terrestrial carbon stocks. *Nature Communications*. 10(5077), 1–10. doi: 10.1038/s41467-019-13019-2
87. Tapia, M. (2013) The Long Journey of Quinoa: Who wrote its history. In: Bazile D., Bertero H.D., Nieto C., editors. *State of the Art Report on Quinoa around the World* Volume 1. FAO; Santiago, Chile: CIRAD; Montpellier, France, 2015, 1–7.
88. Toju, H., Yamamoto, S., Sato, H., Tanabe, A., Gilbert, G. & Kadowaki, K. (2013) Community composition of root-associated fungi in a *Quercus* dominated temperate forest: “codominance” of mycorrhizal and root-endophytic fungi. *Ecol. Evol.*, 3, 1281–1293. doi: 10.1002/ece3.546
89. Trognitz, B. R. (2003) Prospects of breeding quinoa for tolerance to abiotic Stress. *Food Rev. Int.*, 19, 129–137. doi: 10.1081/FRI-120018879
90. Trivedi, P, Leach, J. E., Tringe, S. G., Sa, T. & Singh, B. K. (2020) Plant-microbiome interactions: from community assembly to plant health. *Nature Reviews Microbiology.*, 18, 607–621. doi: 10.1038/s41579-020-0412-1
91. Vierheilig, H. (2004). Further root colonization by arbuscular mycorrhizal fungi in already mycorrhizal plants is suppressed after a critical level of root colonization. *Journal of Plant Physiology* 161: 339-341. doi: 10.1078/0176-1617-01097
92. Vimal, S. R., Singh, J. S., Arora, N. K., Singh, S. (2017) Soil-plant-microbe interactions in stressed agriculture management: a review. *Pedosphere*, 27(2), 177–192. doi:10.1016/S1002-0160(17)60309-6
93. Vinale, F., Nicoletti, R., Lacatena, F., Marra, R., Sacco, A., Lombardi, N. et al. (2017). Secondary metabolites from the endophytic fungus *Talaromyces pinophilus*. *Nat. Prod. Res.*, 31, 1778–1785. doi: 10.1080/14786419.2017.1290624
94. Visagie, C., Houbraken, J., Frisvad, J. C., Hong, S. B., Klaassen, C., Perrone, G. et al. (2014). Identification and nomenclature of the genus *Penicillium*. *Stud. Mycol.* 78, 343–371. doi: 10.1016/j.simyco.2014.09.001
95. Urcelay, C., Acho, J. & Joffre, R., (2011). Fungal root symbionts and their relationship with fine root proportion in native plants from the Bolivian Andean highlands above 3,700 m elevation. *Mycorrhiza*, 21, 323–330. doi: 10.1007/s00572-010-0339-x
96. White, J. F. & Torres, M. S. (2010). Is plant endophyte-mediated defensive mutualism the result of oxidative stress protection? *Physiol. Plant.* 138, 440–446. doi: 10.1111/j.1399-3054.2009.01332.x
97. Yang, A., Akhtar, S.S., Iqbal, S., Amjad, M., Naveed, M., Zahir, Z.A., & Jacobsen, S.-E., (2016) Enhancing salt tolerance in quinoa by halotolerant bacterial inoculation. *Funct. Plant Biol.*, 43, 632–642. doi: 10.1071/FP15265
98. Yang, A., Akhtar, S.S., Iqbal, S., Qi, Z., Alandia, G., Saddiq, M.S., & Jacobsen, S.-E., (2018) Saponin seed priming improves salt tolerance in quinoa. *J. Agron. Crop Sci.*, 204, 31–39. doi: 10.1111/jac.12229
99. Yang, A., Akhtar, S. S., Iqbal, S., Qi, Z., Alandia, G., Saddiq, M. S., & Jacobsen, S. E. (2018) Saponin seed priming improves salt tolerance in quinoa. *Journal of Agronomy and Crop Science.*, 204, 31–39. doi: 10.1111/jac.12229
100. Zakaria, L., Jamil, M. I., & Anuar, I. S. (2016) Molecular characterisation of endophytic fungi from roots of wild banana (*Musa acuminata*). *Trop. Life Sci. Res.*, 27, 153–162.

101. Zarea, M., Hajinia, S., Karimi, N., Goltapeh, E. M., Rejali, F. & Varma, A., (2012). Effect of Piriformospora indica and Azospirillum strains from saline or nonsaline soil on mitigation of the effects of NaCl. Soil Biol. Biochem. 45, 139–146. doi: 10.1016/j.soilbio.2011.11.006
102. Zhang, F., Wang, Y., Liu, C., Chen, F., Ge, H., Tian, F. et al. (2019). Trichoderma harzianum mitigates salt stress in cucumber via multiple responses. Ecotoxicol. Environ. Saf., 170, 436–445. doi: 10.1016/j.ecoenv.2018.11.084
103. Zhang, S., Xu, B., & Gan, Y (2019) Seed treatment with Trichoderma longibrachiatum T6 promotes wheat seedling growth under NaCl stress through activating the enzymatic and nonenzymatic antioxidant defense systems. Int J Mole Sci., 20(15), 3729. doi:10.3390/ijms20153729
104. Zhu, J. K. (2001). Plant salt tolerance. Trends Plant Sci., 6, 66–71. doi: 10.3389/fpls.2016.01787
105. Zlatev, Z., & Lidon, F.C., (2012) An overview on drought induced changes in plant growth, water relations and photosynthesis. Emir. J. Food Agric., 24, 57–72. doi:10.9755/ejfa.v24i1.10599

