

ВІСНИК СУМСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО АГРАРНОГО УНІВЕРСИТЕТУ

НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ

Виходить 4 рази на рік.

Серія «Агрономія і біологія»
Випуск 4 (46), 2021

ЗМІСТ

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)	
Сопотлієва 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, м. Суми, 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 Сумського національного аграрного університету, (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)	
Димитров С. Г., Саблук В. Т. Зростання накопичення сухої біомаси злакових біоенергетичних культур за мікоризації їх кореневої системи.....	3
Заболотна А. В., Заболотний О. І., Розборська Л. В., Жиляк І. Д., Даценко А. А. Вміст пігментів і чиста продуктивність фотосинтезу кукурудзи за використання регуляторів росту рослин.....	9
Кравченко А. І. Вирощування та перспективи селекційного поліпшення вівса голозерного в Україні.....	16
Куриленко А. О., Куриленко О. В., Кучменко О. Б., Гавій В. М. Вплив передпосівної обробки насіння композиціями метаболічно активних речовин на морфометричні показники озимого жита в умовах півдня Полісся України.....	25
Малярчук М. П., Грановська Л. М., Писаренко П. В., Малярчук А. С., Томницький А. В. Продуктивність просапної сівозміни за різних систем основного обробітку й удобрення в умовах зрошення півдня України.....	33
Мельник А. В., Товстуха О. В., Мельник Т. І., Кременецька Є. О., Троцька С. С. Динаміка копитних тварин за сучасного антропогенного навантаження в лісомисливських господарствах Сумської області.....	42
Небаба К. С. Загальний і активний симбіотичний потенціал гороху посівного залежно від технологічних прийомів в умовах Лісостепу західного.....	49
Радченко М. В., Пшиченко О. І. Вплив сорту та мінерального живлення на ріст і розвиток ячменю ярого в умовах північно східної частини Лісостепу України.....	55
Рибальченко А. М. Прояв гетерозису та ступеня фенотипового домінування за елементами продуктивності та тривалістю періоду вегетації у F ₁ сої.....	62
Толочик І. Л. Сучасний стан флори р. Стир.....	68
Li Fang, Wang Xinfa, Dubovyk Volodymyr, Liu Runqiang. Rapid electrochemical detection of carbendazim in vegetables based on carboxyl functionalized multi-walled carbon nanotubes.....	76
Liu Shunxiao, Vlasenko V. A. Field control effect of 10 insecticides on <i>Bemisia tabaci</i> in greenhouse tomatoes in China.....	83
Fu Yuanzhi, Trotsenko V. I. Ways of the cadmium accumulation monitoring in sunflower and other crops: overview.....	89
Yan Tengfei, Kremenetska Ye. O., Wan Shibin, Hu Qiang, He Songlin. Soil chemical properties and phytodiversity of riparian forest land near Nanwan lake.....	97



Мельничук С. Д., д.б.н., професор,
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, м. Суми, (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, м. Миколаїв (Україна)

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

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

Ярощук 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
Міжнародних наукометричних базах
Index Copernicus, PИHЦ

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 № 6 від 20.12.2021 р.)

Видавництво і друкарня –
Видавничий дім «Гельветика»
65101, Україна, м. Одеса,
вул. Інглезі, 6/1
Телефони: +38 (048) 709 38 69,
+38 (095) 934-48-28,
+38 (097) 723-06-08
E-mail: mailbox@helvetica.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої
справи ДК № 6424 від 04.10.2018 р.

Тираж 300 пр.
Зам. № 0122/023

© Сумський національний
аграрний університет, 2021

ЗРОСТАННЯ НАКОПИЧЕННЯ СУХОЇ БІОМАСИ ЗЛАКОВИХ БІОЕНЕРГЕТИЧНИХ КУЛЬТУР ЗА МІКОРИЗАЦІЇ ЇХ КОРЕНЕВОЇ СИСТЕМИ

Димитров Сергій Георгійович

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

Саблук Василь Трохимович

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

*Метою даної статті є встановлення впливу мікоризації кореневої системи злакових біоенергетичних культур – міскантусу гігантського і проса прутноподібного на зростання накопичення сухої біомаси. За даними досліджень встановили, що використання везикулярно-арбускулярних грибів *Tuber melanosporum* VITTAD. і *Trichoderma harzianum* RIFAI (препарати Мікофренд і Міковітал) та бактерій *Bacillus subtilis* Cohn. (препарат Флоробацилін) за передпосівного їх внесення сприяє істотному зростанню накопичення сухої біомаси рослин злакових біоенергетичних культур, таких як просо прутноподібне (*Panicum virgatum* L.) і міскантус гігантський (*Miscanthus × giganteus*). Зокрема, у варіантах з препаратом Мікофренд (гриб *Trichoderma harzianum* RIFAI) врожайність сухої біомаси рослин проса прутноподібного становила 10,57 т/га, що на 29,3 % більше ніж у контролі. У варіантах з препаратами Флоробацилін (бактерії *Bacillus subtilis* Cohn.) і Міковітал (гриб *Tuber melanosporum* VITTAD.) ці показники були відповідно на 13,1 і 22,8 % більшими за контрольні. Урожайність сухої біомаси рослин міскантусу гігантського у варіантах з препаратом Мікофренд (гриб *Trichoderma harzianum* RIFAI) становила 34,9 т/га, що на 21,0 % більше ніж у контролі. У варіантах з препаратами Флоробацилін (бактерії *Bacillus subtilis* Cohn.) і Міковітал (гриб *Tuber melanosporum* VITTAD.) ці показники були відповідно на 6,0 і 14,2 % більшими за контрольні. Висновки. Використання мікоризоутворювальних грибів і азотфіксуювальних бактерій за прикореневого їх внесення сприяє значному зростанню накопичення сухої біомаси рослин злакових біоенергетичних культур проса прутноподібного і міскантусу гігантського. У досліджах мікоризоутворювальних грибів і азотфіксуювальних бактерій за прикореневого їх внесення фотосинтетичний потенціал був більшим за контроль на 4,0–21,9 %. У досліджах мікоризоутворювальних грибів і азотфіксуювальних бактерій за прикореневого їх внесення чиста продуктивність фотосинтезу була більша за контроль на 3,6–22,0 %. У досліджах мікоризоутворювальних грибів і азотфіксуювальних бактерій за прикореневого їх внесення площа листової поверхні була більша за контроль на 4,2–19,0 %. У досліджах мікоризоутворювальних грибів і азотфіксуювальних бактерій за прикореневого їх внесення маса листків була більша за контроль на 7,8–28,6 %.*

Ключові слова: везикулярно-арбускулярні гриби, бактерії рослини, урожайність, препарати, прикореневе внесення.

DOI <https://doi.org/10.32845/agrobio.2021.4.1>

Вступ. Для України актуальним є пошук нетрадиційних відновлювальних джерел енергії, серед яких на особливу увагу заслуговують енергетичні рослини, які є головним абсорбентом вуглекислого газу, утворюють високі врожаї біомаси, яку можна було б використати на енергетичні цілі для виробництва біопалива (Yastremskaya et al., 2017).

Енергетичні культури – це рослини, які спеціально вирощуються для використання безпосередньо як паливо або для виробництва біопалива (Heletukha et al., 2014). Джерелом енергетичної сировини можуть бути як побічні продукти рослинного походження (солома, соняшникове лушпиння, стебла кукурудзи тощо), так і спеціально призначені для цього рослини – міскантус, світчграс (лозоподібне просо), верба, тополя (Roik et al., 2013; Ivakhiv, 2012; Fuchylo, 2009; Shumnyi, 2010).

Надходження рослинної вторинної сировини нестабільне і носить сезонний характер, що негативно впливає на ефективність роботи заводів з виробництва твердого біопалива.

Тому особливої актуальності набуває вирощування нових видів високопродуктивних багаторічних енергетичних рослин, що дозволить щорічно одержувати необхідну кількість біомаси. Енергетичні рослини мають великий урожай і невеликі вимоги до вирощування. У перерахунку на еквівалент енергії витрати на вирощування таких культур значно менші, ніж вартість енергоносіїв, отриманих від традиційних джерел.

Однією з енергетичних рослин є деревоподібна трава міскантус. За кордоном активно ведуться дослідження з можливості її широкого використання для виробництва біопалива.

Різні види і сорти цієї культури пристосовані до різноманітних умов вирощування. Види роду міскантус характеризуються високим урожаєм, морозостійкістю та швидким ростом. Після одноразової посадки культуру можна збирати щорічно протягом 15–20 років як з мінімальною врожайністю порядку 10–15 сух. т/га, так і з максимальною до 25–35 сух. т/га (Heletukha et al., 2014).

Міскантус стійкий до хвороб, тому хімічний захист не потрібний. У перший рік вирощування здійснюється механічне прополювання в міжряддях. Вимоги до добрив у міскантусу відносно невисокі. З урожаєм 20 т сухої маси з 1 га міскантус виносить близько 60 кг N, 16 кг P₂O₅, 80 кг K₂O за помірного рівня удобрення (Romanchuk et al., 2014; Taranenko et al., 2019).

Високі врожаї міскантусу можуть бути отримані на різних типах ґрунту – від піщаних до високородючих. Оптимальний показник рН перебуває в межах 5,5–7,5, хоча він стійкий до широкого діапазону кислотності ґрунтів. Міскантус добре росте за температури ґрунту вище 6°C, тому потенційний сільськогосподарський сезон значно більший, ніж для інших культур (Romanchuk et al., 2014).

Завдяки низьким експлуатаційним витратам та високій тривалості життя види роду *Miscanthus* можуть збагатити асортимент енергетичних культур України. Можливе розроблення ресурсозберігаючих технологій завдяки перероблянню стебел міскантусу гігантеуса на біопаливо, целюлозовмісну продукцію для целюлозно-паперової, фармацевтичної, деревопереробної та інших галузей промисловості (Tsyganov, & Klochkov, 2012; Barbash et al., 2012).

Рослинна біомаса енергетичної рослини *Miscanthus* є найбільш оптимальною у забезпеченні сталого розвитку сировинної бази в Україні. Головна перевага такого виду енергетичної культури перед іншими – щорічний вихід 15–25 т сухої біомаси з 1 га протягом двадцяти років.

Свічграс, або просо прутіподібне (*Panicum virgatum* L.), – теплолюбна рослина, маловибаглива до ґрунтів. За тривалістю життя це багаторічна рослина (до 10–15 років) зі сталою врожайністю біомаси після 3 років вегетації. Врожайність сухої біомаси може сягати на малородючих ґрунтах до 6–10 т/га, а на родючих – до 25 т/га і більше (Zhang, 2020).

Просо прутіподібне в певних регіонах і країнах застосовується для стримування ерозійних процесів. Проте найбільша цінність біомаси цієї культури – виробництво біопалива у вигляді пелетів, брикетів та виробництво лігноцелюлозного етанолу (Mazur et al., 2017).

Технологія вирощування свічграсу для різних природно-кліматичних зон України повністю не вивчена. Додаткового вивчення потребує обґрунтування вибору способу сіяння, а саме ширини міжрядь. Як показали проведені у попередні роки дослідження, у разі вузької ширини міжрядь покращується акумулятивність води атмосферних опадів весняного і літнього періодів, зменшується забур'яненість у перші роки життя і відповідно зростає врожайність його біомаси у перші роки вегетації. У наступні роки прослідковується затінення рослин, внутривидовий антагонізм і продуктивність рослин поступається посівам з більш широкими (30–45 см) міжряддями (Kulyk, 2012; Roik, 2011).

Матеріали і методи досліджень. Дослідження проводили в Інституті біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН України в умовах Веселоподільської дослідно-селекційної станції (ВПДСС), яка знаходиться на Лівобережжі Дніпра в зоні типового Лісостепу. Ґрунтовий покрив відзначається строкатістю – переважають чорноземи солонцюваті та слабосолонцюваті.

Для дослідів використовували гриби везикулярно-арбускулярної мікоризації *Tuber melanosporum* Vittad. (препарат Міковітал) та *Trichoderma harzianum* RIFA1 (препарат Мікофренд) і бактерії *Bacillus subtilis* Cohn. (препарат Флоробацилін).

Досліди проводили у 4-кратній повторності, площа дослідних ділянок 25 м². У відповідності до програми дослідження визначали обводненість листків через визначення їх маси на 30, 60, 90 і 120 дні їх вегетації, масу кореневої системи, площу листового апарату, продуктивність фотосинтезу за загальноприйнятими методиками (Ermantraut et al., 2014).

Препарати з мікоризоутворювальними грибами і азотфіксувальними бактеріями (Мікофренд, Флоробацилін і Міковітал) вносили у ранньовесняний період (квітень) у прикореневу частину ґрунту на глибину 10–12 см за допомогою спеціального пристрою у нормі витрат 5 л/га, розчиненого у 250–300 л води.

Урожайність сухої біомаси рослин злакових біоенергетичних культур визначали після досягнення ними технологічної стиглості і скошування всіх рослин, на ділянці їх висушували у природних умовах до вологості 30 % і зважували у полі за допомогою амбарних ваг.

Результати. Зокрема, з даних на рис. 1 видно, що у варіантах з мікоризоутворювальними грибами і азотфіксуючими бактеріями врожайність сухої біомаси рослин проса прутіподібного відповідно на 1,87–2,40 т/га, або на 22,8–29,3 %, а міскантусу гігантського на 1,73–6,05 т/га, або на 6,0–21,0 %, більша ніж у контролі.

Використання мікоризоутворювальних грибів *Tuber melanosporum* Vittad. та *Trichoderma harzianum* RIFA1 і азотфіксуючих бактерій *Bacillus subtilis* Cohn. для їх симбіозу з кореневою системою злакових біоенергетичних культур міскантус гігантський (*Miscanthus giganteus*) і просо прутіподібне (*Panicum virgatum* L.) сприяє покращенню росту та розвитку рослин і підвищенню продуктивності.

Зокрема, як свідчать дані рис. 2, обводненість листків цих культур через визначення їх сухої маси у всіх варіантах досліді була на 8,1–28,6 % більшою ніж у контролі.

Так само на 5,5–30,1 % більшою порівняно з контролем є маса кореневої системи (рис. 3).

У варіантах з біопрепаратами площа листової поверхні перевищувала показники контролю на 6,9–19,0 % (рис. 4).

За використання грибів і бактерій продуктивність фотосинтезу рослин міскантусу гігантського і проса прутіподібного була більшою за контроль на 3,6–22,0 % (рис. 5).

Таким чином, симбіоз грибів і бактерій з кореневою системою рослин міскантусу гігантського та проса прутіподібного сприяє покращенню елементів росту та розвитку рослин, завдяки чому зростає врожайність сухої біомаси цих культур.

Обговорення. Зростання накопичення сухої біомаси рослин злакових біоенергетичних культур відбувається за рахунок покращення показників росту і розвитку рослин у варіантах з використанням мікоризоутворювальних грибів і азотфіксуючих бактерій (Durczak, 2018; Kulyk, 2018). Зокрема, у дослі-

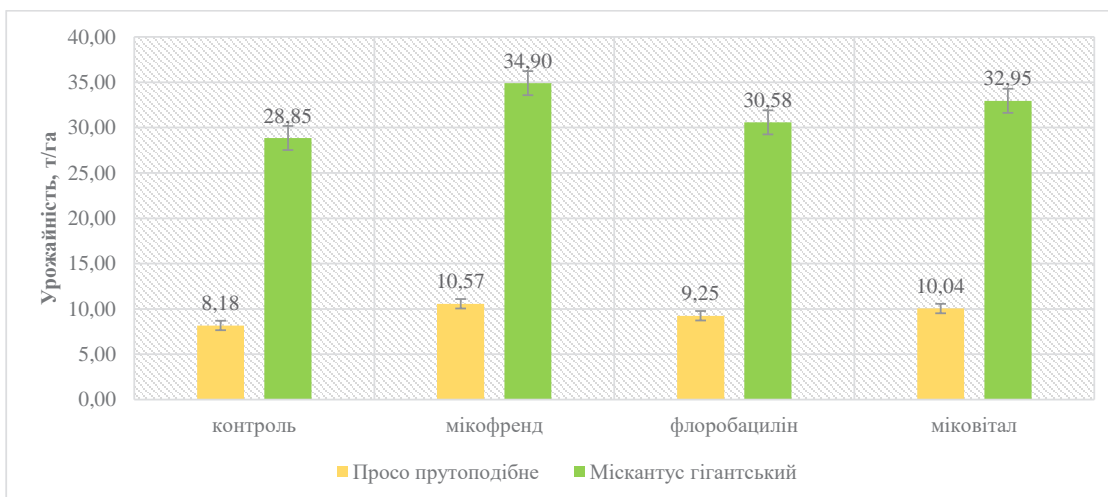


Рис. 1. Урожайність сухої біомаси рослин міскантусу гігантського та проса прутіоподібного залежно від мікоризації їх кореневої системи та симбіозу з бактеріями, (ВПДСС), 2017–2021 рр.

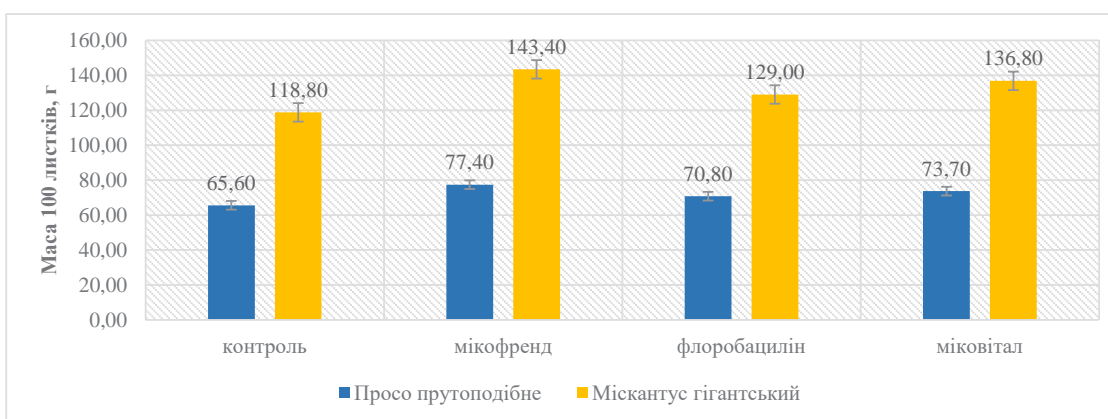


Рис. 2. Маса листків міскантусу гігантського і проса прутіоподібного залежно від мікоризації їх кореневої системи грибами і симбіозу з бактеріями, ВПДСС, 2017–2021 рр.

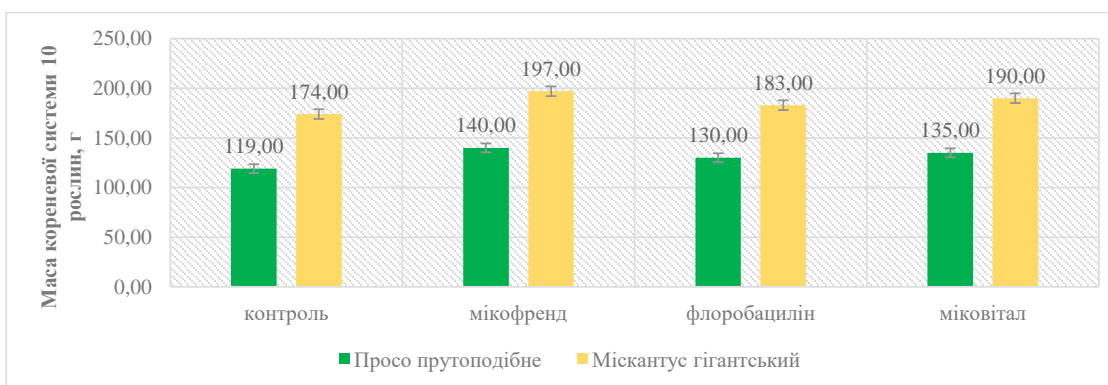


Рис. 3. Маса кореневої системи рослин міскантусу гігантського і проса прутіоподібного залежно від мікоризації їх кореневої системи грибами і симбіозу з бактеріями, ВПДСС, 2017–2021 рр.

дах маса кореневої системи була більшою за контроль на 6,0–29,3 % і такі ж результати отримані іншими вченими (Battaglia, 2019; Shepherd, 2020; Dubis, 2020; Ouattara, 2020). Крім того, значно кращими порівняно з контролем були продуктивність фотосинтезу на 3,6–22,0 %, що підтверджуються іншими вченими (Ambavaram, 2018;

Lin, 2021; Zhang, 2020; Taranenko, 2019), площа листової поверхні на 4,2–19,0 % (Gołab-Bogacz, 2020; Guan, 2020, Baute, 2018) та маса листків на 7,8–28,6 % (Szulczewski, 2018; Tejera, 2019). Що і послужило основою підвищення продуктивності цих культур.

Висновки. Використання мікоризоутворюваль-

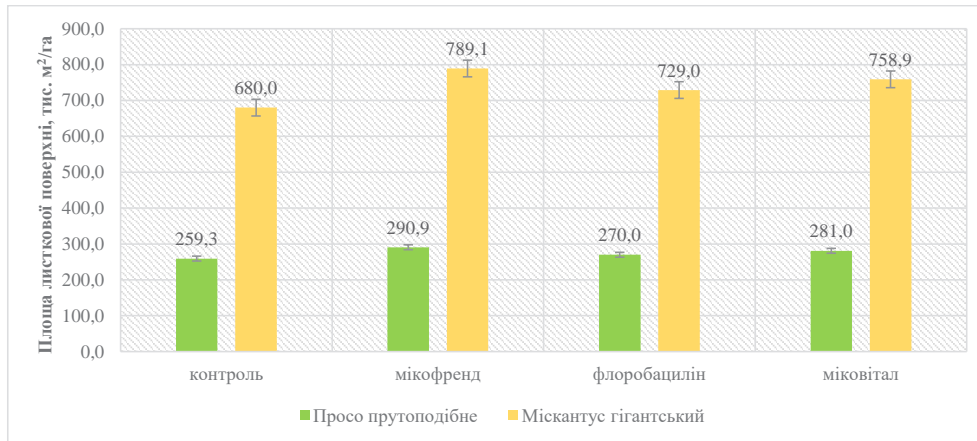


Рис. 4. Площа листової поверхні рослин міскантусу гігантського і проса прутюподібного залежно від мікоризації їх кореневої системи грибами і симбіозу з бактеріями, ВПДСС, 2017–2021 рр.

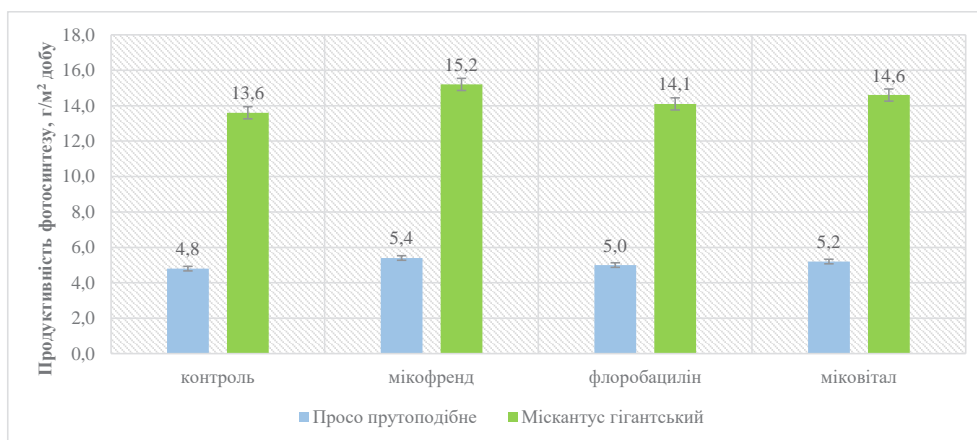


Рис. 5. Продуктивність фотосинтезу рослин міскантусу гігантського і проса прутюподібного залежно від мікоризації їх кореневої системи грибами і симбіозу з бактеріями, ВПДСС, 2017–2021 рр.

них грибів і азотфіксуючих бактерій за прикореневого їх внесення сприяє значному зростанню накопичення сухої біомаси рослин злакових біо-

нергетичних культур проса прутюподібного і міскантусу гігантського.

Бібліографічні посилання:

1. Ambavaram, M.M., Ali, A., Ryan, K.P., Peoples, O., Snell, K.D., & Somleva, M.N. (2018). Novel transcription factors PvBMY1 and PvBMY3 increase biomass yield in greenhouse-grown switchgrass (*Panicum virgatum* L.). *Plant Science*, 273, 100–109. doi: 10.1016/j.plantsci.2018.04.003.
2. Barbash, V.A., Zinchenko, V.O., & Trembus, I.V. (2012). Resursozberihaiuchi tekhnologii pereroblennia stebel miskantusa [Resource-saving technologies for processing miscanthus stems]. *Naukovi visti NTUU "KPI"*, 5, 118–123 (in Ukrainian).
3. Battaglia, M., Fike, J., Fike, W., Sadeghpour, A., & Diatta, A. (2019). *Miscanthus × giganteus* biomass yield and quality in the Virginia Piedmont. *Grassland Science*, 65(4), 233–240. doi: 10.1111/grs.12237.
4. Baute, K., Van Eerd, L.L., Robinson, D.E., Sikkema, P.H., Mushtaq, M., & Gilroyed, B.H. (2018). Comparing the Biomass Yield and Biogas Potential of *Phragmites australis* with *Miscanthus × giganteus* and *Panicum virgatum* Grown in Canada. *Energies*, 11(9), 2198. doi: 10.3390/en11092198.
5. Dubis, B., Jankowski, K.J., Załuski, D., & Sokólski, M. (2020). The effect of sewage sludge fertilization on the biomass yield of giant miscanthus and the energy balance of the production process. *Energy*, 206, 118189. doi: 10.1016/j.energy.2020.118189.
6. Durczak, K., Adamski, M., Mitkowski, P.T., Szaferki, W., Gulewicz, P., & Majtkowski, W. (2018). Chemical processing of switchgrass (*Panicum virgatum*) and grass mixtures in terms of biogas yield in Poland. In *Practical Aspects of Chemical Engineering*. Springer, Cham. 85–99. doi: 10.1007/978-3-319-73978-6_6.
7. Ermantraut, E.R., Hoptsi, T.I., Kalenska, S.M., Kryvoruchko, R.V., Turchynova, N.P., & Prysiazhniuk, O.I. (2014). *Metodyka selektsiinoho eksperymentu (v roslynnytstvi)* [Methods of selection experiment (in crop production)]. *KhNAU, Kharkiv*, 229 (in Ukrainian).

8. Gołąb-Bogacz, I., Helios, W., Kotecki, A., Kozak, M., & Jama-Rodzeńska, A. (2020). The influence of three years of supplemental nitrogen on above- and belowground biomass partitioning in a decade-old *Miscanthus × giganteus* in the Lower Silesian Voivodeship (Poland). *Agriculture*, 10(10), 473. doi: 10.3390/agriculture10100473.
9. Guan, C., Li, X., Tian, D.Y., Liu, H.Y., Cen, H.F., Tadege, M., & Zhang, Y.W. (2020). ADP-ribosylation factors improve biomass yield and salinity tolerance in transgenic switchgrass (*Panicum virgatum* L.). *Plant Cell Reports*, 39(12), 1623–1638. doi: 10.1007/s00299-020-02589-x.
10. Heletukha, H.H., Zheliezna, T.A., & Tryboi, O.V. (2014). Perspektyvy vyroshchuvannia ta vykorystannia enerhetychnykh kultur v Ukraini [Prospects for growing and using energy crops in Ukraine]. UAB analytical note. No. 10. Bioenerhetychna asotsiatsiia Ukrainy, Kyiv, 33. Retrieved from <http://uabio.org/img/files/docs/position-paper-uabio-10-ua.pdf> (in Ukrainian).
11. Heletukha, H.H., Zheliezna, T.A., Kucheruk, P.P., & Oliinyk, Ye.M. (2014). Suchasnyi stan ta perspektyvy rozvytku bioenerhetyky v Ukraini [Current state and prospects of bioenergy development in Ukraine]. UAB analytical note. No. 9. Bioenerhetychna asotsiatsiia Ukrainy, Kyiv, 32. Retrieved from: <http://uabio.org/img/files/docs/position-paper-uabio-9-ua.pdf> (in Ukrainian).
12. Ivakhiv, V. (2012). Enerhetychna verba yak rishennia dlia malykh mist Ukrainy [Energy willow as a solution for small towns of Ukraine]. *Ukrainska enerhetyka*. Retrieved from: <http://ua-energy.org/post/27476> (in Ukrainian).
13. Khivrych, O.B., Kvak, V.M., Kaskiv, V.V., Mamaisur, V.V., & Makarenko, A.S. (2011). Enerhetychni roslyny yak alternatyva tradytsiinym vydam palyva [Energy plants as an alternative to traditional fuels]. *Ahrobiolohiia*, 6, 153–157 (in Ukrainian).
14. Kulyk, M., Rozhko, I., Kurylo, V., Bulgakov, V., Ivanovs, S., & Adamovics, A. (2018). Impact of the soil and climate conditions on the formation of the crop yield and germinating power of the switchgrass (*Panicum virgatum* L.) seeds. *Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering*, 63(4), 101–105.
15. Kulyk, M.I. (2012). Vplyv umov vyroshchuvannia na kilkisni pokaznyky roslyn svitchhrasu (*Panicum virgatum* L.) pershoho roku vechetatsii [The influence of growing conditions on the quantitative parameters of switchgrass (*Panicum virgatum* L.) in the first vegetation year]. *Visnyk Poltavskoi derzhavnoi ahrarnoi akademii*, 3, 62–67. doi: 10.31210/visnyk2012.03.12 (in Ukrainian).
16. Kulyk, M.I., Rakhmetov, D.B., Rozhko, I.I., & Syplyva, N.O. (2019). The study of the varietal specimens of switchgrass (*Panicum virgatum* L.) on a complex of useful signs in the Central Forest-Steppe of Ukraine conditions. *Plant Varieties Studying and Protection*, 15(4), 354–364. doi: 10.21498/2518-1017.15.4.2019.188549 (in Ukrainian).
17. Lin, C.Y., Donohoe, B.S., Bomble, Y.J., Yang, H., Yunes, M., Sarai, N.S. & Himmel, M.E. (2021). Iron incorporation both intra- and extra-cellularly improves the yield and saccharification of switchgrass (*Panicum virgatum* L.) biomass. *Biotechnology for Biofuels*, 14(1), 1–15. doi: 10.1186/s13068-021-01891-4.
18. Mazur, V.A., Branitskyi, Yu.Yu., & Polishchuk, I.S. (2017). Osoblyvosti vyroshchuvannia prosa lozovydnoho v umovakh Lisostepu Pravoberezhnoho [Features of growing millet vine in the Forest-Steppe right-bank]. *Zbirnyk naukovykh prats VNAU. Silske hospodarstvo ta lisivnytstvo*, 7, 19–26 (in Ukrainian).
19. Ouattara, M.S., Laurent, A., Barbu, C., Berthou, M., Borujerdi, E., Butier, A. & Loyce, C. (2020). Effects of several establishment modes of *Miscanthus × giganteus* and *Miscanthus sinensis* on yields and yield trends. *GCB Bioenergy*, 12(7), 524–538. doi: 10.1111/gcbb.12692.
20. Roik, M.V., Humentyk, M.Ya., & Mamaisur, V.V. (2013). Perspektyvy vyroshchuvannia enerhetychnoi verby dlia vyrobnytstva tverdoho biopalyva [Prospects for growing energy willow for the production of solid biofuels]. *Bioenerhetyka*, 2, 18–19 (in Ukrainian).
21. Roik, M.V., Sinchenko, V.M., Ivashchenko, O.O., Pyrkin, V.I., Kvak, V.M., Humentyk, M.Ya. & Katelevskiy, V.M. (2019). Miskantus v Ukraini [Miscanthus in Ukraine]. FOP Yamchynskiy O.V., Kyiv, 256 (in Ukrainian).
22. Romanchuk, L.D., Zinchenko, V.O., & Vasyliuk, T.P. (2014). Osoblyvosti vyroshchuvannia enerhetychnykh kultur v umovakh Polissia Ukrainy [Features of growing energy crops in Polissia of Ukraine]. In O. V. Skydan (Ed.), *Perspektyvy rozvytku alternatyvnoi enerhetyky na Polissi Ukrainy* [Prospects for the development of alternative energy in Polissia of Ukraine]. *Tsentr uchbovoi literatury*, Kyiv, 81–111 (in Ukrainian).
23. Shepherd, A., Littleton, E., Clifton-Brown, J., Martin, M., & Hastings, A. (2020). Projections of global and UK bioenergy potential from *Miscanthus × giganteus* – Feedstock yield, carbon cycling and electricity generation in the 21st century. *GCB Bioenergy*, 12(4), 287–305. doi: 10.1111/gcbb.12671.
24. Szulczewski, W., Żyromski, A., Jakubowski, W., & Biniak-Pieróg, M. (2018). A new method for the estimation of biomass yield of giant miscanthus (*Miscanthus giganteus*) in the course of vegetation. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82(2), 1787–1795. doi: 10.1016/j.rser.2017.07.057.
25. Taranenko, A., Kulyk, M., Galytska, M., & Taranenko, S. (2019). Effect of cultivation technology on switchgrass (*Panicum virgatum* L.) productivity in marginal lands in Ukraine. *Acta Agrobotanica*, 72(3), 1786. doi: 10.5586/aa.1786.
26. Tejera, M., Boersma, N., Vanlooocke, A., Archontoulis, S., Dixon, P., Miguez, F., & Heaton, E. (2019). Multi-year and multi-site establishment of the perennial biomass crop *Miscanthus × giganteus* using a staggered start design to elucidate N response. *BioEnergy Research*, 12(3), 471–483. doi: 10.1007/s12155-019-09985-6.
27. Tsyganov, A.R., & Klochkov, A.V. (2012). Bioenergetika: energeticheskie vozmozhnosti biomassy [Bioenergy: the energy potential of biomass]. *Belarusskaya nauka*, Minsk, 143 (in Russian).
28. von Cossel, M., Mangold, A., Iqbal, Y., Hartung, J., Lewandowski, I., & Kiesel, A. (2019). How to generate yield in the first year – A three-year experiment on miscanthus (*Miscanthus × giganteus* (Greef et Deuter)) establishment under maize (*Zea mays* L.). *Agronomy*, 9(5), 237. doi: 10.3390/agronomy9050237.

29. Yastremskaya, L.S., Pryshlyak, R.I., & Fedonyuk, Y.V. (2017). Miscantus – enerhetychna kultura dlia otrymannia biopalyva [Miscantus – energy culture for the production of biofuel]. *Problemy ekolohichnoi biotekhnolohii*, 1. doi: 10.18372/2306-6407.1.11665 (in Ukrainian).

30. Zhang, B., Hastings, A., Clifton-Brown, J. C., Jiang, D., & Faaij, A.P. (2020). Modeled spatial assessment of biomass productivity and technical potential of *Miscanthus × giganteus*, *Panicum virgatum* L., and *Jatropha* on marginal land in China. *GCB Bioenergy*, 12(5), 328–345. doi: 10.1111/gcbb.12673.

31. Zhang, J., Wen, W., Li, H., Lu, Q., Xu, B., & Huang, B. (2020). Overexpression of an aquaporin gene *PvPIP2; 9* improved biomass yield, protein content, drought tolerance and water use efficiency in switchgrass (*Panicum virgatum* L.). *GCB Bioenergy*, 12(11), 979–991. doi: 10.1111/gcbb.12751.

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

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

Increase in the accumulation of dry biomass of cereal bioenergy cultures with mycorrhization of their root system

Purpose. To find out the effect of mycorrhization of the root system of cereal bioenergy crops – giant miscanthus and switchgrass – on the accumulation of dry biomass. *Methods.* Field, laboratory, and statistical. *Results.* According to the research data, application of vesicular-arbuscular fungi *Tuber melanosporum* VITTAD. and *Trichoderma harzianum* RIFAI (biological products *Mycofriend* and *Mikovital*) and *Bacillus subtilis* Cohn. (biological product *Florobacillin*) for seed treatment contributes to a significant increase in the accumulation of dry biomass in cereal bioenergy crops, such as switchgrass (*Panicum virgatum* L.) and giant miscanthus (*Miscanthus × giganteus*). In particular, in the treatments with *Mycofriend* (fungus *Trichoderma harzianum* RIFAI), the yield of dry biomass in switchgrass was 10.57 t/ha, which is 29.3 % higher than in the control. In the treatments with *Florobacillin* (bacteria *Bacillus subtilis* Cohn.) and *Mikovital* (fungus *Tuber melanosporum* VITTAD.), the yield was higher by 13.1 t/ha (22.8 %) than in the control. The yield of dry biomass of giant miscanthus in the treatments with *Mycofriend* (*Trichoderma harzianum* RIFAI) was 34.9 t/ha, which is 21.0 % higher than in the control. In the treatments with *Florobacillin* (bacteria *Bacillus subtilis* Cohn.) and *Mikovital* (fungus *Tuber melanosporum* VITTAD.), the yield was by 6.0 t/ha (14.2 %) higher than in the control. *Conclusions.* Root application of mycorrhizal fungi and nitrogen-fixing bacteria contributes to a significant increase in the accumulation of dry biomass of cereal bioenergy crops – switchgrass and giant miscanthus. In the experiments with root application of mycorrhizal fungi and nitrogen-fixing bacteria, the photosynthetic potential was 4.0–21.9 % higher than in the control. In the experiments with root application of mycorrhizal fungi and nitrogen-fixing bacteria, the net productivity of photosynthesis was 3.6–22.0 % higher than the control. In the experiments with root application of mycorrhizal fungi and nitrogen-fixing bacteria, the leaf area was 4.2–19.0 % higher than in the control. In the experiments with root application of mycorrhizal fungi and nitrogen-fixing bacteria, the mass of leaves was 7.8–28.6 % than in control.

Key words: vesicular-arbuscular fungi, plant bacteria, yield, biological products, root application.

Дата надходження до редакції 03.12.2021 р.