Trotsenko N.V., PhD student, Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine

Melnyk A.V., Doctor (Agricultural Sciences), Professor, Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine

Stress resistance of quinoa and the role of endophyte symbionts in its formation

The main reason for the crop loss (up to 50 %) in the whole world in agrarian production is abiotic stress. The quinoa crop (Chenopodium quinoa Willd. (Amaranthaceae) is unique not only for its nutritional value, but also for its high tolerance to the action of many stressogenic factors due to wide genotypic variability. It has been proven that endosymbionts - microscopic fungi and bacterias – can change the reaction of plants to all kinds of adverse environmental changes. Plants can form associative relationships with mycorrhizal fungi, rhizospheric, epiphytic and endophytic bacterias based on the type of mutualism or synergism. Colonization by microbial symbionts potentially mitigates the adverse effects of abiotic stresses in quinoa plants. There are various hypotheses to describe the plant–endophyte interaction in the sense of increased resistance to abiotic stress. It has been shown that stress-adapted endophytic fungi, as symbionts of plants, are able to mitigate the negative effects of salinity or drought by changing a number of physiological and biochemical reactions of plants. Quinoa is considered a drought-tolerant crop capable of growing and producing seeds in semi-arid and arid regions. Evolutionarily, plants have formed various mechanisms and reactions to tolerate water shortage: morphological, physiological and molecular. But in addition to morpho-physiological adaptations that ensure plant tolerance, associative relationships with endophytic fungi deserve special attention. It is the group of mycorrhizal fungi as mutualistic partners of plants that is able to reduce the stressogenic effects of drought and salinity. Quinoa is adapted to a wide range of marginal agricultural soils that are susceptible to the effects of such negative abiotic factors. The role of mycorrhizal endophytes in mitigating these stressogenic effects on plants has been proven. In addition to fungi, the positive role of halotolerant rhizobacteria associated with the quinoa root system in alleviating salinity stress was also revealed. Plant-associated microorganisms can be used to improve plant performance and yield under stressful conditions. The diversity of bacterial species and strains associated with quinoa is an attractive prospect for the development of biotechnological drugs to enhance plant resistance to stresses and increase crop productivity. Peculiarities of edaphic microorganisms capable of maintaining symbiotic relationships with different quinoa ecotypes, despite the importance of these associations and their relevance, remain little studied until now.

Key words: quinoa, abiotic stress, stressogenic factors, endosymbionts, mycorrhizal fungi, bacterias, mutualism, synergism, stress-adapted and drought-tolerant crop, crop productivity.

ОЦІНКА ОНТОГЕНЕТИЧНОЇ ТА ВІТАЛІТЕТНОЇ СТРУКТУР ПОПУЛЯЦІЙ *ASARUM EUROPAEUM L.* У ГЕТТІНГЕНСЬКОМУ ЛІСІ, НИЖНЯ САКСОНІЯ, НІМЕЧЧИНА

Ярошенко Наталія Павлівна

аспірантка

Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна

ORCID: 0000-0003-0475-2560

natalia.yaroshenko@snau.edu.ua

Скляр Вікторія Григорівна

доктор біологічних наук, професор

Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна

ORCID: 0000-0002-1301-7384

skvig@ukr.net

*У статті викладено результати популяційних досліджень, проведених вперше у Геттінгенському лісі (Göttinger Wald), Нижня Саксонія, Німеччина, протягом 2021–2022 рр. Досліджено 5 популяцій *Asarum europaeum L.*, які локалізовані на 5 ділянках, на яких зростають дерева різного віку в умовах наявного лісгосподарського користування та пралісі: ділянки №1 і №2 – молодий буковий ліс, де представлені дерева віком 40 та 70 років відповідно, на даних ділянках наявні лісгосподарські роботи; ділянки №3, №4 – праліс, 5 – старий буковий ліс, де присутній лісгосподарський менеджмент.*

Проведено оцінку онтогенетичної та віталітетної структур даних ценопопуляцій. Під час дослідження було використано наступні методи: метод геоботанічних описів, морфометричний аналіз, комплексний віталітетний аналіз, комплекс методів статистично-математичної обробки даних.

*За результатами морфометрії визначено характерні розмірні ознаки рослин *A. europaeum* у кожному з місцевостань. Показано, що неповночленність онтогенетичних спектрів популяцій *A. europaeum* є основною їх особливістю на ділянках, що відрізняються за характером антропогенного впливу. Узагальнюючі онтогенетичні індекси демонструють, що на всіх ділянках, крім ділянки №3, значення індексів генеративності перевищують індекси відновлюваності. Найвищі індекси відновлюваності встановлено на ділянці №3. Частка віргінільних рослин найбільша на ділянці старого лісу №3 – 31,82 %, молодих генеративних – на ділянці старого лісу №4 – 40,00 %. У ценопопуляцій, що зростають на ділянках із лісгосподарською активністю, спостерігається високий рівень генеративності. Для оцінки віталітету при роботі з факторним аналізом ключові морфопараметри для кожної з популяцій було визначено окремо. 67% особин популяцій *A. europaeum* належать до проміжного класу віталітету – b. Популяція, що локалізується у пралісі на ділянці №3, має високий рівень відновлюваності, а відносні частки рослин за класами віталітету розділилися порівну між трьома класами і становлять – 0,3333. На ділянці №1, найбільша частка рослин належить до с-класу віталітету і становить 0,5, тоді як на ділянці №4 та №5 домінує проміжний клас віталітету з показниками 0,6364 та 0,4545 відповідно.*

*На підставі дослідження на прикладі *A. europaeum* можна зробити висновок, що лісгосподарські роботи значно порушують трав'яний ярус лісових екосистем, знижують якість популяцій видів, що його складають. За результатами дослідження відмічено потребу у подальшому вивченні популяцій для отримання повної оцінки наслідків лісгосподарського користування у Геттінгенському лісі.*

Ключові слова: популяційний аналіз, букові ліси, віталітетний аналіз, *Asarum europaeum L.*, онтогенетична структура.

DOI <https://doi.org/10.32845/agrobio.2022.3.10>

Вступ. Вивчення біорізноманіття є ключовим елементом не лише для розуміння екосистемних послуг, а й для пом'якшення наслідків природних катаклізмів та попередження нових аспектів кліматичних змін на локальному, національному та світовому рівнях (Kumar&Mina, 2018; Schöttker & Wätzold, 2022). Стрімке зростання чисельності населення планети продовжує спричиняти деградацію природних екосистем, зокрема лісів (Hochmalova et al., 2022). Лісові екосистеми є фундаментально важливими територіями, оскільки роблять значний внесок в органічне різноманіття (Kumar et al., 2022). Після тривалих досліджень ліси було включено до комплексних досліджень, спрямованих на детальне вивчення зв'язків між біорізноманіттям та біопродуктивністю. Зокрема,

було досліджено вік дерев у контексті його кількісного та якісного впливу на сталість екосистеми лісу (Prauova et al., 2020). З метою встановлення кореляційних зв'язків між ступенем впливу абіотичних чинників внаслідок лісгосподарського впливу та трав'яним ярусом проводилися на видовому рівні (Derauw et al., 2019).

Реальною формою існування видів є популяція, оскільки на популяційному рівні вирішуються ключові питання збереження екосистем. Популяційний аналіз наразі є одним із найповніших досліджень в екології, оскільки у їх основі лежить аналіз кількісних показників, що характеризують стан особин певного виду в умовах конкретного угруповання (Zlobin et al., 2022). Комплексний популяційний аналіз дає можливість оцінити еко-

системні зв'язки популяції, а також значення даних зв'язків у динамічних змінах рослинного покриву (Bondarjeva et al., 2019).

Онтогенетична структура відображає співвідношення особин у популяції, що знаходяться на різних етапах онтогенезу. Оскільки онтогенетичний спектр є більш інформативним, аніж календарний вік, та має індивідуальне біолого-екологічне значення, вивчення онтогенетичних параметрів популяції є суттєвою перевагою для подальшого встановлення потенційної здатності існування рослин у складі різноманітних рослинних угруповань (Skliar et al., 2020).

Віталітетна структура популяції надає інформацію як про життєздатність окремих рослин, так і про віталітетний стан популяції, а також порівнює дані з віталітетом інших популяцій конкретного виду рослини (Курчичук et al., 2022).

Дослідження трав'яного ярусу букових лісів Німеччини активно проводиться з 30-х років ХХ століття. Детально вивчається вегетація Геттінгенського лісу як зразка пралісів у центральній частині Федеративної республіки Німеччина, зокрема структурні та флористичні зміни у вегетації, перебіг сукцесійних процесів та їх вплив на трав'яний ярус (Dierschke & Goedecke, 2021; Ellenberg, 1939; Dierschke & Becker, 2020). Значна увага приділяється впливу різних систем лісового менеджменту для збільшення видового різноманіття (Prauova et al., 2020; Zlobin, 1989; Schall et al., 2020). Проводяться мозаїчні фенологічні дослідження впливу змін клімату на фотосинтетичну активність деяких рослин, зокрема *Asarum europaeum* L. як типового піонерного виду однієї із стадій вторинної сукцесії (Derauw et al., 2019; Weste & Kriebitzsch, 2019; Kriebitzsch, 1992; Roslan & Nordin, 2022).

Asarum europaeum L. – багаторічна трав'яниста, зимово-зелена рослина, що часто зустрічається у трав'яному ярусі букових лісів Німеччини (Dierschke & Goedecke, 2021; Cao et al., 2020). *A. europaeum* виступає не тільки важливим компонентом лісових екосистем, а й має низку інших корисних властивостей. Вивчення застосування даного виду у лікарській промисловості низки країн світу є актуальним у наш час (Nelson, 2021; Maseehullah, 2022; Liu, 2022). Ценопопуляції *A. europaeum* досліджуються у контексті їх популяційної структури, стійкості популяцій до рекреаційного навантаження у лісових екосистемах (Kovalenko, 2017). Проте дослідження онтогенетичної та віталітетної структури *A. europaeum* з використанням методів популяційного аналізу у лісових екосистемах в умовах лісгосподарського користування раніше не проводилися.