ВМІСТ ПІГМЕНТІВ І ЧИСТА ПРОДУКТИВНІСТЬ ФОТОСИНТЕЗУ КУКУРУДЗИ ЗА ВИКОРИСТАННЯ РЕГУЛЯТОРІВ РОСТУ РОСЛИН

Заболотна Альона Вадимівна

кандидат сільськогосподарських наук
Уманський державний педагогічний університет імені Павла Тичини, м. Умань, Україна
ORCID: 0000-0002-1634-3273
z.alona@ukr.net

Заболотний Олександр Іванович

кандидат сільськогосподарських наук
Уманський національний університет садівництва, м. Умань, Україна
ORCID: 0000-0003-0069-1617
aleks.zabolotnyi@gmail.com

Розборська Лариса Василівна

кандидат сільськогосподарських наук
Уманський національний університет садівництва, м. Умань, Україна
ORCID: 0000-0003-2002-6438
lor1970a@gmail.com

Жиляк Іван Дмитрович

кандидат хімічних наук
Уманський національний університет садівництва, м. Умань, Україна
ORCID: 0000-00034093-4177
zhilyak@i.ua

Даценко Анна Андріївна,

кандидат сільськогосподарських наук
Уманський національний університет садівництва, м. Умань, Україна
ORCID: 0000-0001-6885-836X
adatsienko3@gmail.com

У статті приведено результати досліджень щодо впливу обробки насіння кукурудзи регуляторами росту рослин природного походження на такі показники фотосинтетичної продуктивності рослин кукурудзи, як вміст фотосинтетичних пігментів і чиста продуктивність фотосинтезу.

Встановлено, що застосування передпосівної обробки насіння кукурудзи PPP сприяло зростанню вмісту хлорофілів a та b , їх суми та вмісту каротиноїдів від 6 до 20% залежно від пігменту та регулятора росту. Відношення хлорофілів a/b коливалося у межах від 3,19 до 3,25.

Визначення відношення хлорофілів a/b показало, що за роки досліджень у дослідних варіантах воно було неістотно нижчим порівняно з контрольним варіантом і коливалося у дослідних варіантах залежно від виду регулятора у межах від 3,19 до 3,25 рази (зниження відносно контролю становило 2–4%).

Визначення відношення суми хлорофілів $(a+b)$ /каротиноїди показало, що цей показник у дослідних варіантах знижувався до 5,70–6,11 (до 8%) порівняно з контрольним варіантом, де відношення становило 6,15 рази.

Виходячи з отриманих даних щодо відношення хлорофілів a/b та суми хлорофілів $(a+b)$ до каротиноїдів, можна стверджувати, що ці показники свідчать про сприятливі умови, які склалися у варіантах дослідів за обробки насіння регуляторами росту рослин, оскільки відношення хлорофілів a/b порівняно з контрольним варіантом майже не змінювалося, а відношення суми хлорофілів $(a+b)$ до каротиноїдів проти контрольного варіанту знизилось.

Аналіз отриманих експериментальних даних також продемонстрував, що зміна величини показника чистої продуктивності фотосинтезу у дослідних варіантах відбувалася прямо пропорційно до зміни вмісту фотосинтетичних пігментів. Так, за обробки насіння кукурудзи перед сівбою PPP Біосил (20 мл/т) показник ЧПФ, порівняно з контролем зріс на 4%, тоді як за використання Біолану (50 мл/т) – на 11%. Більш ефективним стосовно чистої продуктивності фотосинтезу рослин кукурудзи виявилось застосування Регопланту (200 мл/т) та Зеастимуліну (20 мл/т). У цих варіантах дослідів показник ЧПФ перевищував результати, отримані у контрольному варіанті, на 17 і 16% відповідно до виду PPP.

Виконання регресійного аналізу виявило тісний кореляційний зв'язок ($r^2=0,97$) між показником ЧПФ вмістом суми хлорофілів $(a+b)$ у листках кукурудзи, що описується рівнянням регресії: $y = 2,477x - 2,3181$.

Ключові слова: кукурудза, регулятор, пігменти, хлорофіл, каротиноїди, відношення, продуктивність, фотосинтез, кореляція.

DOI <https://doi.org/10.32845/agrobio.2021.4.2>

Вступ. На сучасному етапі розвитку аграрного виробництва виникає необхідність пошуку нових шляхів і способів підвищення продуктивності сільськогосподарських культур і якості їх продукції. Нині одним із елементів, спрямованих на досягнення цієї мети, є застосування екзогенних регуляторів росту рослин (Rohach & Rohach, 2015). За своєю природою PPP є аналогами фітогормонів або модифікаторами гормонального статусу рослин. Ці речовини володіють широким спектром впливу на рослини, здатні спрямовано впливати на мобілізацію потенційних можливостей рослинного організму, закладених у геномі природою та селекцією, а також коригувати донорно-акцепторні відношення у рослинному організмі внаслідок штучного перерозподілу потоків асимілятів до господарсько важливих органів (Rohach et al., 2020; Musatenko, 2009). Також беззаперечно важливим аспектом дії PPP на культурні рослини є підвищення стійкості останніх до несприятливих умов довкілля як природного, так і антропогенного характеру (Yavors'ka et al., 2006).

Останнім часом серед регуляторів росту дедалі більш актуальними стають стимулятори, а саме нативні фітогормони, їх синтетичні аналоги та композиційні препарати, які містять збалансований комплекс фіторегуляторів, біологічно активних речовин і мікроелементів, що активно включаються в обмін речовин і здатні у невеликих кількостях здійснювати вплив на ключові фізіолого-біохімічні процеси у рослині (Gaveliené et al., 2007; Anishyn et al., 2011; Khodanits'ka & Kuryata, 2014). Специфіка дії регуляторів росту полягає у тому, що вони здатні впливати на процеси, напрямок та інтенсивність яких неможливо скоригувати за допомогою агротехнічних заходів. Досягнення позитивного ефекту від застосування регуляторів росту можливе лише за оптимальної концентрації робочого розчину препарату, оскільки більшість біологічно активних речовин діють як стимулятори у низьких дозах, а у високих – як інгібітори (Kalytka & Yalokha, 2011).

Згідно із сучасним теоретичними уявленнями про механізми функціонування і взаємозв'язки донорно-акцепторної системи у рослині основними фізіолого-біохімічними процесами у рослинному організмі, від яких залежить забезпечення величини продукційного процесу, є інтенсивність процесів фотосинтезу, синтезу і транспорту метаболітів. Активація цих процесів, зокрема продуктивності фотосинтезу, сприяє підвищенню реалізації потенціалу рослин (Zayets' & Kysil', 2019; Vuyna et al., 2018), адже саме фотосинтез є основою біопродуктивності природних екосистем і формування величини врожаю польових культур (Rudnyk-Ivashchenko, 2009).

Перебіг процесу фотосинтезу зумовлюється особливостями фотосинтетичного апарату, який є ключовим показником, що свідчить про реакцію рослин на умови довкілля, зокрема на агротехнічні прийоми вирощування (Pyda et al., 2014). Головною запорукою продуктивної роботи фотосинтетичного апарату є зелені пігменти – хлорофіли *a* і *b*, що є чутливими індикаторами фізіологічного стану рослин і найважливішими компонентами фотосинтетичного апарату (Naviy et al., 2019). Зазначені

пігменти беруть безпосередню участь у формуванні структури фотосинтетичного апарату, відіграють важливе значення у фотохімічних реакціях, пов'язаних із поглинанням енергії сонячного світла та трансформації її в хімічну енергію органічних речовин, тобто є безпосередніми постачальниками енергії для фотосинтезуючих рослин (Shadchyna et al., 2006).

Динаміка вмісту пігментів у рослинному організмі характеризує потенційну потужність фотосинтетичного апарату впродовж вегетаційного періоду, є однією із провідних характеристик фотосинтетичної активності та продукційного процесу сільськогосподарських культур і, як генетично детермінована ознака, може змінюватися залежно від низки умов, у тому числі й агротехнічних заходів, зокрема застосування біологічно активних речовин (Kalytka & Karpenko, 2013; Scheer, 2004; Karpenko & Shutko, 2018; Palamarchuk, 2019; Kurylo et al., 2014).

Важливим показником асиміляційної діяльності посівів сільськогосподарських культур також є чиста продуктивність фотосинтезу, яка характеризує ефективність функціонування асиміляційної поверхні, відображає особливості нагромадження сухої біомаси рослинами та є важливою складовою частиною формування врожаю (Naviy & Pryplavko, 2019).

Дослідженнями з використання регуляторів росту рослин на різних культурах підтверджено позитивний вплив цих препаратів на підвищення показника ЧПФ (Kuryata et al., 2017; Kuryata & Khodanits'ka, 2012; Kuryata & Polyvanuy, 2015).

З огляду на вищенаведене, мета наших досліджень – встановити вплив передпосівної обробки насіння регуляторами росту рослин на формування деяких показників фотосинтетичної продуктивності рослин кукурудзи. Для досягнення поставленої мети передбачалося вирішити такі завдання:

- дослідити у листках кукурудзи інтенсивність накопичення основних фотосинтетичних пігментів – *a*, *b*, їх суми (*a+b*), каротиноїдів;
- встановити вплив досліджуваних препаратів на відношення *a/b*; (*a+b*)/ каротиноїди;
- з'ясувати дію регуляторів росту рослин на формування величини показника чистої продуктивності фотосинтезу рослин кукурудзи;
- виявити кореляційні зв'язки між показником ЧПФ та вмістом фотосинтетичних пігментів.

Матеріали і методи досліджень. Дослідження вмісту фотосинтетичних пігментів і чистої продуктивності фотосинтезу виконували на рослинах кукурудзи (*Zea mays* L.) гібриду Достаток 300 МВ (селекція Інституту фізіології рослин і генетики НАН України) у польових і лабораторних умовах кафедри біології Уманського національного університету садівництва впродовж 2018–2020 рр. Насіння кукурудзи за добу до сівби обробляли регуляторами росту рослин Біосил (50 мл/т), Біолан (20 мл/т), Регоплант (200 мл/т) та Зеастимулін (20 мл/т).

Дослід закладали систематичним методом із послідовним розміщенням варіантів у чотириразовому повторенні. Детальну схему досліду наведено у таблиці 1.

Норми регуляторів росту для обробки насіння кукурудзи розраховували, виходячи з норми витрати препаратів на 1 т насіння та потреби у насінні на дослідну ділянку. Обробку насіння виконували за допомогою протруювача ПНШ-3 «Фермер» П. Загальна площа однієї дослідної ділянки становила 32 м², облікова – 20 м².

Ґрунт досліді – чорнозем опідзолений малогумусний важкосуглинковий на лесі із вмістом в орному шарі гумусу 3,5%, рухомих сполук фосфору і калію (за методом Чирикова) – 88 і 132 мг/кг відповідно, азоту легкогідролізованих сполук (за методом Корнфілда) – 103 мг/кг, рН_{сол} – 6,2, гідролітична кислотність – 2,26 смоль/кг ґрунту (Poltoreskiy, 2017).

Екстрагування пігментів виконували шляхом розтирання наважки листків кукурудзи (100 мг) у фарфоровій ступці в охолодженому 96%-му етанолі у співвідношенні 1:10. Для нейтралізації середовища додавали сліди СаСО₃. Гомогенат (1 мл) центрифугували за 8 000 об/хв та температури 4°C протягом 5 хв на центрифугі. Отриманий осад промивали етанолом до повного знебарвлення та знову здійснювали центрифугування у попередньому режимі. Отримані екстракти об'єднували у кінцевий сумарний екстракт, що містив суму зелених і жовтих пігментів, і вже у ньому визначали вміст хлорофілу *a*, хлорофілу *b* та каротиноїдів за допомогою спектрофотометра Leki SS1104 за довжини хвилі, яка відповідає максимумам спектра поглинання досліджуваних пігментів у цьому розчиннику. Для хлорофілу *a* в 96 % етанолі максимум поглинання – 665 нм, для хлорофілу *b* – 649 нм. Каротиноїди визначали за довжини хвилі 441 нм. Розчином для порівняння був 96 % етанол (Bessonova, 2006).

Чисту продуктивність фотосинтезу вираховували за формулою: ЧПФ = $V_2 - V_1 / 0,5(L_1 + L_2) \times n$, де ЧПФ – чиста продуктивність фотосинтезу, г/м² за добу; V_1 і V_2 – суха маса рослин на початку й у кінці облікового періоду, г; L_1 , L_2 – площа листової поверхні на початку/кінці облікового періоду, м²; n – кількість днів між обліками (Hrytsayenko et al., 2003).

Результати. Головними фотосинтезуючими пігментами вищих рослин є хлорофіли *a* та *b*, оскільки продуктивність фотосинтетичного апарату тісно пов'язана з їх вмістом у фотосинтетичних органах, якими є листки рослин, а величина врожаю більше залежить від вмісту

пігментів, ніж від поверхні надземних органів. Роль хлорофілів у рослинному організмі зумовлено тим, що вони є фотосенсибілізаторами – речовинами, які поглинають і передають світлову енергію до реакційних центрів, де й відбуваються фотосинтетичні реакції (Katsan & Potopal's'kuu, 2006).

Нами встановлено, що застосування PPP з метою обробки насіння перед сівбою мало позитивний вплив на вміст фотосинтетичних пігментів у листках кукурудзи.

Зокрема, вміст хлорофілу *a* за обробки насіння кукурудзи перед сівбою Біосилом у середньому за роки досліджень зріс порівняно із контрольним варіантом на 4%, а за дії Біолану – на 6%. Більш ефективним виявилось застосування Регопланту та Зеастимуліну, у цих варіантах досліді вміст хлорофілу *a* порівняно із контролем підвищився відповідно на 13 та 11%.

Схожа тенденція простежувалася і за визначення вмісту хлорофілу *b*. Так, дещо нижча ефективність щодо підвищення вмісту хлорофілу *b* простежувалася за обробки насіння регуляторами росту рослин Біосил і Біолан – у цих варіантах досліді значення такого фотосинтетичного показника підвищилось порівняно з контролем у середньому за роки досліджень відповідно на 6 і 10%, тоді як використання Регопланту та Зеастимуліну мало більш позитивний вплив на вміст вмісту пігменту – перевищення відносно контролю становило відповідно 15 та 13%.

Щодо суми пігментів (*a+b*) у листках кукурудзи, то їх вміст за обробки насіння регуляторами росту перевищував контрольний варіант на 5–13% залежно від виду регулятора росту.

Щодо суми пігментів (*a+b*) у листках кукурудзи, то їх вміст за обробки насіння регуляторами росту перевищував контрольний варіант на 5–13% залежно від виду регулятора росту (табл. 1).

Поряд із зеленими пігментами важливу роль у фотосинтетичних процесах відіграють каротиноїди. Крім збирання й акумуляції світлової енергії, каротиноїди виконують функцію захисту хлорофілів і ліпідів, що входять до складу тилакоїдних мембран, від пошкоджень реактивними формами кисню, які виникають як побічні продукти фотосинтезу внаслідок тривалого збудженого стану хлорофілів, а також попередження виникнення таких станів шляхом розсіювання надлишку енергії збудження (Tyutyayev et al., 2015).

Таблиця 1

Вміст фотосинтетичних пігментів у листках кукурудзи за дії PPP (фаза викидання волоті, 2018–2020 рр.)

Варіант досліді	Вміст пігментів, мг/г сирової речовини					
	Хлорофіл <i>a</i>	Хлорофіл <i>b</i>	Сума хлорофілів (<i>a+b</i>)	Каротиноїди	<i>a/b</i>	(<i>a+b</i>)/каротиноїди
Контроль (обробка водою)	2,59	0,78	3,37	0,54	3,32	6,15
Біосил, 50 мл/т	2,70	0,83	3,53	0,58	3,25	6,10
Біолан, 20 мл/т	2,75	0,86	3,61	0,59	3,19	6,11
Регоплант 200 мл/т	2,92	0,90	3,82	0,65	3,24	5,70
Зеастимулін 20 мл/т	2,87	0,88	3,75	0,63	3,26	5,95
НІР ₀₅	0,06	0,02	0,08	0,05	0,05	0,15

У наших дослідженнях вміст каротиноїдів у різних варіантах досліду також різнився і залежав від обробки насіння тим чи іншим регулятором росту. Так, у середньому за роки досліджень за використання Біосилу порівняно із контрольним варіантом вміст каротиноїдів зріс на 7%, а у варіанті досліду із застосуванням Біолану – на 9%. Використання Регопланту сприяло зростанню вмісту до 20% порівняно з контрольним варіантом, що було найвищим показником серед усіх варіантів досліду. Дещо менш ефективним порівняно з Регоплантом виявилось застосування Зеастимуліну, тут вміст каротиноїдів зріс проти контролю на 16% (табл. 1).

Також важливим фотосинтетичним показником є відношення хлорофілів a/b та суми хлорофілів $(a+b)$ до каротиноїдів, що характеризує здатність рослин пристосовуватися до різних умов середовища. Зазвичай відношення хлорофілів a/b та суми хлорофілів $(a+b)$ до каротиноїдів є стабільним, але змінюється зі дії несприятливих умов середовища у такій залежності: відношення хлорофілів a/b зменшується за несприятливих умов, а сума хлорофілів до каротиноїдів – збільшується (Matvuyeva & Kvasko, 2010).

Також є дані, що відношення хлорофілів a/b може корелювати з ростовими процесами рослин на ранніх стадіях розвитку, впливаючи на потенціал врожайності (Koponen et al., 2015).

Визначення відношення хлорофілів a/b показало, що у середньому за роки досліджень у дослідних варіантах воно було неістотно нижчим порівняно з контрольним варіантом і коливалось у дослідних варіантах залежно від виду регулятора у межах від 3,19 до 3,25 рази (зниження відносно контролю становило 2–4%) (табл. 1).

Визначення відношення суми хлорофілів $(a+b)$ /каротиноїди показало, що цей показник у дослідних варіантах знижувався до 5,70–6,11 (до 8%) порівняно з контрольним варіантом, де відношення становило 6,15 рази.

Виходячи з отриманих даних щодо відношення хлорофілів a/b та суми хлорофілів $(a+b)$ до каротиноїдів, можна стверджувати, що ці показники свідчать про сприятливі умови, які склалися у варіантах досліду за обробки насіння регуляторами росту рослин, оскільки відношення хлорофілів a/b порівняно з контрольним варіантом майже не змінювалося, а відношення суми хлорофілів $(a+b)$ до каротиноїдів проти контрольного варіанту знизилася.

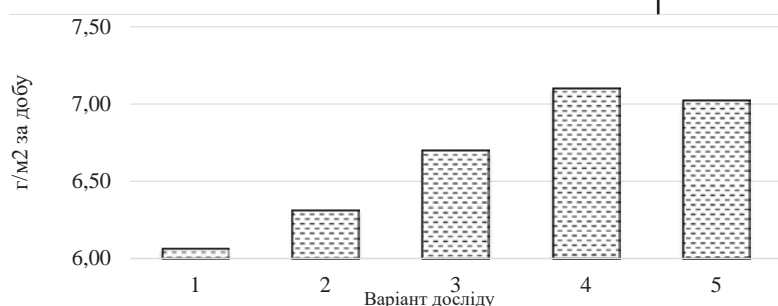


Рис. 1. Чиста продуктивність фотосинтезу рослин кукурудзи за дії PPP (фаза викидання волоті, 2018 – 2020 рр.)

1. Контроль (обробка водою); 2. Біолан 50 мл/т; 3. Біосил 20 мл/т; 4. Регоплант 200 мл/т; 5. Зеастимулін 20 мл/т.

Визначення показника чистої продуктивності фотосинтезу (ЧПФ) показало, що зміна його величини у дослідних варіантах відбувалася прямо пропорційно до зміни вмісту фотосинтетичних пігментів.

Так, за обробки насіння кукурудзи перед сівбою PPP Біосил (20 мл/т) показник ЧПФ, порівняно з контролем, зріс на 4%, тоді як за використання Біолану (50 мл/т) – на 11%. Більш ефективним стосовно чистої продуктивності фотосинтезу рослин кукурудзи виявилось застосування Регопланту (200 мл/т) та Зеастимуліну (20 мл/т). У цих варіантах досліду показник ЧПФ перевищував результати, отримані у контрольному варіанті, на 17 і 16% відповідно до виду PPP (рис. 1).

Проведений регресійний аналіз виявив тісний кореляційний зв'язок ($r^2=0,97$) між показником ЧПФ вмістом суми хлорофілів $(a+b)$ у листках кукурудзи, що описується рівнянням регресії:

$$y = 2,477x - 2,3181$$

де y – чиста продуктивність фотосинтезу, г/м² за добу; x – вміст суми хлорофілів $(a+b)$ мг/г сирової речовини (рис. 2).

Обговорення. Формування фотосинтетичної та зернової продуктивності сільськогосподарських культур насамперед залежить від умов, які би сприяли оптимальній фотосинтезуючій діяльності рослин. Одним із головних завдань сучасних технологій вирощування польових культур є забезпечення належного рівня чистої продуктивності фотосинтезу – показника, який відображає нагромадження сухої речовини рослиною за добу і від значення якого прямо залежить величина врожайності культури.

Першочерговий вплив на рівень чистої продуктивності фотосинтезу (ЧПФ) має пігментний комплекс рослини, а саме вміст хлорофілів a , b , каротиноїдів їх сума та співвідношення, адже саме на ці пігменти припадає функція поглинання та перетворення сонячної енергії, її передача. Розвинений пігментний комплекс є основним чинником біологічної продуктивності рослин. Застосування досліджуваних регуляторів росту рослин (Біолан, Біосил, Регоплант, Зеастимулін) забезпечує надходження до рослин екзогенних стимулюючих речовин, тим самим сприяє активізації нагромадження фотосинтетичних пігментів із їх оптимальним співвідношенням.

Схожі результати досліджень отримано О.І. Буйною зі співавторами (Buyna et al., 2018). За дії рістрегулюючих речовин, зокрема хлормекват-хлориду, достовірно зростала концентрація хлорофілів у листках томатів. Аналогічні зміни у вмісті основного фотосинтетичного пігменту були нами раніше зафіксовані і в інших овочевих культурах.

Іншими дослідженнями (Naviy et al., 2019) встановлено, що за застосування біологічних препаратів для передпосівної обробки насіння кукурудзи вміст суми хлорофілів $(a+b)$ у фазі 3–5 листків у контролі становив 1,28 мг/г сирової речовини, хлорофілу a – 1,03 мг/г сирової речовини, хлорофілу b – 0,25 мг/г сирової речовини.

Збільшення вмісту фотосинтетичних пігментів за їх оптимального співвідношення

у комплексі має позитивний вплив на зростання показника чистої продуктивності рослин кукурудзи, який у варіантах досліду із використанням РРР зростає порівняно із контрольним варіантом до 17%.

Зростання показника ЧПФ за передпосівної обробки насіння регулятором росту рослин до 6% відзначено також у дослідженнях, виконаних на культурі соризу, що, як і кукурудза, має C_4 шлях фотосинтезу (Karpenko & Shutko, 2018).

Висновки. Отже, передпосівна обробка насіння кукурудзи регуляторами росту рослин сприяє більш активному порівняно із контрольним варіантом накопиченню хлорофілів a , b , їх суми та каротиноїдів у листках культури. Порівняння застосування різних РРР показало, що серед усіх варіантів досліду найбільший ефективним було використання Регопланту

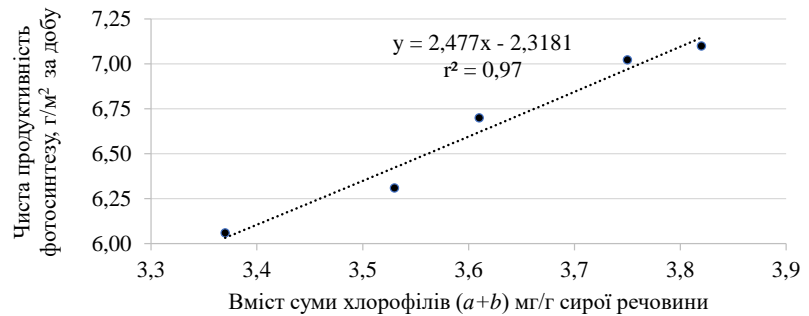


Рис. 2. Кореляційна залежність між чистою продуктивністю фотосинтезу та вмістом суми хлорофілів (a+b), 2018–2020 рр.

(200 мл/т). Дещо нижчу ефективність мало застосування Зеастимуліну (20 мл/т). Прямо пропорційно до зміни вмісту у листках кукурудзи фотосинтетичних пігментів у дослідних варіантах відбувалося і зростання показника ЧПФ.

Бібліографічні посилання:

1. Rohach, V.V. & Rohach, T.I. (2015). Vplyv syntetychnykh stymulyatoriv rostu na morfofiziologichni kharakterystyky ta biolohichnu produktyvnist' kul'tury kartopli [Influence of synthetic growth stimulators on morphological and physiological characteristics and biological productivity of potato culture]. *Visnyk Dnipropetrovs'koho universytetu. Biolohiya, ekolohiya*, 23(2), 221–224. (in Ukrainian). doi:10.15421/011532
2. Rohach, V.V., Kiriziy, D.A., Stasyk, O.O. & Rohach T.I. (2020). Morfohenez, fotosyntezy i produktyvnist' baklazhaniv za vplyvu rehulyatoriv rostu z riznymy mekhanizmamy diyi [Morphogenesis, photosynthesis and productivity of eggplants under the influence of growth regulators with various action mechanisms]. *Fiziolohiya roslyn i henetyka*, (2), 152–168. (in Ukrainian). doi.org/10.15407/frg2020.02.152
3. Musatenko, L.I. (2009). Fitohormony i fiziologichno aktyvni rechovyny v rehulyatsiyi rostu i rozvytku Roslyn [Phytohormones and physiologically active substances in the regulation of plant growth and development]. *Fiziolohiya roslyn: problemy ta perspektyvy rozvytku*. Kyiv: Lohos, 508–536. (in Ukrainian)
4. Yavors'ka, V.K., Drahovoz, I.V. & Kryuchkova, L.O. (2006). Rehulatory rostu na osnovi pryrodnoyi syrovyny ta yikh zastosuvannya v roslinnyts'tvi [Growth regulators based on natural raw materials and their use in crop production]. Kyiv: Lohos, 176. (in Ukrainian)
5. Gavelienė, V., Novicienė, L. & Kazlauskienė D. (2007). Effect of auxin physiological analogues on rape growth and reproductive development. *Bot. Lithuan*, 13(2), 101–107.
6. Anishyn, L.A., Ponomarenko, S.P. & Hrytsayenko Z.M. (2011). Rehulatory rostu roslyn. Rekomendatsiyi po zastosuvannyu [Plant growth regulators. Recommendations for use]. Kyiv, 40. (in Ukrainian)
7. Khodanits'ka, O.O. & Kuryata V.H. (2014). Analiz diyi khlormekvatkhlorody na produktsiynny protses l'onu oliynoho sortu Orfey [Analysis of the influence of chlormequat-chloride on production process of oil flax of variety orpheus]. *Visnyk Vinnyts'koho politekhnichnoho instytutu*, (1), 30–33. (in Ukrainian)
8. Kalytko, V.V. & Yalokha, T.M. (2011). Vplyv rehulyatora rostu AKM na produktyvnist' i yakist' nasinnya yachmenyu ozymoho zalezno vid poperednyka v Pivdennomu Stepu Ukrayiny [Effect of growth regulators on AKM productivity and quality of barley seeds depending on winter predecessors in the Southern Steppe Ukraine]. *Ahrobiolohiya: zbirnyk naukovykh prats' BNAU*. 6(86), 166–169. (in Ukrainian)
9. Zayets', S.O. & Kysil', L.B. (2019). Fotosyntetychna diyal'nist' roslyn i vrozhaynist' zerna yachmenyu ozymoho (Hordeum vulgare L.) zalezno vid sortu, strokiv sivby ta rehulyatoriv rostu [Photosynthetic activity of plants and grain yield of winter barley (Hordeum vulgare L.) Depending on the variety, sowing dates and growth regulators]. *Bioresursy i pryrodokorystuvannya*, 1–2(11), 89–97. (in Ukrainian). doi.org/10.30525/978-9934-588-73-0/1.10
10. Buyna, O.I., Buyny, O.V., Rohach, V.V. & Kuryata V.H. (2018). Vplyv rehulyatoriv rostu roslyn z protylezhnym napryamkom diyi na morfohenez, lystkovyy aparat ta produktyvnist' tomativ [Influence of plant growth regulators with the reverse effect on morphogenesis, leaf apparatus and productivity of tomatoes]. *Tavriys'kyi naukovy visnyk*. 2018, 1 (100), 14–24. (in Ukrainian)
11. Rudnyk-Ivashchenko, O.I. (2009). Produktyvnist' fotosyntezy v roslin prosa za fazamy yoho rozvytku na riznykh fonakh mineral'noho zhyvlennya [The productivity of photosynthesis at the plants of millet after the phases of development and mineral feed]. *Naukovi dopovidi NUBiP*, 3 (15), 110. (in Ukrainian)
12. Pyda, S.V., Tryhuba, O.V. & Hryhoryuk I.P. (2014). Diya bakterial'nykh preparativ ta rehulyatoriv rostu roslyn na fotosyntetychny aparat lyupynu biloho (lupinus albus L.) [The effect of bacterial preparations and plant growth regulators on photosynthetic apparatus of Lupinus albus L.]. *Bioresursy i pryrodokorystuvannya*, 1–2(6), 12–18. (in Ukrainian)
13. Haviy, V.M., Kuchmenko, O.B. & Tereshchenko O.O. (2019). Vplyv biopreparatu Polimiksobakteryn ta imunoprotektora BAI-SI na vmist fotosyntetychnykh pihmentiv i urozhaynist' kukurudzy [The effect of the biological agent Polymyxobacterin and the BAI-SI immunoprotector on the content of photosynthetic pigments and the yield of corn]. *Zbirnyk naukovykh prats' Umans'koho NUS*, 95(1), 65–75. (in Ukrainian). doi 10.31395/2415-8240-2019-95-1-65-75

14. Stasyk, O.O., Kirizii, D. A., Priadkina, H.O. (2021). Fotosynteza i produktyvnist: osnovni naukovy dosiahnennia ta perspektyvni rozrobky [Photosynthesis and productivity: main scientific achievements and innovative developments]. *Fiziologhiia roslyn i henetyka*, (2), 160–184. doi: <https://doi.org/10.15407/2021.02.160>
15. Kalytka, V.V. & Karpenko K.M. (2013). Vplyv rehulyatora rostu AKM na pihmentnyy kompleks ta fotosyntetychnu produktyvnist' roslyn pomidora [Influence of AKM growth regulator on pigment complex and photosynthetic productivity of tomato plants]. *Naukovyy visnyk NUBiP*, 183(1), 72–77. (in Ukrainian)
16. Scheer, H. (2004). Chlorophylls and carotenoids. *Encyclopedia of Biological Chemistry*, 430–437.
17. Karpenko, V.P. & Shutko, S.S. (2018). Vmist khlorofilu i fotosyntetychna produktyvnist' roslyn soryzu za vykorystannya herbitsydu Pik 75 WG i rehulyatora rostu roslyn Rehoplant [Chlorophyll content and photosynthetic productivity in soriz while applying of Pik 75 WG herbicide and Regoplant plant growth regulator]. *Zbirnyk naukovykh prats' Umans'koho NUS*, 93(1), 23–32. (in Ukrainian). doi: 10.31395/2415-8240-2018-93-1-23-32
18. Palamarchuk, V.D. (2019). Vplyv pozakorenyevykh pidzhyven' na vmist khlorofilu u hibrydiv kukurudzkykh riznykh hrup styhlosti [Root fertilizing influence on the chlorophyll contents in maize hybrids in the different groups of maturity]. *Sil's'ke hospodarstvo ta lisivnytstvo: zb. nauk. pr. VNAU*, 14, 43–53. (in Ukrainian)
19. Kurylo, V., Grygorenko, N.O. & Marchuk O. (2014). Content and ratio of plastid green pigments in sugar sorghum leaves depending on nutrition and herbicides correlation effects. *Naukovi pratsi instytutu bioenerhetychnykh kul'tur i tsukrovyykh buryakiv*, 22, 71–74.
20. Haviy, V.M. & Pryplavko S.O. (2019). Formuvannya asymilyatsiyoho aparatu ozymoyi pshenytsi sortu Yuvivata za diyi syntetychnykh rehulyatoriv rostu [The assembling apparatus formation of the winter wheat sort yuvivat by the effect of synthetic growth regulators]. *Nauk. Zap. Ternop. Nats. Ped. Un-tu. Ser. Biol.*, 1(75), 116–120. (in Ukrainian). doi: 10.25128/2078-2357.19.1.15
21. Kuryata, V.H., Rohach, V.V. & Kushnir O.V. (2017). Morfofiziologichni osoblyvosti formuvannya lystkovoho aparatu pertsyu solodkoho za diyi hiberelinu ta folikuru [Morphological features of leaf apparatus formation of sweet pepper under the influence of giberelin and folicure]. *Visnyk ahraryoi nauky Prychornomorya*, 2 (94), 86–92. (in Ukrainian). doi: 10.31521/2313-092x
22. Kuryata, V.H. & Khodanits'ka, O.O. (2012). Osoblyvosti morfohenezu i produktsiyoho protsesu l'onu-kucheryavtsy za diyi khloromekvatkhloroydu i treptolemu [Features of morphogenesis and production process of flax under the action of chlormequat chloride and treptolem]. *Fyziologhiya y byokhymyya kul't. rastenyi*, 6 (44), 522–528. (in Ukrainian)
23. Kuryata, V.H. & Polyvanyy, S.V. (2015). Potuzhnist' fotosyntetychnoho aparatu ta nasynnyeva produktyvnist' maku oliynoho za diyi retardantu Folikuru [Power of photosynthetic apparatus and seed productivity of oil poppy under the action of Follicur retardant]. *Fyziologhiya rastenyi y henetyka*, 4 (47), 313–320. (in Ukrainian)
24. Poltoretskyi S.P. (2017). Formation of density of seed sowing of millet (*Panicum miliaceum* L.) depending on the term and method of sowing. *Bulletin of Uman NUH*, 1(59), 59–64.
25. Bessonova, V.P. (2006). *Praktykum z fiziologhiyi Roslyn [Workshop on plant physiology]*. Dnipropetrovs'k: RVV DDAU, 316. (in Ukrainian)
26. Hrytsayenko, Z.M., Hrytsayenko, 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)
27. Katsan, V.A. & Potopal's'kyy, A.I. (2006). Zminy spivvidnoshennya vmistu deyakykh pihmentiv fotosyntezy, indukovanii v *Nicotiana tabacum* L. ekzohennymy DNK [Changes in the ratio of some photosynthetic pigments induced in *Nicotiana tabacum* L. by exogenous DNA]. *Ukrayins'kyy biokhymichnyy zhurnal*, 5(78), 70–80. (in Ukrainian)
28. Tyutyayev, E.V., Shutova, V.V., Maksymov, H.V., Radenovykh, Ch.N. & Hrodzynskyy D.M. (2015). Sostoyanye fotosyntetycheskykh pyhmentov v lyst'yakh ynbrednykh lynnyy y hybrydov kukuruzy [The state of photosynthetic pigments in the leaves of inbred lines and maize hybrids.]. *Fyziologhiya rastenyi y henetyka*, 2 (47), 147–159. (in Ukrainian)
29. Matvyeyeva, N.A. & Kvasko O.Yu. (2010). Vmist fotosyntetychnykh pihmentiv v trans-hennykh roslynakh tsykoriyu z henom tuberkul'oznoho antyhena Esat6 [Content of photosynthetic pigments in transgenic chicory plants with Esat6 tuberculosis antigen gene]. *Visnyk Donets'koho natsional'noho universytetu*, 2, 249–253. (in Ukrainian)
30. Kononenko, A.O., Drehval', O.A., Cherevach, N.V., Zhernosyeykova, I.V. & Vinnikov A.I. (2015). Vplyv kompleksnoho mikrobnoho insektytsydu "Baktofunhin-LS" na protsesy zhyttyediyal'nosti roslyn [Influence of microbial insecticide "bactofungin-ls" on nhe vital plants processes]. *Pytannya stepovoho lisoznavstva ta lisovoyi rekul'tyvatsiyi zemel'*, 44, 60–65. (in Ukrainian)

Zabolotna A. V., PhD (Agricultural Sciences), Pavlo Tychyna Uman State Pedagogical University, Uman, Ukraine

Zabolotnyi O. I., PhD (Agricultural Sciences), Uman National Horticulture University, Uman, Ukraine

Rozborska L. V., PhD (Agricultural Sciences), Uman National Horticulture University, Uman, Ukraine

Zhilyak I. D., PhD (Chemical Sciences), Uman National Horticulture University, Uman, Ukraine

Datsenko A. A., PhD (Agricultural Sciences), Uman National Horticulture University, Uman, Ukraine

Pigment content and net photosynthetic productivity of maize when using plant growth regulators

The article deals with the results of studies on the effect of treatment of maize seeds with the plant growth regulators of natural origin on such parameters of photosynthetic productivity of corn plants as the content of photosynthetic pigments and net productivity of photosynthesis.

It was found that the use of pre-sowing treatment of corn seeds with plant growth regulators contributed to the increase in the chlorophyll a and b content, their amount and carotenoid content from 6 to 20 % depending on the pigment and growth regulator. The chlorophyll a/b ratio ranged from 3.19 to 3.25.

Determination of the chlorophyll a/b ratio showed that over the years of research in the experimental variants it was not significantly lower compared to the control variant and varied in the experimental variants depending on the type of regulator in the range from 3.19 to 3.25 (decrease relative to the control was 2–4%).

Determination of the ratio of the amount of chlorophylls (a+b)/carotenoids showed that this index in the experimental variants decreased to 5.70–6.11 (up to 8%) compared to the control variant, where the ratio was 6.15.

On the basis of the obtained data concerning the ratio of chlorophylls a/b and the amount of chlorophylls (a+b) to carotenoids, we can state that these indices testify to favorable conditions developed in the experimental variants of seed treatment with plant growth regulators, since the chlorophyll a/b ratio compared to the control variant was almost unchanged, and the ratio of the amount of chlorophylls (a+b) to carotenoids decreased against the control variant.

Analysis of the experimental data also showed that the change in the net photosynthetic productivity index in the experimental variants was directly proportional to the change in the content of photosynthetic pigments. Thus, when corn seeds were treated before sowing with the Biosil PGR (20 ml/t), the net photosynthetic productivity index increased by 4% compared to the control, while when using Biolan (50 ml/t) – by 11%. The use of Regoplan (200 ml/t) and Zeastimulin (20 ml/t) appeared to be more effective for net photosynthetic productivity of corn plants. In these experimental variants the NFP index exceeded the results obtained in the control variant by 17 and 16% according to the type of PGR.

The regression analysis revealed a close correlation ($r^2=0,97$) between the NFP index of chlorophyll content (a+b) in maize leaves, which is described by the following regression equation: $y = 2.477x - 2.3181$.

Key words: maize, regulator, pigments, chlorophyll, carotenoids, ratio, productivity, photosynthesis, correlation.

Дата надходження до редакції: 02.12.2021 р.