Мета дослідження – проаналізувати онтогенетичну структуру популяцій *A. europaeum* у лісових фітоценозах Геттінгенського лісу, Нижня Саксонія, Німеччина, та визначити їх віталітетний статус на основі результатів віталітетного аналізу за градієнтом, який відображає вікові ознаки материнського деревостану та ступінь антропопресії.

Матеріали і методи досліджень. Об'єктом дослідження були популяції *A. europaeum*, який широко поширений у листяних лісах і децю рідше – у мішаних. Він

розповсюджений майже по всій Європі, крім Скандинавії і Великої Британії. *A. europaeum* займає важливе місце у трав'яному ярусі лісових екосистем, а також є цінною лікарською, ефіроолійною та декоративною рослиною (Grodzinskyi, 1992).

Дослідження популяцій *A. europaeum*, який зростає у трав'яному ярусі лісових екосистем, проводилися у вегетаційні періоди 2021–2022 рр. у Геттінгенському лісі (Нижня Саксонія, Німеччина) на визначених ділянках молодого, середньо-вікового лісів, а також у старому незайманому лісі. Під час проведення досліджень для угруповань, де виявлено *A. europaeum*, було виконано повні геоботанічні описи за загальноприйнятими підходами (Korchanin et al., 1964).

Досліджувані місця зростання *A. europaeum* відрізнялися один від одного за ступенем антропогенного впливу:

- ділянки №1 і №2 – молодий буковий ліс, де представлені дерева віком 40 та 70 років відповідно, на даних ділянках наявні лісгосподарські роботи;
- ділянки №3, №4 – праліс;
- ділянка №5 – старий буковий ліс, де присутній лісгосподарський менеджмент.

Для вивчення онтогенетичного спектру популяцій було обрано ділянки №1–4. Для проведення віталітетного аналізу було обрано ділянки №1, №3–5.

На кожній ділянці було відібрано 25–30 особин *A. europaeum*, які знаходилися в однаковому онтогенетичному стані, а саме на стадії середньогенеративних рослин g_2 , та проведено їх морфометричний аналіз. На кожній ділянці підраховували кількість особин досліджуваного виду і визначали їхню належність до певного онтогенетичного стану: p – проростки, j – ювенільні рослини, im – іматурні, v – віргінільні, g_1 – молоді генеративні, g_2 – середні генеративні, g_3 – старі генеративні, ss – субсенільні, s – сенільні особини (Zlobin, 1989). Онтогенетичні стани у рослин визначалися із врахуванням наукових напрацювань І. М. Коваленка (Kovalenko, 2016a; Kovalenko 2016b; Kovalenko et al., 2017).

При проведенні морфометрії досліджуваних фітопопуляцій *A. europaeum*, було використано шістнадцять морфопараметрів (табл. 1).

Онтогенетичний аналіз популяцій *A. europaeum* здійснювався згідно з сучасними методиками (Zlobin et al., 2008). Для цього було закладено ділянки 10 x 10 м, які розбивалися на 9 площадок по 0,25 м² для збору та підрахунку рослин різних онтогенетичних станів. Розрахунок індексів онтогенетичного стану та визначення типу популяцій проводився за допомогою комп'ютерної програми Ю.А. Злобіна (Zlobin, 2012).

Для оцінки життєвості популяцій *A. europaeum* проводився віталітетний аналіз, для чого було знайдено систему кореляцій метричних і алометричних морфопараметрів. Ці взаємозв'язки були отримані шляхом побудови кореляційних матриць по кожній досліджуваній ділянці лісу.

При аналізі кореляційних матриць оцінка кореляційних зв'язків між параметрами були здійснені двома шляхами:

Параметри, за якими проводилася оцінка фітопопуляцій *A. euoraeum*

| № з/п | Найменування параметру | Умовне позначення та розрахункова формула | Розмірність |
|-------------------------------------|--|---|----------------------|
| Статичні метричні морфопараметри | | | |
| 1 | Загальна фітомаса | W | г |
| 2 | Фітомаса листків | WI | г |
| 3 | Висота | h | см |
| 4 | Фітомаса генеративних органів | Wg | г |
| 5 | Кількість листків | NI | шт. |
| 6 | Кількість квіток | Nfl | шт. |
| 7 | Листкова поверхня | A | см ² |
| 8 | Середня площа окремого листка | al | см ² |
| 9 | Діаметр стебла | d | см |
| Статичні алометричні морфопараметри | | | |
| 10 | Площа листків на одиницю фітомаси | LAR = A / W | см ² /г |
| 11 | Фотосинтетичне зусилля | LWR = WI / W | г/г |
| 12 | Відносний приріст | hWR = h / W | см/г |
| 13 | Відношення листкової поверхні до діаметра стебла | AdR = A / 10d | см ² / см |
| 14 | Співвідношення між висотою рослини та діаметром стебла | hdR = h / d | см/см |
| 15 | Репродуктивне зусилля | RE1 = (Wg / W) × 100 | % |
| 16 | | RE2 = (Wg / A) × 100 | % |

– методом кореляційних плеяд та побудовою дендритів, у яких виділялися найтісніші взаємозв'язки між даними ознаками;

– методом факторного аналізу, в основу якого покладено виявлення загальної залежності та групування даних ознак навколо головного фактору.

Факторний аналіз проводився за допомогою статистичної програми SPSS. Даний аналіз не лише розширює уявлення щодо кореляційної структури ознак, але й дає можливість отримати нові, більш точні результати (Schmidt, 1984; Zlobin, 1989; Zlobin, 2012).

До переліку основних морфопараметрів, які визначають віталітет рослин *A. euoraeum*, було включено наступні:

– по ділянці №1 – A (листова поверхня), al (середня площа окремого листка), WI (фітомаса листків);

– по ділянці №3 – W (загальна фітомаса), A (листова поверхня), al (середня площа окремого листка);

– по ділянці №4 - RE1 (репродуктивне зусилля, як відношення фітомаси генеративних органів до загальної фітомаси), h (висота рослин), RE2 (репродуктивне зусилля, як відношення фітомаси генеративних органів до листкової поверхні);

– по ділянці №5 – A (листова поверхня), AdR (відношення листкової поверхні до діаметра стебла), al – (середня площа окремого листка).

Для визначення віталітетних показників життєвості *A. euoraeum* було використано некомерційну програму VITAL, яка розроблена професором Ю.А. Злобіним (Zlobin, 2012).

Результати. Аналіз онтогенетичної структури популяції *A. euoraeum* показав, що на всіх ділянках ценопопуляції є неповночленними, оскільки відсутні сенільні рослини, крім ділянки молодого лісу №2, де відсутні проростки (табл. 2). Частка віргінільних рослин най-

більша на ділянці старого лісу №3 (31,82%), молодих генеративних – на ділянці старого лісу №4 (40%), отже дані популяції є лівосторонніми. Частка середніх і старих генеративних – на ділянках молодого лісу №1 і №2 (31,25% і 34,33% відповідно) (табл. 2).

Отже, значна частина особин молодого генеративного стану представлена у популяціях *A. euoraeum*, що зростає у пралісі. Натомість у молодняках, що представлені 40- та 70-річними деревами, центральна частина онтогенетичного спектру відповідає особинам середньо-генеративного та зрілого генеративного станів (табл. 2).

Таблиця 2

Частка зразків рослин різних онтогенетичних станів (%)

| Онтогенетичні стани | Досліджувані ділянки | | | |
|---------------------|----------------------|-------|-------|-------|
| | №1 | №2 | №3 | №4 |
| p | 4,69 | 0,00 | 3,03 | 0,00 |
| j | 6,25 | 5,97 | 7,58 | 0,00 |
| im | 9,38 | 8,96 | 22,73 | 3,33 |
| v | 23,44 | 17,91 | 31,82 | 16,67 |
| g1 | 18,75 | 14,93 | 4,55 | 40,00 |
| g2 | 31,25 | 11,94 | 16,67 | 15,00 |
| g3 | 4,69 | 34,33 | 10,61 | 21,67 |
| ss | 1,56 | 4,48 | 3,03 | 3,33 |
| s | 0,00 | 1,49 | 0,00 | 0,00 |
| Разом | 100 | 100 | 100 | 100 |

Узагальнюючі онтогенетичні індекси показують, що на всіх ділянках, крім ділянки №3, значення індексів генеративності перевищують індекси відновлюваності. Найвищі індекси відновлюваності встановлено на ділянці №3 (65,15% за І.М. Коваленком і 195,24% – за Л.І. Воронцовою). Досліджено також, що на ділянці №3 популяція *A. euoraeum* є молодого, тоді як на ділянці

Значення онтогенетичних індексів популяцій *Asarum europaeum* L.

| Онтогенетичні індекси | | Одиниці виміру | Досліджувані ділянки | | | |
|-----------------------|------------------------|----------------|---|--|---|--|
| | | | №1 | №2 | №3 | №4 |
| За Коваленком | Індекс відновлюваності | % | 43,75 | 32,84 | 65,15 | 20,00 |
| | Індекс старіння | % | 6,25 | 40,30 | 13,64 | 25,00 |
| | Індекс генеративності | % | 54,69 | 61,19 | 31,82 | 76,67 |
| | Індекс віковості | – | 0,14 (переважають інвазійні процеси) | 1,23 (переважають процеси деградації) | 0,21 (переважають інвазійні процеси) | 1,25 (переважають процеси деградації) |
| За Жуковою-Готовою | Індекс відновлюваності | – | 0,42 | 0,35 | 0,66 | 0,21 |
| | Індекс старіння | – | 0,02 | 0,06 | 0,03 | 0,03 |
| | Індекс заміщення | – | 0,69 | 0,49 | 1,78 | 0,25 |
| за Воронцовою | Індекс відновлюваності | % | 71,43 | 53,66 | 195,24 | 26,09 |
| За Урановим | Індекс віковості | Δ | 0,29 | 0,43 | 0,25 | 0,39 |
| За Животовським | Індекс ефективності | Ω | 0,62 | 0,62 | 0,48 | 0,72 |
| Тип популяції | | | | | | |
| за Т.О. Работновим | | | нормальна | нормальна | інвазійна | нормальна |
| за Л. О. Жуковою | | | нормальна | нормальна | нормальна | нормальна |
| за Л.А. Животовським | | | зріюча | перехідна | молода | зріла |

Таблиця 4

Віталітетна структура популяцій *Asarum europaeum* L. у різних фітоценозах

| Досліджувана ділянка | Відносна частка рослин певного класу віталітету | | | Значення індексу якості (Q) | Віталітетний тип популяції |
|----------------------|---|----------------------|-------------------|-----------------------------|----------------------------|
| | Вищого класу (A) | Проміжного класу (B) | Нижчого класу (C) | | |
| №1 | 0,3571 | 0,1429 | 0,5000 | 0,2500 | рівноважний |
| №3 | 0,3333 | 0,3333 | 0,3333 | 0,3333 | процвітаючий |
| №4 | 0,1818 | 0,6364 | 0,1818 | 0,4091 | процвітаючий |
| №5 | 0,2727 | 0,4545 | 0,2727 | 0,3636 | процвітаючий |

№1 – зріючою, №2 – перехідною, №4 – зрілою (за Л.А. Животовським). Тип популяції на ділянці №3 за Т.О. Работновим визначена як інвазійна, на всіх інших – нормальна (табл. 3).