ВИРОЩУВАННЯ ТА ПЕРСПЕКТИВИ СЕЛЕКЦІЙНОГО ПОЛІПШЕННЯ ВІВСА ГОЛОЗЕРНОГО В УКРАЇНІ

Кравченко Алла Іванівна

аспірантка

Державний біотехнологічний університет, м. Харків, Україна

ORCID: 0000-0002-6244-5430

allavitchenko@mail.com

У сучасних умовах переорієнтованості людства на здоровий спосіб життя овес є цінною сировиною для харчової промисловості. Овес голозерний відкриває нові перспективи його використання у переробній промисловості завдяки зменшенню витрат на переробку та покращеному і збалансованому вмісту поживних речовин. Сортимент продуктів для дієтичного, спортивного, дитячого харчування розширюється щодня, попит на якісну сировину росте, однак ґрунтово-кліматичні умови нашої країни різноманітні, тому для забезпечення потреб виробників необхідною сировиною необхідне впровадження більшої кількості сортів вівса голозерного різних напрямів використання, які би пристосовувалися до умов вирощування та були би стійкими до абіотичних і біотичних чинників навколишнього середовища.

Для успішного виконання дослідження з вивчення та створення вихідного матеріалу вівса голозерного в умовах Лівобережного Лісостепу необхідно було дослідити біологічні особливості цієї культури, вплив різних екологічних чинників на його ріст і розвиток та перспективи селекції в Україні. Для проведення досліджень було проаналізовано літературні джерела зарубіжних і вітчизняних авторів. Встановлено відношення рослин вівса голозерного до умов середовища зони вирощування, змін клімату, які зумовлюють появу посух і суховіїв, що стали частими в умовах Лівобережного Лісостепу України у весняно-літній період. Крім того, відзначено, що деякі морфологічні особливості будови колоска, а саме нещільне прилягання квіткових лусок до зернівки робить зернівку вівса голозерного більш вразливою до пошкоджень під час обмолоту та зберігання. Ця морфологічна особливість здатна знизити рівень проростання зернівки та призводить до зрідження посівів. Все це має безпосередній вплив на ріст і розвиток рослин вівса голозерного, а отже, й на рівень урожайності. Врожайність вівса – досить складна кількісна ознака, і голозерні сорти значно поступаються плівчастим сортам за цією ознакою. Нині потенційна врожайність сортів вівса голозерного становить 5,0 т/га та на практиці середня врожайність нижча у два-три рази залежно від погодних умов року вирощування. Тому найбільш цінними для селекційної роботи є вихідний матеріал, який відзначається як високим рівнем продуктивності, так і стійкістю до несприятливих умов середовища.

Ключові слова: овес голозерний, сорт, селекція, вихідний матеріал, урожайність, якість зерна.

DOI <https://doi.org/10.32845/agrobio.2021.4.3>

Вступ. Овес – одна з найважливіших і найбільш поширених зернових культур (Akimova & Kozlova, 2012). У тваринництві його використовують із метою одержання високопоживного корму (Arendt & Zannini, 2013), у харчовій галузі – для виробництва круп, борошна, галет, кавових напоїв, дієтичного та дитячого харчування (Sots et al., 2011; Kurjatnikova & Kirasirov, 2009).

Незважаючи на ріст попиту на вівсяну сировину в усьому світі, лєвова частка, близько 74 %, – кормового призначення, і лише близько 14 % використовується безпосередньо на харчові цілі (Webster & Wood, 2011).

Одним із основних чинників, який стримує використання вівса, є плівка, яка щільно зв'язана із зернівкою. Вміст плівки становить 20–30%. У тваринництві цей показник погіршує якість кормів, знижуючи енергетичну та харчову цінність зерна (Webster & Wood, 2011), у переробній промисловості – ускладнює технологічний процес переробки вівса (Sots et al., 2013). Крім того, внаслідок лущення утворюється велика кількість побічних продуктів і відходів, що значно зменшує вихід готової продукції, збільшуючи її собівартість.

Складність переробки та недоліки традиційних сортів вівса призвели до пошуку нових рішень. Вчені-селекціонери звернулися до забутого безплівкового вівса *Avena nuda* (овес голозерний) (Batalova, 2010).

Голозерний овес займає важливе місце серед усіх форм вівса (Sots et al., 2011). Найбільш привабливі голо-

зерні форми посівного вівса походять із гірських районів Західного і Центрального Китаю (Gorash et al., 2017). Відомості про його використання у європейських країнах датуються XVI ст. А.С. Митрофанов (Mitrofanov & Mitrofanova, 1972) зазначив, що крупнозерний голий овес вирощували на невеликих площах, а деякі селекційні установи вже тоді працювали з голозерними формами.

Починаючи з 60-х рр. XX ст. ученими велися спроби ввести голозерні сорти вівса у культуру, однак вони не набули широкого поширення у виробництві у зв'язку з низькою врожайністю зерна (порівняно із плівчастими) (Batalova, 2010; Lisova et al., 2014; Kabashov et al., 2019).

Результати. Овес голозерний, безумовно, можна вважати однією з перспективних зернових культур. Його відмінність від плівчастого полягає у морфологічній будові колоска. По-перше, голозерні форми вівса мають багатоквіткові колоски, у них міститься три-п'ять квіток, тоді як плівчасті сорти мають дві-три квітки, по-друге, квіткові луски голозерного вівса, як і колоскові, м'які, нещільно прилягають до зернівки та під час обмолоту повністю відділяються від зерна.

Окрім відсутності жорсткої квіткової луски, що полегшує процес переробки (Mukoid et al., 2009), овес голозерний має значну кількість переваг, таких як: стійкість до вилягання, осипання (Lisova et al., 2014) і високу стійкість до ґрунтових гнилей і шкідників (Biel et al., 2014; Yusova,

& Vasyukevich, 2014). Та найголовніше те, що зерно вівса голозерного має більш насичений і збалансований хімічний склад зерна порівняно із плівчастим вівсом (Biel et al., 2014; Vargach et al., 2017). За вмістом поживних речовин серед зернових культур йому немає рівних (Loskutov, 2007; Klose & Arendt, 2012).

Білки, вуглеводи та жири – головні складники харчування. Від їх вмісту, кількості та збалансованості залежать смакові якості, аромат і користь. Вміст білка у зерні вівса голозерного, за даними різних літературних джерел, коливається від 14 до 21% (Sots et al., 2011). Головною особливістю є те, що він на 70–80% складається із глобуліну групи avenalin (Klose & Arendt, 2012; Batalova et al., 2018).

Низкою вчених (Sots et al., 2011; Batalova, 2018) відзначено наявність у білковому складі «незамінних» амінокислот – лізину, триптофану, метіоніну, треоніну, валіну, фенілаланіну, лейцину, ізолейцину. В. Біель зі співавторами (Biel et al., 2014) у своїх дослідженнях встановили, що амінокислоти вівса голозерного мають більш високу цінність порівняно з амінокислотами інших зернових культур.

Крохмаль – основна речовина вуглеводного комплексу (Isachkova & Ganichev, 2012). Вміст крохмалю у зерні вівса голозерного коливається від 36 до 67% (Vargach et al., 2017). Фізико-хімічні властивості крохмалю залежать від двох його компонентів: амілози й амілопектину (Borisova, 2007). Співвідношення між ними визначає консистенцію каш і їх розварюваність (підвищений вміст амілози надає розсипчастість, а амілопектину – в'язкість).

Висока в'язкість вівсяних відварів зумовлена також наявністю в зерні харчових волокон β -глюкана й арабіноксилани, фізіологічно важливих дієтичних компонентів. Голозерні форми вівса мають більший вміст цього полісахариду порівняно із плівчастими (Harland, 2014; Andreev et al., 2019), однак наскільки β -глюкани корисні для здоров'я людини (Chu, 2014), настільки ж вони не бажані в кормі для жуйних тварин (Polonskij, et al., 2019), оскільки мають негативний вплив на перетравлення та засвоєння їжі. Тому при створенні сортів кормового чи харчового напрямів обов'язковим є добір за вмістом β -глюкану в зерні (Zhu et al., 2016). У разі використання вівса на кормові цілі добір ведуть на низький вміст β -глюкану та високий вміст білка та жиру (Polonskiy et al, 2019).

Жири мають важливе значення. Їх вміст у зерні вівса голозерного коливається від 5,6 до 9% (Akimova & Kozlova, 2012; Polonskij et al., 2019), інколи може сягати 11%. Жир вівсяного зерна складається переважно з ненасичених – олеїнової (18:1) і лінолевої (18:2) та насиченої пальмітинової (16:0) кислот (Batalova, 2018). Їх вміст у зерні вівса голозерного є найвищим серед всіх злакових культур (Webster & Wood, 2011).

Окрім основних показників біохімічного складу, зерно вівса голозерного містить антиоксиданти – токоферол, токотрієнол та авенантрамід, багате на вітаміни А, Е, К, В1, В2, В3, В6, В7, В9, холін, стерини, стероїдні сапоніни, органічні кислоти, кумарин, скополетин, тирозин, ефірна олія, цукор, триголенин, мінеральні солі – фосфорні, кальцієві мікро- та мікроелементи (сполуки заліза, каль-

цію, фосфору, марганцю, міді, молібдену) (Loskutov, 2007). За вмістом вітамінів групи В зерно вівса голозерного не поступається гречці та продовольчим бобовим культурам.

Дослідження багатьох вчених свідчать, що показники якості зерна залежать від сорту, родючості ґрунту та мінерального живлення (Isachkova & Ganichev, 2012; Andreev et al., 2019). Ю.С. Іванова (Ivanova et al., 2018) у своїх досліджах встановила значний вплив умов вирощування на вміст білка, який становив 69,4%, у свою чергу, на вміст жиру та крохмалю, умови навколишнього середовища мали менший вплив і становили 35,7% і 32,4% відповідно.

Відзначено, що у роки з посушливими умовами вміст білка підвищується (Yusova & Vasyukevich, 2014). Накопичення жиру та крохмалю, навпаки, відбувається у роки з оптимальною кількістю опадів і за помірних середньодобових температур повітря (Ivanova et al., 2018).

Історично склалося, що основне виробництво вівса було зосереджено для тваринництва (Akimova & Kozlova, 2012). Маючи такий унікальний хімічний склад, овес голозерний є найпривабливішим компонентом комбікормів і кормових сумішей для молодняку телят, свиней і птиці.

Овес голозерний можна використовувати на зелений корм, сіно та силос, особливо у суміші з однорічними бобовими культурами (Kubarev, 2015). При сумісних посівах отримують високоякісний корм, який добре перетравлюється та засвоюється тваринами (Kardashina & Nikolaeva, 2018). Крім того, овес можна вирощувати як однорічну пасовищну культуру, в умовах з достатньою кількістю опадів і з тривалим теплим періодом він здатний добре відростати при 3–4-х кратному стравлуванні.

Із початком ХХІ ст. почалася ера здорового способу життя, переорієнтованість людства на корисне функціональне харчування. Водночас збільшується інтерес до натуральних та екологічних продуктів (Sharshunov et al., 2016). Ці зміни спонукають виробників продуктів із використанням вівса. Особливо цю тенденцію можна простежити у країнах Євросоюзу, США, Канаді (Ryan, 2011). І саме в цьому напрямі овес голозерний – безпрограшний варіант. Завдяки більш збалансованому вмісту поживних речовин голозерні форми дають можливість більш широкого використання, ніж традиційний плівчастий овес (Ahadova & Kurkiev, 2017).

Із зерна вівса голозерного сьогодні виготовляють муку, толокно, пластівці, витяжки (Kurjatnikova & Kirasirov, 2009). На його основі виготовляють лапшу, хліб, печиво, пряники, каші швидкого приготування, мюслі, кисіль, кавовий напій, вівсяне молоко, йогурти. Нині дуже популярним є пророщування зерна та вирощування суміші мікрогрін (Sharshunov et al., 2016). Овес голозерний чудово підходить для пророщування завдяки відсутності твердої оболонки. Слід відзначити, що при вживанні проростків вівса голозерного в організмі покращуються обмінні процеси, відбувається омолодження тканин організму на клітинному рівні, підвищуються бадьорість та активність.

У країнах Скандинавії вівсяні зернові витяжки додають у молочні, м'ясні та кондитерські вироби дієтичного та лікувального призначення. У Швеції фірма Oatly виробляє вівсяне молоко та морозиво. Серед усього різноманіття продуктів фірма Sinebruhoff виробляє пиво «Kauga» (Loskutov, 2007). У Фінляндії отримано аналог м'яса із вівса та квасолі – pulled oats, що на вигляд і смак не відрізняється від м'яса свинини чи яловичини (Batalova, 2018).

Популярним є випікання хліба з додаванням вівса. В Індії вівсяне борошно додають у вершкове масло та маргарин (Batalova, 2010). Вівсяні екстракти використовуються як альтернатива желатину для виготовлення соусів, салатів і супів (Mukoid et al., 2009).

У США та Канаді популярними є вітамінні пластівці, напівфабрикати та піджарки, готові до споживання (Loskutov, 2007), користуються значним попитом коктейлі та добавки для схуднення, зокрема шоколадні батончики з додаванням вівса голозерного. Щодня список продуктів із використанням вівса голозерного поповнюється новинками.

Окрім традиційного використання на кормові та харчові цілі, овес голозерний користується попитом в інших галузях. Овес є гарною сировиною для косметичних продуктів (Broeck et al., 2016): кремів, масок, скрабів, мила, гелів для душу, шампуню та кондиціонеру для волосся (Urbanchik & Galdova, 2021). У хімічному складі зерна вівса наявні авенантраміди – фенольні сполуки з антиоксидантною та біологічною активністю (Chu et al., 2014), які мають протиалергійну та заспокійливу дію на шкіру людини (Loskutov, 2007). Ученими різних країн доведено, що засоби для шкіри на основі вівса полегшують прояви екземи.

Завдяки своєму унікальному хімічному складу та лікувальним властивостям овес сьогодні є цінною сировиною для фармацевтичної промисловості і, звичайно ж, широко застосовується у народній медицині (Сermak & Moudry, 1998).

У народній медицині овес здавна використовується як корисний і цілющий продукт (Daou & Zhang, 2012). Назва *Avena* (овес) походить від латинського слова *Avere*, що означає «бути здоровим». Вживання вівса є ефективним для лікування та профілактики серцево-судинних захворювань, зниження холестерину в крові (Harland, 2014), протипухлинної терапії, запобігання ожирінню, цукровому діабету, артрозу, хворобам шлунково-кишкового тракту (Biel et al., 2009; Daou & Zhang, 2012; Clemens & van Klinken, 2014). Учені вважають, що раннє введення в харчування немовлят (із 6 місяців) продуктів на основі вівса посилює захисний вплив, запобігаючи розвитку алергічних реакцій і знижуючи ризик прояву астми.

Основне світове виробництво вівса зосереджено у Росії, США, Канаді, Фінляндії, Австралії. Лідерами виробництва вівса є Росія, країни ЄС, Канада. Незважаючи на стрімкий розвиток використання вівса, посівні площі у світовому землеробстві під цією культурою мають тенденцію до зменшення, а статистичні дані щодо впровадження у виробництво вівса голозерного взагалі відсутні (Batalova, 2018).

Україна входить до десятки країн – виробників вівса. У 2020–2021 рр. площа під посівами вівса в Україні ста-

новила приблизно 200 тис. га, а виробництво вівса знаходиться на рівні 511,3 тис. тонн (АПК, 2020). Основними регіонами виробництва залишаються Полісся та Лісостеп.

За даними «АПК-Інформ», найвищу врожайність у 2020–2021 рр. отримали сільгоспвиробники Сумщини, Хмельниччини та Закарпаття – 3,3 т/га. Найнижчий показник отримали аграрії Одещини (1,0 т/га) і Луганщини (1,7 т/га). За обсягом зібраного вівса перше місце в Україні посідають Хмельницька (96,9 тис. т) і Київська (96,1 тис. т) області. Найменше зібрали на Рівненщині (0,94 тис. т) і Тернопільщині (1,62 тис. т).

В «АПК-Інформ» відзначають, що у 2020–2021 рр. експорт вівса в Україні становив близько 13 тис. тонн зерна, що на 56% більше, ніж у попередньому році. Основними покупцями є Індія (58%), Марокко (6%) і Німеччина (5%).

Сортимент культури значно впливає на рівень і стабільність виробництва в країні. До Державного реєстру сортів рослин, придатних для поширення на території України, станом на 2021 р. занесено 37 сортів вівса посівного і 7 сортів вівса голозерного різних напрямів використання, однак, незважаючи на наявність сучасних сортів, овес голозерний не має широкого поширення в Україні, оскільки культура недостатньо вивчена у технологічному плані (Isachkova et al., 2011). Він розглядається аграріями як другорядна культура, і тому виробники часто нехтують технологією його вирощування (Il'chenko, 2014; Gorash et al., 2017; Rusakova et al., 2017). Цей факт у поєднанні з несприятливими екологічними чинниками має негативний вплив як на врожайність, так і на якість зерна (Kabashov et al., 2018).

До основних чинників, що визначають ефективність виробництва вівса, можна віднести як ґрунтово-кліматичні умови вирощування, так і якість орних земель (Kurjatnikova & Kirasirov, 2009; Yula & Mushyk, 2016).

Овес має широкий ареал вирощування, його посіви можна зустріти як у напівзасушливих районах, так і далеко на півночі (Loskutov, 2007). Та все ж овес – рослина помірного клімату, яка полюбить вологу і дуже чутлива до її нестачі. У результатах досліджень І.І. Русакової відзначається, що у роки з недостатнім зволоженням урожайність вівса голозерного досить низька (Rusakova et al., 2017). Порушення режиму зволоження ґрунту викликає у рослин вівса затримку розвитку, низьке наростання біомаси, зниження зав'язування зерна та погіршення показників якості зерна (Pandey et al., 2013). Потреба рослин вівса у воді змінюється залежно від фаз розвитку та росту. Оптимального зволоження рослини вівса голозерного потребують у першій половині вегетації (Patel, 2015), однак перезволоження у цей період може згубно впливати на стан посівів, а посуха сприятиме різкому зниженню врожаю.

Взагалі проблема посухостійкості у селекції вівса займає особливе місце. Природа цього явища дуже різноманітна, і дуже важко досягти суттєвого прогресу у стійкості рослин до посухи шляхом відбору селекційного матеріалу (Batalova, 2010). Як і пливчастий, овес голозерний бажано висівати у ранні строки, як тільки ґрунт досягне фізичної стиглості. Вченими встановлено,

що запізнення зі строками сівби вівса негативно впливає на продуктивність рослин (Rusakova et al., 2017).

Тривалість вегетаційного періоду рослин вівса голозерного залежить від середньодобової температури повітря (Kardashina & Nikolaeva, 2018). Відповідно, підвищення або зниження середньодобової температури на тривалий час здатне прискорити або затримати їх розвиток.

Насіння починає проростати за температури 1–2°C. Підвищення температури до 5–6°C скорочує тривалість періоду від сівби до сходів. Рослини вівса стійкі до тимчасового зниження температури у період «сходів» і витримують короточасні приморозки до мінус 7–8°C, однак необхідно зазначити, що високі температури овес переносить значно гірше, ніж пшениця та ячмінь. Підвищення температури повітря до 30–40°C призводить до порушень росту і розвитку рослин вівса. Повітряна посуха особливо небезпечна для рослин вівса у літній період, оскільки овес менш стійкий проти запалу порівняно з іншими злаками (Cherchel et al., 2016).

У вегетаційний період, який характеризується більшою кількістю опадів, рослини вівса голозерного розвиваються краще, але висота рослин значно вища. Стійкість до вилягання тісно пов'язана з висотою рослин (Ahadova & Kurkiev, 2017). Дослідження літературних джерел показують, що втрати врожаю зерна при виляганні посівів в окремі роки можуть становити до 50%.