За результатами віталітетного аналізу встановлено, що ділянки пралісу №3 та №4 представлені популяціями процвітаючого типу з індексами якості (Q) 0,3333 та 0,4091 відповідно, тоді як на ділянці молодого лісу №1 виявлено популяції рівноважного типу з індексом якості (Q) 0,2500 (табл. 4).

З таблиці видно, що на ділянках старого незайманого лісу № 3 і № 4 набагато більша частка особин *A. europaeum* проміжного класу віталітету, порівняно з ділянкою молодого лісу № 1: на ділянці №3 – у 2,3 рази, на ділянці №4 – у 4,4 рази. У той же час на ділянці молодого лісу спостерігається більша частка рослин нижчого класу: порівняно з ділянкою №3 – у 1,5 рази, порівняно з ділянкою №4 – у 2,8 разів.

Обговорення. Одним із наслідків тривалого антропогенного впливу на лісові екосистеми є відсутність усіх стадій розвитку в онтогенетичному циклі рослини. Дана тенденція є характерною для досліджуваних ділянок Геттінгенського лісу, окрім ділянок пралісу, де відбувається

«природний менеджмент» у форматі зміни стану лісових ярусів під дією абіотичних чинників (Zlobin, 1989).

Напрацьовано дані про обумовленість морфологічного стану рослин за умов їх зростання: з'ясовано, що зменшення розмірів особин і зменшення метамерів у них є відображенням адаптації рослин до стресових умов (Skliar et al., 2020). Дані висновки підтверджено і нашими дослідженнями.

Неповний онтогенетичний спектр популяцій досліджуваних видів, в яких відсутні особини окремих груп догенеративних і постгенеративних рослин, свідчить про значне порушення процесу зміни поколінь. Це один із наслідків тривалої техногенної діяльності у лісах, що було зафіксовано у лісових екосистемах Лівобережного Полісся України (Skliar et al., 2020). Про безпосередній вплив лісгосподарської діяльності на перебіг онтогенезу у популяціях *A. europaeum* на досліджуваних ділянках Геттінгенського лісу також свідчить неповночленність онтогенетичних спектрів.

Віталітетна структура *A. europaeum* є досить варіативною, тобто охоплює повну теоретично можливу шкалу значень цього коефіцієнта, що свідчить про чутливість структури життєдіяльності популяцій до

еколого-ценотичних умов і визначає високу інформативність віталітетного аналізу (Kovalenko, 2016a).

При проведенні факторного аналізу, який використаний для подальшого дослідження віталітету популяцій, ми встановили, що кожна із популяцій відрізняється набором із ключових морфопараметрів з найвищими коефіцієнтами парної кореляції Пірсона, тому робота з кожною популяцією окремо надало нам детальніше розуміння взаємозв'язків між ознаками (Zlobin et al., 2022; Kovalenko et al., 2017; Kovalenko, 2016a; Kovalenko, 2016b; Zlobin et al., 2008).

Висновки. На підставі отриманих результатів дослідження популяцій *A. europaeum* можна зробити висновок, що лісгосподарські роботи значно порушують трав'яний ярус лісових екосистем, знижують якість популяцій. Перспективою подальших досліджень є подальше застосування комплексного популяційного аналізу до популяцій *A. europaeum* Гет-

тінгенського лісу для оцінки ресурсного потенціалу виду, з метою охорони та збереження біорізноманіття лісових екосистем з урахуванням лісгосподарського користування.

Ценопопуляції *A. europaeum* на досліджуваних ділянках є неповночленими, а популяції, що локалізовані у пралісі (ділянки 3 та 4) є лівосторонніми, що вказує на реагування популяціями на дію екологічних чинників. Даний висновок спонукає до подальшого вивчення абіотичних чинників та їх кореляцію на визначені популяції.

У популяціях, досліджених на ділянках, які піддаються лісгосподарському впливу, спостерігається високий рівень генеративності, а у 67% популяцій представники *A. europaeum* належать до проміжного класу віталітету b. Популяція, що належить до ділянки пралісу, має високий рівень відновлюваності, а відносні частки рослин за класом віталітету розділилися порівну між трьома класами і становлять – 0,3333.