Використання у виробництві сортів вівса з міцною і вкороченою соломиною може бути цілком виправданим, але за умов подолання селекціонерами негативних ознак, які несуть у собі гени «карликовості». Дослідження вчених підтверджують, що короткостебельність спричиняє зниження показників окремих елементів продуктивності рослин (кількість зерен у колосі, маса 1 000 зерен, маса зерна із рослини).

Ще один, не менш важливий показник вівса голозерного, на прояв якого значною мірою впливають умови навколишнього середовища, – голозерність (Batalova, 2014). Сучасні голозерні сорти вівса майже у повному обсязі голозерні. Вміст плівки може варіювати від 1 до 15% залежно від генотипу (Kirkkari et al., 2004), однак прохолодні умови можуть вплинути на формування більшої кількості плівчастого зерна. У своїх дослідженнях Ю.І. Борисова відзначила варіювання прояву плівчатості зерен від 26,0% до 48,0% залежно від погодних умов року, зокрема суми опадів (Borisova, 2007).

Аналізуючи літературні джерела, необхідно сказати, що одним із основних методів збільшення рентабельності виробництва вівса голозерного може бути створення високоврожайних сортів із високою якістю зерна (Ivanova & Fomina, 2017; Kabashov et al., 2020), але отримати сорт із високою продуктивністю та високоякісним зерном досить складно (Varga et al., 2015), оскільки існує зворотня кореляція між цими ознаками (Batalova, 2010). Не менш актуальною нині є селекція на адаптивність, стійкість до біотичних та абіотичних факторів (Yusova et al., 2020).

Різні ґрунтово-кліматичні умови вирощування та вимоги, що висувають виробники до якості зерна, передбачають використання у виробництві широкого

набору сортів (Kubarev, 2015; Batalova, 2018). Сорти повинні відрізнятися за комплексом біологічних і господарсько-цінних ознак і мати різні напрями використання (Webster & Wood, 2011).

Потенціал сучасних сортів вівса голозерного знаходиться на рівні 5,0–6,0 т/га (Batalova, 2010), але у виробництві потенційна врожайність реалізується слабо (Feng et al., 2014), лише на 25–40% (Rybas, 2016). А.Д. Кабашов (Kabashov et al., 2018), пов'язує це з багатквітковістю голозерних форм. Дослідження вчених показують можливість створення сортів вівса голозерного з урожайністю на рівні плівчастих сортів (більше 11,0 т/га) шляхом введення в нього нових господарсько-цінних генів і їх комплексів. У створенні таких перспективних високоврожайних сортів понад 50% успіху забезпечує вихідний матеріал (Kabashov et al., 2020), який вимагає постійного оновлення. Основними генетичними центрами у світі є CIMMIT (Мексика), IKARDA (Марокко), VIP (Росія), Кембридж (Англія). У нашій країні таким є Національний центр генетичних ресурсів рослин України.

Основним методом селекції вівса голозерного є гібридизація. Застосування її у селекції вівса дає можливість отримати вихідний матеріал із широким спектром господарсько-цінних ознак. Зазвичай у гібридизації як материнський компонент використовують місцеві або селекційні сорти, батьківський – зразки, отримані з різних країн світу (Kabashov et al., 2020). Для підвищення урожайності й адаптивності до навколишнього середовища голозерні сорти схрещують із кращими плівчастими сортами та лініями. Найбільш цінним для селекційної роботи є вихідний матеріал, який відзначається високим рівнем як продуктивності, так і стійкості до несприятливих умов середовища (Lisova et al., 2014; Loskutov et al., 2019; Kabashov et al., 2020).

Аналіз джерел свідчить, що сорти вівса голозерного відзначаються меншою врожайністю зерна порівняно із плівчастими (Lisova et al., 2014). Урожайність – показник надзвичайно складний, він визначається комплексом властивостей та особливостей рослин, кожен із яких має вплив на його прояв (Akimova & Kozlova, 2012). Г.А. Баталова (2010) вважає, що у створенні сучасних високоврожайних сортів вівса голозерного найбільшу роль відіграють форми, які характеризуються високим рівнем прояву ознак «продуктивності волоті».

«Продуктивність волоті» складається із двох компонентів – «кількість зерен у волоті» та «маса 1 000 зерен». За результатами багаторічних досліджень О.В. Акімової та Г.Я. Козлової (2012), на ознаки «кількість зерен у волоті» та «кількість колосків у волоті» значний вплив мають погодні умови року вирощування. У роки, які характеризуються посушливими умовами, кількість колосків і кількість зерен у волоті скорочується, й урожайність зерна різко знижується.

Крупність зернівки вівса варіює як усередині колоска, так і всередині волоті. На прояв цієї ознаки значною мірою впливають погодні умови вирощування, однак, незважаючи на значну варіацію, «крупність зерна» – це сортова ознака. Сорти, які добре зберігають цю ознаку під впливом різних умов середовища, відрізняються

більш стабільною врожайністю, однак «крупність зерна» не завжди є фактором високої маси 1 000 зерен. Більш тісний зв'язок у голозерних сортів вівса відзначено між ознаками «маса зерна з волоті» – «маса 1 000 зерен».

Маса 1 000 зерен – це не лише елемент структури врожаю, а й важливий якісний показник сорту, який визначає запас поживних речовин, схожість і життєздатність насіння, харчові та кормові переваги (Eliseev et al., 2016; Ivanova & Fomina, 2017). В.І. Полонський та ін. (Polonskij et al., 2019) вважають, що основна причина невисокої «маси 1 000 зерен» – щуплість ендосперму зерна. Значний вплив на формування ознаки «маси 1 000 зерен» має термін збирання. Передчасне збирання веде до утворення щуплого та неповноцінного зерна, а перестій збільшує рівень обсіпання, насамперед – більших перших зерен у колосках верхньої третини волоті, яка дозріває раніше.

Важливим фактом є те, що показники якості зерна вівса й ознаки продуктивності більшою мірою є сортовими спадковими ознаками, і це може вказувати на можливість їх подальшого покращення (Batalova et al., 2019). Напрями селекційно-генетичного покращення вівса голозерного полягають у підвищенні врожайності зерна, мінімалізації негативних технологічних ознак, таких як низький відсоток плівок, подвійних і порожніх зерен, опушеність, різноякісність зерна за крупністю та підвищення маси 1 000 зерен.

Нині у країнах ЄС, Канаді, Росії, Білорусії, Китаї й Австралії активно ведеться цілеспрямована робота з покращення та створення нових сортів вівса голозерного. В Україні селекційну роботу з вівсом розпочато у 1886 р. на Немерчанській сортовипробувальній стан-

ції. Основними методами селекції тоді були індивідуальний і масовий добори, пізніше – гібридизація. У період 1948–1954 рр. ученими здійснено спробу створення голозерного сорту методом вегетативної гібридизації, однак позитивних результатів не було одержано.

Сьогодні селекцією вівса голозерного займаються на Носівській селекційно-дослідній станції Чернігівського інституту агропромислового виробництва УААН (перший вітчизняний сорт Скарб України, котрий є національним стандартом), у ДУ «Інститут зернових культур» НААН України (сорт Родоніт), у ТОВ «Всеукраїнський науковий інститут селекції» (ВНІС), Верхняцькій дослідно-селекційній станції Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН України (сорт Дієтичний), в Інституті біоенергетичних культур і цукрового буряка НААН України (сорт Діоскурій), Носівській селекційно-дослідній станції Миронівського інституту пшениці ім. В.М. Ремесла НААН України (сорт Тембр), в Інституті землеробства і тваринництва західного регіону УААН (сорт Авгол).

Висновки. Проведений аналіз фахових видань свідчить про те, що сьогодні рівень виробництва вівса голозерного досить низький і нестабільний. Урожай вівса значно нижчий порівняно з іншими зерновими культурами, тому з економічного погляду створення нових перспективних високоурожайних сортів вівса голозерного сприятиме успішному вирішенню проблем рентабельності цієї культури. Враховуючи наведені результати досліджень, можна стверджувати, що в умовах Лісостепу України можна досягти одержання сталого, високого та якісного урожаю вівса голозерного у виробництві, повною мірою використовуючи генетичний потенціал цих форм.

Бібліографічні посилання:

1. Abashev, V.D., Popov F.A., Noskova E.N. & Zhuk S.N. (2018). Vliyanie mineral'nyh udobrenij na urozhajnost' i kachestvo golozernogo ovsa sorta Persheron. [The effect of mineral fertilizers on productivity and grain quality of naked oat of Persheron variety]. *Ahrarnaia nauka Evro-Severo-Vostoka* 1 (62), 52–57. doi: 10.30766/2072-9081.2018.62.1.52-57
2. Ahadova, Je.T. & Kurkiev, K.U. (2017). Ocenka sortoobrazcov ovsa po ustojchivosti k poleganiju. [Evaluation of oat varieties for resistance to lodging] *Sovremennye problemy APK i perspektivy ego razvitija: sborn. nauchn. tr. Vseros. nauchn-prakt. konf. studentov, aspirantov i molodyh uchenyh, Mahachkala*, 15–20. (in Russian)
3. Akimova, O.V. & Kozlova, G.A. (2012). Produktivnost' i kachestvo zerna golozernyh i plenchatyh sortov ovsa v uslovijah Zapadnoj Sibiri. *Vestnik Altajskogo GAU*, 21(88), 5–8 (in Russian).
4. Alfieri, M. & Redaelli, R. (2015). Oat phenolic content and total antioxidant capacity during grain development. *J. Cereal Sci.*, 65(9), 39–42. doi: 10.1016 / j.jcs.2015.05.013.
5. Andreev, N.R. Gol'dshtejn, V.G., Nosovskaja, L.P., Adikaeva, L.V. & Golionko, E.O. (2019). Golozernyj oves – perspektivnoe syr'e dlja glubokoj pererabotki. [Naked oat is promising raw material for deep grain processing]. *Agrarnaja nauka Evro-Severo-Vostoka*, 20(5), 447–455. doi: 10.30766/2072-9081.2019.20.5.447-455 (in Russian)
6. APK – Inform URL: <https://www.apk-inform.com/ru/news/1518674>.
7. Arendt E.K. & Zannini E. (2013). Oats. In: *Cereal Grains for the Food and Beverage Industries*. Woodhead Publ., 243–282.
8. Batalova, G.A. (2010). Formirovanija urozhaja i kachestva zerna ovsa. [Formation of yield and grain quality of oats]. *Dostizhenie nauki i tehniki APK*, 11, 10–13 (in Russian).
9. Batalova, G.A. (2014). Perspektivy i rezul'taty selekcii golozernogo ovsa. [Perspectives and results of naked oats breeding]. *Zernobobovye i krupjanye kul'tury*, 2(10), 64–69 (in Russian).
10. Batalova, G.A. (2018). Selekcija ovsa na kachestvo zerna v Volgo Vjatskom regione. [Some results of naked oat breeding for european territory of russia]. *Zernobobovye i krupjanye kul'tury*, 3(27), 81–86 doi: 10.24411/2309-348X-2018-11038 (in Russian)
11. Batalova, G.A., Krotova, N.V., Vologzhanina, E.N., Zhujkova, O.A., Zhuravleva, G.P., Tuljakova, M.V. (2018). Istochniki ovsa golozernogo dlja selekcii na kachestvo zerna. [Sources of naked oat for grain quality breeding]. *Agrarnaja nauka Evro-Severo-Vostoka*, 66 (5), 18–23. doi:10.30766/2072-9081.2018.66.5.18-23 (in Russian).
12. Bel'chenko, S.A. (2011). Uslovija pitanija i formirovanie kachestva zerna jachmenja i ovsa. [Nutrition conditions and the formation of the quality of barley and oat grain]. *Problemy agrohimii i jekologii*, 3, 13–16. (in Russian).
13. Belitz, H.D., Grosch, P. & Schieberle, W. (2009). *Food Chemistry*. Springer Science & Business Media, 1070.

14. Belkina, R.I., Marikova, M.I. (2009). Tehnologicheskie i biohimicheskie svoystva zerna ovsa v usloviyah Severnogo Zaural'ja. [Technological and biochemical properties of oat grain in the conditions of the Northern Trans-Urals] *Agrarnyj vestnik Urals*, 5, 55–57 (in Russian).
15. Biel, W., Jacyno, E. & Kawecka, M. (2014). Chemical composition of hulled and naked oat grains. *South African Journal of Animal Science*, 44 (2), 189–197. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2009.01.009>
16. Borisova, Ju.V. (2007). Izmenchivost' nekotorykh kolichestvennykh priznakov produktivnosti u golozernykh sortov ovsa. [Variability of some quantitative traits of productivity in naked oat varieties] VI Mezhdunarodnaja nauchno-prakticheskaja konferencija: Nauka i innovacija agropromyshlennogo kompleksa, Kemerovo, 69–71 (in Russian).
17. Broeck, H.C., Londono, D.M., Timmer, R., Smulders, M.J.M., Gilissen, L.J.W. & Meer, I.M. (2016). Profiling of nutritional and health-related compounds in oat varieties. *Foods*, 5(2), 2-1. doi: 10.3390 / foods5010002
18. Buniak, O.I. (2011). Zdobutky selektsioneriv Nosivskoi SDS NAAN po stvorenniu sortiv vivsa. [Achievements of breeders of Nosiv SDS of NAAS on creation of oat varieties] *Zb. tez. dopovidei, Skadovsk: AS*, 32–34. (in Ukrainian).
19. Bunjak, A.I. (2013). Osobennosti formirovaniya tehnologicheskikh pokazatelej zerna plenchatogo i golozernogo ovsa. [Features of the formation of technological indicators of the grain of filmy and naked oats] *Molodezh' i innovacii 2013 Materialy mezhdunar. nauchno-praktich. konf molodyh uchenykh (g. Gorki, 29–31 maja 2013 g.) Gorki*, 5–10. (in Russian).
20. Bunjak, O.I. & Matros, O.P. (2012). Golozernyj oves. [Naked oats] *Zerno*, 11, 54–57. (in Russian).
21. Čermak, B. & Moudry, J. (1998). Comparison of grain yield and nutritive value of naked and husked oats. *Agricultura*, 66, 90–98.
22. Cherchel, V.Iu., Fedorenko, E.M., Aldoshyn, V.P., Solodushko, V.P. & Liashenko, N.O. (2016). Oves – stan ta efektyvnist vyrobnytstva, novi sorty i mozhlyvosti. [Oats – the state and efficiency of production, new varieties and opportunities] *Selektsiia i nasynnytstvo*, 106, 183–189. (in Ukrainian).
23. Chu, Y.F. (2014) *Oats Nutrition and Technology*. Oxford, UK: Wiley Blackwell
24. Chu, Y.-F., Wise, M.L., Gulvady, A.A., Chang, T., Kendra, D.F., Jan-Willem van Klinken, B., Shi, Y. & O'Shea, M. (2013). In vitro antioxidant capacity and anti-inflammatory activity of seven common oats. *Food Chem.* 139, 426–431. doi: 10.1016 / j.foodchem.2013.01.104
25. Clemens, R. & van Klinken, B.J. (2014) The future of oats in the food and health continuum. *British Journal of Nutrition*, 112, 75–79. doi: <https://doi.org/10.1017/S0007114514002724>
26. Daou C. & Zhang H. (2012). Oat Beta-Glucan: Its Role in Health Promotion and Prevention of Diseases. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safet.*, 11(4), 355–365. doi.org/10.1111/j.1541-4337.2012.00189.x
27. Derzhavnyi reistr sortiv roslyn prydatnykh dlia poshyrennia v Ukraini [State Register of Plant Varieties Suitable for Distribution in Ukraine]. URL: <https://minagro.gov.ua/ua/file-storage/rejestr-sortiv-roslyn>. (in Ukrainian).
28. Eliseev, S.L., Jarkova, N.N. & Ashihmin, N.V. (2016). Vliianie agrotehnicheskikh priemov na laboratornuju vshozhest' i fizicheskie svoystva semjan ovsa. [Influence of agricultural practices on laboratory germination and physical properties of oat seeds] *Permskij agrarnyj vestnik*, 2 (14), 23–26 (in Russian).
29. Feng, B., Liu, P., Li G., Dong, S.T., Wang, F.H. & Kong, L.A. (2014). Effect of heat stress on the photosynthetic characteristics in flag leaves at the grain-filling stage of different heat-resistant winter wheat varieties. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 200(2), 143–155. doi: 10.1111/jac.12045
30. Gorash, A., Armonien eR, R., Mitchell Fetch, J., Liatukas, Ž. & Danyt'e, V. (2017). Aspects in oat breeding: nutrition quality, nakedness and disease resistance, challenges and perspectives. *Annals of Applied Biology* ISSN 0003-4746, 1–22
31. Guo, W. & Beta, T. (2013). Phenolic acid composition and antioxidant potential of insoluble and soluble dietary fibre extracts derived from select wholegrain cereals. *Food Res. Int.*, 51(2), 518–525. doi:10.1016 / j.foodres.2013.01.008
32. Hackett, R. (2018). A comparison of husked and naked oats under Irish conditions. *Irish Journal of Agricultural and Food Research*; 57:1–8. doi: <https://doi.org/10.1515/ijafr-2018-0001>
33. Handayani, D., Meyer, B., Chen, J., Tang, P., Kwok, P., Chan, H. & Huang, X. (2012). The Comparison of the Effect of Oat and Shiitake Mushroom Powder to Prevent Body Weight Gain in Rats Fed High Fat Diet. *Food and Nutrition Sciences*, 3 (7), 1009–1019. doi: 10.4236/fns.2012.37134.
34. Harbar, L.A., Kholodchenko, R.M. & Shevchuk, V.V. (2013). Vplyv tekhnolohii vyroshchuvannia na formuvannia asymiliatsiinoho aparatu posivamy vivsa. [Influence of cultivation technology on the formation of the assimilation apparatus by oat crops] *Naukovyi visnyk Natsionalnoho universytetu bioresursiv i pryrodokorystuvannia Ukrainy*, 2, 183) 79–82 (in Ukrainian).
35. Harland, J. (2014). Authorised EU health claims for barley and oat beta-glucans. In: *Foods, Nutrients and Food Ingredients with Authorised EU Health Claims*. Woodhead Publ.
36. Hyrka, A.D., Kulyk, I.O. & Andreichenko, O.H. (2013). Osoblyvosti formuvannia vrozhaivosti vivsa ta yachmeniu yarooho pid vplyvom poperednykhiv i fonu mineralnoho zhyvlennia. [Features of yield formation of oats and spring barley under the influence of previous and mineral nutrition background] *Biuletyn Instytutu silskoho hospodarstva stepovoi zony*, 4, 112–116. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/bisg_2013_4_30 (in Ukrainian).
37. Il'chenko, V.A. (2014). Optimizacija jelementov tehnologii vzdelyvanija golozernogo ovsa v usloviyah severo-vostochnoj lesostepi Ukrainy. [Optimization of technology elements for the cultivation of naked oats in the conditions of the northeastern forest-steppe of Ukraine] *Molodoj uchenyj*, 1, 185–189 (in Russian).
38. Isachkova, O.A. & Ganichev, B.L. (2012). Krupnost' zerna sortobrazcov golozernogo ovsa v usloviyah Severnoj lesostepi Kemerovskoj oblasti. [Grain size of samples of bare-grained oats in the conditions of the Northern forest-steppe of the Kemerovo region] *Vestnik Altajskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 98 (12), 011–014. (in Russian).
39. Isachkova, O.A., Androsov, D.E., Kozyrenko, M.A., Loginova, A.O. & Pakul', V.N. (2018). Vliianie tehnologicheskikh priemov vzdelyvanija na urozhajnost' golozernogo ovsa sorta Gavrosh. [Influence of Cultivation Practices on Yield of Huskless Oat 'Gavrosh']. *Dostizhenija nauki i tehniki APK*, 32 (12), 24–26. doi: 10.24411/0235-2451-2018-11206 (in Russian).

40. Ivanova, Ju.S., Fomina, M.N. & Loskutov, I.G. (2018). Biohimicheskie pokazateli kachestva zerna u kollekcionnyh obrazcov ovsa golozernogo v uslovijah Severnoj Lesostepi. [Biochemical indices of grain quality of the collective samples of naked oat under the conditions of Northern Forest steppe]. *Dostizhenija nauki i tehniki APK*, 32(6), 38–41. doi:10.24411/0235-2451-2018-10609 (in Russian).
41. Janpriya, K., Deedar, S.B. & Meenakshi, G. (2015). Influence of Copper Application on Forage Yield and Quality of Oats Fodder in Copper Deficient Soils. *Indian J. Anim. Nutr.*, 32 (3), 290-294.
42. Kabashov, A.D., Kolupaeva, A.S., Lejbovich, Ja.G., Razumovskaja, Z.V. & Filonenko, Z.V. (2019). Rezultatyi sovmesnoj seleksii golozernogo ovsa [Results of joint selection of huskless oats]. *Selektsiya i semenevodstvo*, 1 (87), 44–47. doi:10.24411/2225-2584-2019-10054 (in Russian).
43. Kabashov, A.D., Kolupaeva, A.S., Razumovskaja, Z.V. & Filonenko, Z.V. (2018). Predvaritel'nye itogi selekcii golozernogo ovsa. [Preliminary results of hulled oats breeding]. *Selekcija, semenovodstvo i genetika*, № 4 (22), 20–24. doi: 10.24411/2413-4112-2018-10003 (in Russian).
44. Kabashov, A.D., Loskutov, I.G., Vlasenko, N.M., Lejbovich, Ja.G., Markova, A.S., Filonenko, Z.V. & Razumovskaja, L.G. (2020). Sorta ovsa nemchinovskoj selekcii, vkluchennye v Gosreestr v poslednie gody (obzor). [Oat cultivars developed at Nemchinovka and included into the State Register in recent years (a review)]. *Trudy po rikladnoj botanike, genetike i selekcii*, 181(1), 110–118. doi: 10.30901/2227-8834-2020-1-110-118 (in Russian).
45. Kaminska, V.V., Dudka, O.F. & Mushyk, B.V. (2014). Porivnialna produktyvnist sortiv vivsa plivchastoho ta holozernoho za riznykh tekhnolohii vyroshchuvannia [Comparative productivity of hulled and naked oat varieties under different cultivation technologies]. *Kormy i kormovyrobnytstvo, Vinnytsia*, 78, 32–36 URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/kik_2014_78_8 (in Ukrainian).
46. Kardashina, V.E. & Nikolaeva, L.S. (2018). Vlijanie agrometeorologicheskikh uslovij na urozhajnost' i razvitie ovsa [Influence of agro-meteorological conditions on yield capacity and development of oats]. *Permskij agrarnyj vestnik*, 1 (21), 69–76 (in Russian).
47. Khakimov, B., Jespersen, B.M. & Engelsen, S.B. (2014). Comprehensive and Comparative Metabolomic Profiling of Wheat, Barley, Oat and Rye Using Gas Chromatography-Mass Spectrometry and Advanced Chemometrics. *Foods*, 3(4), 569–585. doi: 10.3390 / foods3040569
48. Kholodchenko, R.M. (2013). Vrozhainist vivsa holozernoho zalezno vid udobrennia ta norm vysivu na chornozemakh typovykh. [Yields of naked oats depending on fertilizer and seeding rates on typical chernozems] *Naukovyi visnyk Natsionalnoho universytetu bioresursiv i pryrodokorystuvannia Ukrainy. Seriya "Ahrokhimiia"*, II, 183, 41–46. (in Ukrainian).
49. Kikkari, A., Peltonen-Sainio, A. & Lehtinen, P. (2004). Dehulling capacity and storability of naked oat. *Agricultural and Food Science*, 13, 1-2, 198–211. doi.org/10.2137/1239099041837969
50. Klose, C. & Arendt, E.K., (2012). Proteins in oats; their synthesis and changes during germination: A review. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 52(7), 629–639. doi: 10.1080 / 10408398.2010.504902
51. Koehler, P. & Wieser, H. (2013). Chemistry of Cereal Grains, in *Handbook on Sourdough Biotechnology*. Springer Science and Business Media, New York, 11–45.
52. Kubarev, V.A. (2015). Vlijanie sorta na urozhajnost' i kachestvo zerna ovsa v podtajozhnoj zone Omskoj oblasti. [Influence of the variety on the yield and quality of oat grain in the subtaiga zone of the Omsk region] *Izvestija Orenburgskogo Gosudarstvennogo Agrarnogo universitetu*, 1 (51), 34–35 (in Russian).
53. Kurjatnikova, N.A. & Kirasirov, Z.A. (2009). Vlijanie jelementov tehnologii na urozhaj i kachestvo zerna ovsa golozernogo v uslovijah lesostepi Srednego Povolzh'ja. [Influence of technology elements and yield and grain quality of naked oats in the conditions of the forest-steppe of the Middle Volga region] *Niva Povolzh'ja*, 3 (12), 66–69 (in Russian).
54. Lisova, Yu.A., Tsaryk, Z.O. & Datsko, A.O. (2014). Kharakterystyka holozernykh zrazkiv vivsa za vrozhainistiu ta adaptivnistiu. [Characterization of hulled oat samples by yield capacity and adaptability]. *Selektsiya i nasinnystvo*, 105, 141–148. doi: <https://doi.org/10.30835/2413-7510.2014.42066> (in Ukrainian).
55. Liu, Y. (2010). Beta-glucan effects on pasting properties and potential health benefits of flours from different oat lines. *Graduate Theses and Dissertations*. Ames, Iowa: Iowa State University, 125.
56. Loskutov, I.G. & Polonskij, V.I. (2017) Selekcija na sodержanie β-gljukanov v zerne ovsa kak perspektivnoe napravlenie dlja poluchenija produktov zdorovogo pitaniya, syr'ja i furazha. [Content of β glucans in oat grain as a perspective direction of breeding for health products and fodder (review)]. *Sel'skohozjajstvennaja biologija*, 52(4), 646–657. doi.org/10.15389/agrobiologia.2017.4.646rus (in Russian).
57. Loskutov, I.G., Shelenga, T.V., Konarev, A.V., Shavarda, A.L., Blinova, E.V. & Dzubenko, N.I. (2017). The Metabolomic Approach to the Comparative Analysis of Wild and Cultivated Species of Oats (*Avena L.*). *Russian Journal of Genetics: Applied Research*, 7(5), 501–508. doi.org/10.1134/S2079059717050136
58. Loskutov, I.G. (2007). Oves – proshloe, nastojashhee i budushhee. [Oats - past, present and future] *Hleboprodukty*, 5, 6 (in Russian).
59. Loskutov, I.G. (2007). Oves (*Avena L.*). Rasprostranenie, sistematika, jevoljucija i selekcionnaja cennost'. [Oat (*avena l.*). distribution, taxonomy, evolution and breeding value.]. Sankt-Peterburg: GNC RF VIR, 2007, 336 (in Russian).
60. Maruhnjak, A.Ya. (2018). Ocenka adaptivnyh osobennostej sortov jarovogo jachmenja. [Evaluation of the adaptive features of spring barley varieties] *Vestnik Belorusskoj gosudarstvennoj sel'skohozjajstvennoj akademii*, 1, 67–72 (in Russian).
61. Marukhniak, A.Ya., Datsko, A.O., Lisova, H.I., & Marukhniak, H.I. (2015). Naked oats. Avhol cultivar. *Peredhirne ta hirske zemlerobstvo i tvarynnystvo*, 57, 151–159.
62. Menga, V., Fares, C., Troccoli, A., Cattivelli, L. & Baiano, A. (2010). Effects of genotype, location and baking on the phenolic content and some antioxidant properties of cereal species. *Int. J. Food Sci. Technol.*, 45(1), 716. doi: 10.1111 / j.1365-2621.2009.02072.x
63. Mitrofanov, A.S. & Mitrofanova, K.S. (1972). Oves.[Oats]. Moskva, 269. (in Russian).

64. Moudry, J. (1998). The quality of naked oat. *Cereals for human health and preventive nutrition. Session I.*, 257.
65. Mukoid, R.M., Yemelianova, N.O., Ukrainets, A.I. & Svydyniuk, I.M. (2009). Aminokyslotnyi sklad bilkiv zerna riznykh sortiv vivsa. [Amino acid composition of grain proteins of different varieties of oats] *Kharchova promyslovist*, 8, 14–16. (in Ukrainian).
66. Ndolo, V.U. & Beta, T. (2013). Distribution of carotenoids in endosperm, germ, and aleurone fractions of cereal grain kernels. *Food Chem.*, 139 (1–4), 663–671. doi: 10.1016/j.foodchem.2013.01.014
67. Neell, M.A., Asoro, F.G., Scott, V.P., White, P.J., Beavis, W.D. & Jannink, J. L. (2012). Genome-wide association study for oat (*Avena sativa* L.) beta-glucan concentration using germplasm of worldwide origin. *Theor. Appl. Genet.*, 125, 1687–1696. doi: 10.1007/s00122-012-1945-0.
68. Ougham, H.J., Lapitova, G. & Valentine, J. (1996). Morphological and biochemical characterization of spikelet development in naked oats (*Avena sativa*). *New Phytologist*, 134 (1), 5–12. doi.org/10.1111/j.1469-8137.1996.tb01141.x
69. Pandey, H.C., Baig, M.J., Ahmed, Shahid, Kumar, Vikas & Singh, Praveen. (2013). Studies on morpho-physiological characters of different *Avena* species under stress conditions. *African Journal of Biotechnology*, 12(43), 6170–6175, doi: 10.5897/AJB12.1044.
70. Patel, S. (2015). Cereal bran fortified functional foods for obesity and diabetes management: Triumphs, hurdles and possibilities. *J. Funct. Foods*, 14, 255–269. doi.org/10.1016/j.jff.2015.02.010
71. Pawlowska, P., Diowski, A. & Kordialik-Bogacka, E. (2012). State-of-the-Art Incorporation of Oats into a Gluten-Free Diet. *Food Reviews International*, 28(3), 330–342.
72. Podobiedov, L. (2006). Naked oats as a prospective feeding crop. *Propozytsiia*, 1, 62–64 (in Ukraine).
73. Polityko, P.M., Zjablova, M.N. & Pasechnik, D.N. (2012). Urozhajnost' sortov ovsa pri raznyh tehnologijah vozdeljvanija. [Productivity of grades of oats at different technologies of cultivation]. *Vestnik Rossijskogo universiteta družby narodov*, 1, 26–31. (in Russian).
74. Polonskij, V.I., Surin, N.A., Gerasimov, A.G., Lipshin, A.G., Sumina, A.V. & Zute, S. (2019). Izuchenie sortov ovsa (*Avena sativa* L.) razlichnogo geograficheskogo proishozhdenija po kachestvu zerna i produktivnosti. [The study of oat varieties (*Avena sativa* L.) of various geographical origin for grain quality and productivity]. *Vavilovskij zhurnal genetiki i selekcii*, 3(6), 683–690. doi: 10.18699/VJ19.541 (in Russian).
75. Puzanskiy, R.K., Shavarda, A.L., Tarakhovskaya, E.R. & Shishova, M.F. (2015). Analysis of Metabolic Profile of *Chlamydomonas reinhardtii* Cultivated under Autotrophic Conditions. *Applied Biochemistry and Microbiology*, 51(1), 83–94.
76. Rusakova, I.I., Batalova, G.A., Changzhong, Ren, Vologzhanina, E.N., Zhujkova, O.A. & Tuljakova, M.V. (2017). Selekcionnaja ocenka obrazcov golozernogo ovsa v uslovijah Volga-Vjatskogo regiona. [Breeding evaluation of sources of naked oats under conditions of Volga-Vyatka region]. *Agrarnaja nauka Evro-Severo-Vostoka*, 2 (57), 4–11. (in Russian).
77. Ryan, L. (2011). Oat-based breakfast cereals are a rich source of polyphenols and high in antioxidant potential. *J Food Compos Anal*, 24, 929–934. doi:10.1016/j.jfca.2011.02.002
78. Rybas, I.A. (2016). Breeding grain crops to increase adaptability (review). *Agricultural Biology*, 51(5), 617–626, doi:10.15389/agro biology.2016.5.617rus
79. Sardak, O.M., Matros, O.P. & Horhan, N.O. (2012). Sort yak faktor pidvyshchennia vrozhaivosti ta stabilnosti zernovoho vyrobnytstva. [Variety as a factor in increasing the yield and stability of grain production] *Posibnyk ukrainskoho khliboroba*, 1, 60–62 (in Ukrainian).
80. Shah, A., Masoodi, F.A., Gani, A. & Ashwar, B.A. (2016). Newly released oat varieties of himalayan region – Techno-functional, rheological, and nutraceutical properties of flour. *LWT – Food Science and Technology*, 70(7), 111–118.
81. Sharshunov, V.A., Urbanchik, E.N., Shaljuta, A.E. & Galdova, M.N. (2016). Poluchenie biologicheski aktivnogo zernovogo produkta na osnove smesj proroshhenogo zerna pshenicy i ovsa golozernogo. [Obtaining biologically active cereal product based on mixtures of sprouted wheat grain and hullless oat]. *Vesci Nacyjanal'naj akademii navuk Belarusi. Seryja agrarnykh navuk*, 4, 118–125 (in Russian).
82. Shebis, Y., Iluz, D., Kinel-Tahan, Y., Dubinsky, Z. & Yehoshua, Y. (2014). Natural Antioxidants: Function and Sources. *Food and Nutrition Sciences*, 4, 643–649. doi: 10.4236/fns.2013.46083
83. Singh R., De S. & Belkheir A. (2013). *Avena sativa* (Oat), A Potential Nutraceutical and Therapeutic Agent: An Overview. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 53(2), 126–144. doi:10.1080/10408398.2010.526725
84. Solodushko, V.P. (2011). Seleksiia vivsa v umovakh pivnichnogo stepu Ukrainy. [Oat breeding in the northern steppe of Ukraine] *Visnyk Poltavskoi derzhavnoi ahrarynoi akademii*, 1, 42–45. (in Ukrainian).
85. Sots, S.M. & Kustov, I.O. (2012). Tekhnolohichni vlastyvyty vitchyznianoho zerna holozernoho vivsa. [technological properties of domestic grain of naked oats] *Khranenye y pererobotka zerna*, 4, 47–48. (in Ukrainian).
86. Sots, S.M., Shutenko, Ye.I. & Kustov, I.O. (2011). Holozernyi oves – perspektyvna syrovyna dlia krupianoj promyslovosti. [Naked oats are promising raw materials for the cereal industry] *Zernovi produkty i kombikormy*, 4, 7–8. (in Ukrainian).
87. Sots, S.M., Zhyhunov, D.O. & Kustov, I.O. (2013). Pokazniki yakosti golozernogo vivsa. [Quality indicators of naked oats] *Zernovi produkty i kombikormy*, 1 (49), 10–13 (in Ukrainian).
88. Stewart D. & McDougall G. (2014). Oat agriculture, cultivation and breeding targets: implications for human nutrition and health. *British Journal of Nutrition*, 112, 50–57. doi:10.1017/S0007114514002736
89. Trotsenko, V.I., Ilchenko, V.O. & Zhatova, H.O. (2014). Sortovi osoblyvosti vyroshchuvannia vivsa v umovakh pivnichno-skhidnogo Lisostepu Ukrainy. [Quality characteristics of oats cultivation in the north - eastern-steppe of Ukraine]. *Visnyk Sumskoho natsionalnogo ahrarynogo universytetu*, 3 (27), 115–119. (in Ukrainian).
90. Urbanchik, E.N. & Galdova, M.N. (2021). Izuchenie semennykh svojstv zerna pshenicy i ovsa golozernogo proizrastajushchih na territorii Respubliki Belarus'. [The study of seed properties of grain of wheat and naked oats growing on the territory of the Republic of Belarus] *Tehnologii i tehnicni zasobi suchasnogo agrovirobnictva, VII Mizhnarodna naukovopraktichna konferencija "Innovacijni tehnologii viroshhuvannja, zberigannja i pererobki produkci sadyvnicstva ta roslinnictva"*, 16–19. (in Russian).

91. Varga, B., Vida, G., Varga-László, E., Bencze, S. & Veisz, O. (2015). Effect of simulating drought in various phenophases on the water use efficiency of winter wheat. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 201(1), 1–9. doi: 10.1111/jac.12087
92. Vargach, Ju.I., Horeva, V.I. & Loskutov, I.G. (2017). Soderzhanie belka, masla i krahmala v zernovkah golozernyh i plenchatyh form ovsya. [The content of protein, lipids and starch in grains of naked and hulled forms of oat]. *Fiziologija i biohimija rastenij*, 51, 67–71 (in Russian).
93. Wang, Y. & Frei, M. (2011). Stressed food – The impact of abiotic environmental stresses on crop quality. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 141, 271–286. doi.org/10.1016/j.agee.2011.03.017
94. Webster, F.H. & Wood, P.J. (2011). *Oats chemistry and technology*. Second Edition. St. Paul, MN, USA: AACC International, 363.
95. Welch, R.W. (2011). Chapter 6: Nutrient composition and nutritional quality of oats and comparisons with other cereals. In *Oats: Chemistry and technology*. AACC International, Inc.: St. Paul, MN, USA, 95–107.
96. Wood, P.J. & Beer M.U. (1998). Functional oat products in: *Functional foods: Biochemical and processing aspects*. Ed. G. Mazza, 1–37.
97. Yandeau-Nelson, M.D., Lauter, N. & Zabolina, O.A. (2015). Advances in metabolomic applications in plant genetics and breeding. *CAB Reviews*, 40, 1–17. doi:10.1079/PAVSNNR201510040
98. Yula V.M., Kaminska, V.V. & Mushyk, B.V. (2014). Efektyvnist tekhnolohii vyroshchuvannia vivsa u pivnichnii chastyni Lisostepu. [The effectiveness of the technology of cultivation of oats in the Northern part of the Forest-Steppe]. *Zemlerobstvo*, 1–2, 67–69. (in Ukrainian).
99. Yula, V.M. & Mushyk, B.V. (2016). Vplyv ahrotekhnichnykh faktoriv na urozhainist i yakist zerna vivsa u pravoberezhnomu Lisostepu. [The influence of agrotechnical factors on the productivity and quality of oat grain in right-bank forest-steppe]. *Naukovi dopovidi NUBiP Ukrainy*, 58 (12), 276. (in Ukrainian).
100. Yusova O.A., Nikolaev P.N., Safonova I.V. & Anis'kov N.I. (2020). Izmenenie urozhajnosti i kachestva zerna ovsa s povysheniem adaptivnosti sortov. [Changes in oat grain yield and quality with increased adaptability of cultivars]. *Trudy po prikladnoj botanike, genetike i selekcii*, 181(2), 42–49. doi.org/10.30901/2227-8834-2020-2-42-49 (in Russian).
101. Yusova, O.A. & Vasyukevich, S. V. (2014). Ocenka kollekcionnykh obrazcov ovsa po produktivnosti i biohimicheskim pokazateljam v uslovijah Juzhnoj Lesostepi Zapadnoj Sibiri. [Evaluation of oat collection accessions in terms of productivity and biochemical indices under the conditions of the southern forest-steppe of West Siberia]. *Vestnik Altajskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta № 7 (117)*, 33–37. (in Russian).
102. Zhu, F., Du, B. & Xu, B. (2016). A critical review on production and industrial applications of betaglucans. *Food Hydrocolloids*, 52(2), 275–288. doi.org/10.1016/j.foodhyd.2015.07.003
103. Žilić, S., Šukalović, V.H.T., Dodig, D., Maksimović, V., Maksimović, M. & Basić, Z. (2011). Antioxidant activity of small grain cereals caused by phenolics and lipid soluble antioxidants. *Journal of Cereal Science*, 54 (3), 417–424. doi:10.1016/j.jcs.2011.08.006

Kravchenko A. I., PhD student State Biotechnological University, Kharkov, Ukraine
Growing and perspectives in breeding improvement of naked oats in Ukraine

Under the present conditions of human reorientation to healthy life way, oats is a valuable stuff for food industry. Naked oats ensures new perspectives to be used in processing industry due to expenditure decrease for processing and improved and balanced nutrient content. Range of diet, sport, children food products expands every day, demand for qualitative stuff increases. But soil and climatic conditions of our country are diverse. Hence many varieties of naked oats and various use directions should be applied to meet requirements of producers. These varieties would adapt themselves to growing conditions and be resistant to abiotic and biotic factors of environment.