Бібліографічні посилання:

1. Bondariva, L.M., Kyrylchuk, K.S., Skliar, V.H., Tikhonova, O.M., Zhatova, H.O., & Bashtovyi, M. G. (2019). Population dynamics of the typical meadow species in the conditions of pasture digression in flooded meadows. *Ukrainian Journal of Ecology*, 9 (2), 204–211.
2. Cao, S., Han, L., Li Y., Yao, S., Hou, S., Ma, S. S., Dai, W., Li J., Zhou, Z., Wang, Q. & Huang, F. (2020). Integrative transcriptomics and metabolomics analyses provide hepatotoxicity mechanisms of asarum. *Experimental and Therapeutic Medicine* 20.2 (2020), 1359–1370. doi: 10.3892/etm.2020.8811
3. Depauw, L., Perring, M., Landuyt, D., Maes, S., Blondeel, H., De Lombaerde, E., Brümelis, G., Brunet, J., Closset, D., Czerepko, J., Decocq, G., Ouden, J., Gawryś, R., Haerdle, W., Hédli R., Heinken, T., Heinrichs, S., Jaroszewicz, B., Kopecký, M. & Verheyen, K. (2019). Light availability and land-use history drive biodiversity and functional changes in forest herb layer communities. *Journal of Ecology*, 108(4), July 2020, 1411–1425. doi: 10.1111/1365-2745.13339
4. Dierschke, H. & Becker, T. (2020). Jahre Dauerflächenuntersuchungen in einem Kalkbuchenwald -eine Zeitreihe. *Tuexenia* 40, 71–99. Göttingen. doi: 10.14471/2020.40.003
5. Dierschke, H., & Goedecke, F. (2021). Forty years of symphenological research in a submontane calcareous beech forest under the influence of climate change. *Fl. Medit.* 31 (Special Issue), 257–270.
6. Ellenberg, H. (1939). Über Zusammensetzung, Standort und Stoffproduktion bodenfeuchter Eichen- und Buchen-Mischwaldgesellschaften Nordwestdeutschlands. – *Mitt. Florist.-soziol. Arbeitsgem. Niedersachsen* 5: 1-135.
7. Grodzinskiy, A. (1992) *Lekarsvennyje rasteniia*. [Medical plants] *Ukrainskaia encyclopedia*, Kyiv (in Russian).
8. Hanze, L. & Changhong, W. (2022) The genus *Asarum*: A review on phytochemistry, ethnopharmacology, toxicology and pharmacokinetics, *Journal of Ethnopharmacology*, 282, 114642, ISSN 0378-8741. doi: 10.1016/j.jep.2021.114642
9. Hochmalová, M., Purwestri, R., Yongfeng, J. & Jarský, V. (2022). Demand for forest ecosystem services: a comparison study in selected areas in the Czech Republic and China. *European Journal of Forest Research* 141(11). doi: 10.1007/s10342-022-01478-0
10. Korchahin, A., Lavrenko, E. & Poniatovskaia, V. (1964) *Polevaya geobotanica*. [Field geobotany] *Nauka*, Moscow (in Russian).
11. a) Kovalenko, I. M. (2016). The formation and structure of clones of forest herbs in ecosystem of north-eastern Ukraine. *Geomatics, Landmanagement and Landscape*, (2), 61–76.
12. b) Kovalenko, I. M. (2016). Reproduction in plants of grass and subshrub layer as a factor of the forest ecosystem stabilization. *Ecology and Noospherology*, 27(1–2), 34–41.
13. Kovalenko, I., Klymenko, H. & Hozhenko, K. (2017). Population analysis of *Asarum europaeum* in the Northeast of Ukraine. *Biosystems diversity*, 25(3), 2017, doi: 10.15421/011732
14. Kriebitzsch, W.-U. (1992) Der CO₂- und H₂O-Gasaustausch von Pflanzen in der Krautschicht eines Kalkbuchenwaldes in Abhängigkeit von Standortsfaktoren. III.CO₂-Bilanzen und Netto-Primärproduktion. *Flora* 187, 135–158 (in Germany).
15. Kumar, H., Pandey, B. W. & Anand, S.(2022). Analyzing the Impacts of forest Ecosystem Services on Livelihood Security and Sustainability: A Case Study of Jim Corbett National Park in Uttarakhand. *International Journal of Geoheritage and Parks*, 7(2). doi: 10.1016/j.ijgeop.2019.05.003
16. Kumar, P. & Mina, U. (2018). *Ecology and Environment, A short course*. Section 2. Pathfinder Publication, India.
17. Kyrylchuk, K.S., Piatkina, O.V. & Tebenko, Yu. M. (2022). Vplyv hospodarskykh navantazhen na reproduktsiiu populiatsii luchnykh vydiv bobovykh riznykh zhyttievyykh form. [The impact of economic loads on the reproduction of meadow species populations of legumes of different life forms] (in Ukrainian) *Zhurnal Zlobina Yuliana Andriiovycha*, 2022, 43.
18. Maseehullah, MD, Z., Mohammad, A., Munawwar Husain, M. & Munawwar Husain, K. «Ethno-pharmacology of *Asarum europaeum* (L.) with special reference to Unani System of Medicine» *Journal of Complementary and Integrative Medicine*, 19(2), 2022, 181–192. doi: 10.1515/jcim-2021-0021

19. Nelson, Taylor M. (2021) Influence on biodiversity on canopy process in a hardwood plantation forest ecosystem. Purdue University Graduate School. Thesis. doi: 10.25394/PGS.14502180
20. Prausová, R., Doležal, J., & Rejmánek, M. (2020). Nine decades of major compositional changes in a Central European beech forest protected area. *Plant Ecology*, 221(10), 1005–1016.
21. Roslan, M. S. & Nordin, S. (2022). Biodiversity Knowledge Retrieval Application Using Natural Language Processing Technique, 2022 Applied Informatics International Conference (AiiC), 143–147. doi: 10.1109/AiiC54368.2022.9914590
22. Schall, P., Heinrichs, S. & Ammer, C. (2020). Can multi-taxon diversity in European beech forest landscapes be increased by combining different management systems? *J Appl Ecol.* 2020; 57: 1363– 1375.
23. Schmidt, V. (1984) *Matematicheskie metody v botanike. [Math methods in botany]* (in Russian) Izdatelstvo Leningradskogo universiteta, Leningrad.
24. Schöttker, O. & Wätzold, F. (2022). Demand for forest ecosystem services: a comparison study in selected areas in the Czech Republic and China. *European Journal of Forest Research* 141(11). doi: 10.1007/s10640-022-00684-z
25. Skliar, V. G., Kyrylchuk, K.S., Tikhonova, O.M., Bondarieva, L.M., Zhatova, H., Klymenko, A., Bashtovyi, M. G. & Zubtsova, I. V. (2020) Ontogenetic structure of populations of forest-forming species of the Left-Bank Polissya of Ukraine. *Baltic Forestry* 26, 1–7. doi: 10.46490/BF441
26. Veste, M. & Kriebitzsch, W.-U. (2019). Photosyntheseverhalten der Stechpalme (*Ilex aquifolium* L.) in milden Winter in Mitteleuropa: Ein ökophysiologischer Vorteil durch den Klimawandel? doi: 10.23765/afjz0002026
27. Zlobin, Yu. (1989) Prinzipy i metody izucheniia cenoticheskikh populacij rastenij. [Principles and methods of plant cenopopulations investigation]. Izdatelstvo Kazanskogo universiteta, Kazan (in Russian).
28. Zlobin, Yu. (1989) Teoriia i practica ocenki vitalitnogo sostava cenopopulacij rastenij. [Theory and practice of vitality composition evaluation of plants coenopopulations] (in Russian) *Botanicheskij zhurnal*, 74(6), 769–780.
29. Zlobin, Yu. (2012) Computernye programmy dlia analiza populacij rastenij [Computer programs for plant populations analysis] *Visnyk SNAU: Agronomy and biology*, 2(23) (in Russian).
30. Zlobin, Yu. A., Skliar, V. G. & Klymenko, G. O. (2022) *Biologija ta ekologija fitopopuliacij [Biology and ecology of phytopopulations]* Sumy: Universytetska knyga, 512 (in Ukrainian).
31. Zlobin, Yu., Skliar, V., Kovalenko, I. & Kyrylchuk, K. (2008) *Structura populacij roslin: osnovni poniattia, metody, informatyvnyj. [Structure of plants populations: main terms, methods, informativity]* (in Ukrainian) *Visnyk SNAU: Agronomy and biology*, 10–11(14–15), 156–165.

Yaroshenko N.P., PhD student, Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine

Skliar V.H., Doctor (Biological Sciences), Professor, Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine

Ontogenetic and vitality structure evaluation of asarum europaeum L. In Göttinger Wald, Low Saxony, Germany

*In the article population investigations are presented, conducted for the first time in Goettingen forest (Göttinger Wald), Low Saxony, Germany during 2021–2022. Five plant populations of *Asarum europaeum* L., were investigated at 5 plots with different age tree species located in managed forest and in virgin forest: plots №1 and №2 – young beech managed forest, tree species are under the age 40 and 70 respectively; plots №3, №4 – virgin beech forest, №5 – managed old beech forest. We conducted the evaluation of ontogenetic and vitality structures of aforementioned coenopopulations. During the research we used such methods as method of geobotanical description, morphometry method, complex vitality analysis, complex of statistical data analysis.*

*According to the morphometry results, the typical size characteristics of *A. europaeum* plants in each growing area were determined. It is shown that the main feature of the ontogenetic spectra of *A. europaeum* in areas differing in the frequency of anthropogenic influence is incompleteness. Summarizing ontogenetic indices shows that in all plots, except for plot №3, the values of the generativity indices exceed the renewability indices. The morphometry results established the highest indices of reproducibility on site No. 3.*

*The share of virgin plants is the largest in the old forest plot №3 – 31.82%, young generative plants – in the old forest plot No. 4 and is 40%. To assess vitality working with factor analysis, we determined critical morphoparameters for each population separately. A high level of generativity is observed in coenopopulations in areas where forestry activity is present. 67% of the populations of representatives of *A. europaeum* belong to the intermediate class of vitality b. The population in the primeval forest has a high level of regeneration, and the relative shares of plants according to the vitality class were divided equally between the three classes and are 0.3333. In plot №1, the largest share of plants belongs to the c-class of vitality and is 0.5, while in plots №4 and №5 the intermediate class of vitality dominates with indicators of 0.6364 and 0.4545, respectively.*

*Based on the research on the example of *A. europaeum*, it can be concluded that forestry operations significantly disturb the grass layer of forest ecosystems and reduce the quality of populations. According to the study results, the need for further study of populations was noted to obtain a full assessment of the consequences of forestry use in the Göttingen Forest.*

Key words: population analysis, beech forest, vitality analysis, *Asarum europaeum* L., ontogenetic structure.

НОТАТКИ