It was necessary to research biological peculiarities of the crop, influence of various ecological factors on its growth and development and breeding perspectives in Ukraine and development to succeed in research and initial base development of naked oats source material under the conditions of the Forest Steppe Ukraine. The foreign and native literature sources were analyzed to carry out the researches. As a result the response of naked oats plants to the environment conditions of a growing area, climatic changes, causing frequent droughts, hot dry winds under the conditions of the Left-Bank Forest Steppe Ukraine in spring and summer. Besides it is noted that some morphological peculiarities of ear structure viz not close adjoining of flower scales to seeds makes naked oats more vulnerable to damage when seeds are threshed and stored. This morphological peculiarity can reduce the level of seed germination and crops. All these factors have influence on growth and development of naked oats and therefore crop capacity. Oats productivity is a complicated quantitative sign and naked varieties are inferior to in filmy varieties as to this sign considerably. At the present time the potential crop capacity of naked oats varieties is 5,0 t / ha and in practice an average crop capacity is two-three times lower depending on climatic conditions of growing year. Hence the source material is the most valuable for breeding work. The source material is characterized by a high productivity level and resistance to unfavourable conditions of the environment.

Key words: naked oats, variety, breeding, source material, crop capacity, seed quality.

Дата надходження до редакції: 08.12.2021 р.

ВПЛИВ ПЕРЕДПОСІВНОЇ ОБРОБКИ НАСІННЯ КОМПОЗИЦІЯМИ МЕТАБОЛІЧНО АКТИВНИХ РЕЧОВИН НА МОРФОМЕТРИЧНІ ПОКАЗНИКИ ОЗИМОГО ЖИТА В УМОВАХ ПІВДНЯ ПОЛІССЯ УКРАЇНИ

Куриленко Антон Олегович

аспірант

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

ORCID: 0000-0001-7224-1581

anton.kurylenko112@gmail.com

Куриленко Оксана Василівна

старший лаборант

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

ORCID: 0000-0002-6667-8266

Oksanakurylenko01@gmail.com

Кучменко Олена Борисівна

доктор біологічних наук, професор

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

ORCID: 0000-0002-3021-8583

kuchmeb@yahoo.com

Гавій Валентина Миколаївна

кандидат біологічних наук, доцент

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

ORCID: 0000-0002-2804-0456

gaviyv@gmai.com

*Озиме жито є перспективною культурою для зони Полісся України, тому пошук та розробка ефективних і безпечних підходів і засобів для стимуляції росту та розвитку цієї культури є актуальним. Матеріалом дослідження було насіння озимого жита (*Secale cereale* L.) сортів Синтетик 38 і Забава та композиції метаболічно активних речовин, таких як: вітамін Е (10^{-8} М), параоксибензойна кислота (ПОБК) (0,001%), метіонін (0,001%), убіхінон-10 (10^{-8} М) і $MgSO_4$ (0,001%), які використовувалися у поєднаннях: вітамін Е+ПОБК+метіонін, вітамін Е+ПОБК+метіонін+ $MgSO_4$, вітамін Е+убіхінон-10. Проводили передпосівну обробку насіння досліджуваними композиціями. Дослідження проводилися у таких фазах розвитку жита: кущіння, трубкування, колосіння, цвітіння та молочної стиглості. Досліджувані композиції метаболічно активних сполук ефективно стимулюють ріст рослин озимого жита сортів Синтетик 38 і Забава протягом фенологічних фаз розвитку. Найбільший стимулюючий ефект спостерігається у фазі кущіння. Більше спостерігається приріст маси стебла порівняно з висотою у групах рослин із передпосівною обробкою композиціями вітамін Е+ПОБК+метіонін+ $MgSO_4$ та вітамін Е+убіхінон-10. Протягом досліджуваних фенологічних фаз розвитку у групах рослин обох сортів із передпосівною обробкою досліджуваними композиціями зростає довжина, маса та кількість коренів. Найбільший стимулюючий ефект демонструє композиція вітамін Е+ПОБК+метіонін+ $MgSO_4$. Отримані результати можуть свідчити про зростання ефективності функціонування кореневої системи, що і забезпечує ріст рослини. У роботі вперше досліджено вплив композицій метаболічно активних сполук, а саме вітаміну Е, убіхінону, параоксибензойної кислоти, метіоніну та $MgSO_4$ на процеси росту надземної та підземної частин рослин озимого жита сортів Синтетик 38 і Забава та продемонстрована найбільша ефективність композицій Е+ПОБК+метіонін+ $MgSO_4$ та вітамін Е+убіхінон-10 щодо стимуляції росту як надземної, так і підземної частин рослини обох досліджуваних сортів.*

Ключові слова: озиме жито, передпосівна обробка, вітамін Е, убіхінон-10, параоксибензойна кислота, метіонін, $MgSO_4$.

DOI <https://doi.org/10.32845/agrobio.2021.4.4>

Вступ. Озиме жито є однією із найпоширеніших зернових культур у більшості агрокліматичних зон Європи. Для зони Полісся України озиме жито є дуже перспективною культурою, що пов'язано з його біологічними особливостями, зокрема з достатньо високою адаптивною здатністю формувати врожаї на досить бідних ґрунтах. Серед озимих культур озиме жито характеризується високою морозостійкістю, менш вимогливе до вологи,

ефективно використовує осінньо-зимові опади та краще витримує весняні посухи завдяки добре розвиненій кореневій системі (Kunah et al., 2018).

Одним із найбільш перспективних напрямів сучасних агротехнологій є використання біологічних препаратів і стимуляторів росту (Jiang & Asami, 2018; Kuzminyih & Pashkova, 2016; Calvo et al., 2014; Szczepanek, 2018; Horobets et al., 2021). Сьогодні застосовуються різні

методи обробки насіння з використанням безпечних препаратів для людей, тварин і комах, ґрунтового покриву. Серед цих препаратів належне місце займають стимулятори росту, ефект від дії яких був продемонстрований на багатьох культурах. Внаслідок застосування таких препаратів спостерігається модуляція процесу фотосинтезу, оптимізація транспорту поживних речовин і зростання біомаси та врожайності культур. Крім того, ці препарати можуть також виконувати захисну функцію та запобігати розвитку хвороб у рослин (Kurepin et al., 2014; Khalid et al., 2016; Tubic et al., 2016; Yakhin et al., 2017; Zymarioieva et al., 2019). Крім того, стимулятори росту можуть впливати на імунну систему рослин, збільшуючи стійкість рослин до дії несприятливих факторів зовнішнього середовища (Sharma et al., 2014; Asami & Nakagawa, 2018; Docker & Hansson, 2015; Khafagy et al., 2017).

Стимулятори росту здатні відновлювати дефіцит корисних речовин, що впливає на активність ферментів і, відповідно, на багато обмінних процесів в організмі рослини. Може збільшуватися проникність клітинної мембрани коренів і покращення надходження до рослини мінеральних елементів із ґрунту. Водночас при застосуванні стимуляторів росту може прискорюватися поглинання кисню рослинами, що здатне призвести до активізації фотосинтезу і, як наслідок, до зростання врожайності (Korotkova et al., 2021; Alexopoulos et al., 2017; Kumar & Sahoo, 2011). Крім впливу на рослини, стимулятори росту можуть позитивно впливати на мікрофлору самого ґрунту.

Метою дослідження є оцінка впливу передпосівної обробки насіння озимого жита сортів Синтетик 38 і Забава композиціями метаболічно активних речовин на морфометричні показники рослин на різних фазах онтогенезу.

Матеріали і методи досліджень. Матеріалом дослідження було насіння озимого жита (*Secale cereale* L.) сортів Синтетик 38 і Забава та композиції метаболічно активних речовин: вітамін Е (10^{-8} М), параоксибензойна кислота (ПОБК) (0,001 %), метіонін (0,001 %), убіхінон-10 (10^{-8} М) і $MgSO_4$ (0,001 %).

Сорт Синтетик 38 (заявник – Носівська селекційно-дослідна станція Чернігівського Інституту АПВ НААНУ, рік реєстрації – 2006) – зернового та кормового напрямку, озимий, стійкий до вилягання, засухи, осипання, зимостійкість вище середньої; має високий потенціал урожайності (максимальна врожайність – 79,8 ц/га), добре реагує на мінеральне живлення, високостійкий до грибкових захворювань, має крупне зерно, довгий колос і високе стебло (115–120 см), вегетаційний період становить 282–305 діб.

Сорт Забава (заявник – Носівська селекційно-дослідна станція Чернігівського Інституту АПВ НААНУ, рік реєстрації – 2010) – зернового та кормового напрямку, озимий, стійкий до вилягання, засухи, осипання, має високий потенціал урожайності (44,5 ц/га), добре реагує на мінеральне живлення, високостійкий до грибкових захворювань, має крупне зерно, колос напівпохилий, середньої довжини, нещільний, висота рослини 115–120 см.

Польові досліди проводили на території навчально-дослідної агробіостанції Ніжинського державного університету імені Миколи Гоголя впродовж 2019–2021 рр.

Схема досліджень передбачала 4 варіанти:

1. контроль (необроблене насіння);
2. насіння, оброблене композицією речовин: вітамін Е (10^{-8} М) + параоксибензойна кислота (0,001 %) + метіонін (0,001 %) (ЕПМ);
3. насіння, оброблене композицією речовин: вітамін Е (10^{-8} М) + параоксибензойна кислота (0,001 %) + метіонін (0,001 %) + $MgSO_4$ (0,001 %) (ЕПММg);
4. насіння, оброблене композицією речовин: вітамін Е (10^{-8} М) + убіхінон-10 (10^{-8} М) (EQ).

Після обробки композиціями метаболічно активних речовин насіння озимого жита висівали рядковим способом. Ґрунтовий покрив дослідного поля – чорнозем опідзолений, малогумусний.

Дослідження проводилися у таких фазах розвитку жита: куціння, трубкування, колосіння, цвітіння та молочної стиглості.

Аналіз ефективності дії досліджуваних композицій метаболічно активних речовин проводили за такими показниками, як довжина, маса та кількість коренів, висота та маса стебла, маса сухої речовини стебла і коренів.

Статистичну обробку матеріалу проводили із застосуванням методів математичної статистики шляхом використання стандартних вбудованих редакцій пакета спеціалізованого програмного забезпечення MS Office Excel 2010. Для перевірки статистичних гіпотез використовували t-критерій Стьюдента. Числові дані представлені у формі середньої величини зі стандартною помилкою ($M \pm m$). Достовірними вважали відмінності за рівня значущості $p < 0,05$.

Результати. Коренева система відіграє важливу роль у мінеральному живленні рослини. Завдяки добре розвиненій кореневій системі жито може засвоювати поживні елементи із глибших шарів ґрунту, а також ті, що знаходяться у важкодоступних формах. Завдяки розвиненій кореневій системі підвищується продуктивність жита.

Результати досліджень показників кореневої системи озимого жита сортів Синтетик 38 і Забава представлені у табл. 1 і 2. Найінтенсивніше зростання маси коренів із фази куціння до фази цвітіння спостерігається у рослин із групи передпосівної обробки композицією ЕПММg, досягаючи максимальних значень у фазі цвітіння у групах рослин із передпосівною обробкою композицією ЕПММg (на 38 % перевищує значення у контролі) (табл. 1). У фазі молочної стиглості маса коренів зменшується в усіх досліджуваних групах порівняно з контролем, проте у групі рослин із передпосівною обробкою композицією ЕПММg маса коренів залишається на 26 % вищою порівняно з контролем (табл. 1). Подібна динаміка змін маси коренів спостерігається у рослин озимого жита сорту Забава, проте в дещо меншому ступені порівняно з рослинами сорту Синтетик 38 (табл. 2). Так, максимальне зростання спостерігається у рослин із групи передпосівної обробки композицією EQ (на 22 % перевищує контрольні значення). Найбільше зростання маси

коренів із фази кущіння до фази цвітіння спостерігається у групі рослин із передпосівною обробкою композицією ЕПММg (табл. 2).

Найбільше зростання довжини коренів у рослин озимого жита сорту Синтетик 38 із фази кущіння до фази молочної стиглості спостерігається у групі з передпосівною обробкою композиціями ЕПММg і EQ. У фазі молочної стиглості довжина коренів є найбільшою, причому найбільше зростання має місце у групі рослин із передпосівною обробкою композиціями ЕПММg і EQ, що на 13% і 12% перевищило показники контролю відповідно (табл. 1). У рослин жита озимого сорту Забава спостерігається подібна тенденція (табл. 2). У фазі молочної стиглості довжина коренів є більшою порівняно з контрольними величинами у групах рослин із передпосів-

ною обробкою композиціями ЕПМ і ЕПММg, перевищуючи показники на 19% і 26% відповідно (табл. 2).

Кількість коренів у рослин озимого жита сорту Синтетик 38 зростає із фази кущіння до фази цвітіння у всіх досліджуваних групах, окрім групи рослин із передпосівною обробкою насіння композицією ЕПММg, у якій максимальна кількість коренів спостерігається у фазі молочної стиглості та є більшою за показники контролю на 60% (табл. 1). У рослин озимого жита сорту Забава спостерігається подібна тенденція – кількість коренів зростає практично у всіх досліджуваних групах у фазі кущіння до фази цвітіння, окрім групи з передпосівною обробкою насіння композицією ЕПМ; максимальні значення цього показника у цій групі перебільшує значення контрольних величин на 75% (табл. 2). Найбільше зростання у фазі

Таблиця 1

Довжина, маса та кількість коренів рослин озимого жита сорту Синтетик 38 на різних фазах онтогенезу за передпосівної обробки насіння композиціями метаболічно активних сполук, 2019–2021 рр.

Групи	Фази онтогенезу				
	кущіння	вихід втрубку	колосіння	цвітіння	молочної стиглості
Довжина кореня (см)					
Контроль	21,70±0,86	24,27±1,13	24,80±1,46	36,03±2,11	39,17±3,35
ЕПМ	15,23±0,92*	26,00±1,11	28,37±2,32	38,70±3,03	39,40±3,47
ЕПММg	12,23±0,81*	26,63±1,39	39,27±3,48*	41,57±4,03	44,33±3,39
EQ	13,20±0,92*	30,57±1,07*	39,50±1,83*	42,53±2,37*	43,97±3,10
Маса кореня (г)					
Контроль	0,58±0,03	12,27±0,52	17,17±1,13	27,37±1,81	14,10±1,49
ЕПМ	0,84±0,07*	13,27±0,46	24,63±1,68*	27,67±1,91	16,00±1,42
ЕПММg	0,67±0,03	13,47±0,49	35,37±1,95*	37,83±2,86*	26,40±1,68*
EQ	0,74±0,06	12,26±0,54	34,93±2,34*	34,60±2,49*	17,47±1,39
Кількість коренів (шт.)					
Контроль	11,57±0,62	25,77±0,83	24,43±1,11	35,37±1,95	31,07±1,65
ЕПМ	11,80±0,57	26,10±0,91	31,23±2,53*	36,67±2,49	34,03±1,75
ЕПММg	10,93±0,62	26,40±0,80	48,53±3,34*	43,27±3,88*	49,63±2,50*
EQ	11,07±0,61	31,27±1,16*	36,23±1,42*	44,23±3,25*	38,00±1,87*

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

Таблиця 2

Довжина, маса та кількість коренів рослин озимого жита сорту Забава на різних фазах онтогенезу за передпосівної обробки насіння композиціями метаболічно активних сполук, 2019–2021 рр.

Групи	Фази онтогенезу				
	кущіння	вихід у трубку	колосіння	цвітіння	молочної стиглості
Довжина кореня (см)					
Контроль	7,33±0,25	12,27±0,98	37,77±1,83	40,30±2,34	39,43±2,65
ЕПМ	9,53±0,46*	16,20±0,76*	50,63±3,18*	49,50±3,53*	46,77±3,09*
ЕПММg	9,33±0,37*	16,40±0,71*	58,33±2,89*	50,83±3,02*	49,77±3,29*
EQ	10,07±0,53*	28,37±1,54*	48,73±2,86*	47,57±3,48*	45,47±2,58
Маса кореня (г)					
Контроль	0,89±0,06	24,30±1,43	23,73±1,25	27,57±1,80	12,73±1,01
ЕПМ	1,03±0,67	24,27±1,63	24,07±1,33	24,93±1,57	18,57±1,39*
ЕПММg	0,87±0,06	24,03±1,80	26,40±1,80	30,20±2,27	15,27±1,39
EQ	1,38±0,08*	26,13±1,29	27,57±1,82	33,60±2,24*	14,07±1,06
Кількість коренів (шт.)					
Контроль	7,33±0,26	18,03±1,04	32,53±1,78	32,80±1,79	30,37±1,77
ЕПМ	10,50±0,40*	22,27±1,56*	41,83±3,34*	48,50±3,35*	53,27±3,32*
ЕПММg	9,07±0,31*	22,58±1,45*	61,00±2,48*	56,43±3,48*	42,10±3,18*
EQ	9,73±0,38*	28,87±1,87*	42,83±3,27*	41,10±3,06*	35,87±2,09*

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

цвітіння спостерігається у групі рослин із передпосівною обробкою насіння композицією ЕПММg (перевищує контрольні величини на 63%) (табл. 2).

Маса сухої речовини кореня у рослин озимого жита сортів Синтетик 38 і Забава переважно зростає з фази кущіння до фази цвітіння (табл. 3). Так, у рослин сорту Синтетик 38 найбільше зростання спостерігається у групах рослин із передпосівною обробкою насіння композиціями ЕПММg і EQ та у фазі молочної стиглості перевищує показники контролю відповідно на 232% і 156%. У рослин сорту Забава найбільше зростання маси сухої речовини спостерігається у фазі цвітіння у групі рослин із передпосівною обробкою насіння композицією ЕПММg (на 147% порівняно з контролем). У групі рослин із передпосівною обробкою насіння композицією ЕПМ найбільше зростання маси сухої речовини кореня спостерігається у фазі молочної стиглості та перевищує контрольні величини на 74% (табл. 3).

Інтенсивність розвитку кореневої системи визначає ріст і розвиток надземної частини рослини.

Передпосівна обробка насіння композиціями метаболічно активних речовин позитивно впливає на ріст рослин порівняно із контрольною групою (табл. 4). Так, висота стебла рослин озимого жита сорту Синтетик 38 при обробці композиціями ЕПМ, ЕПММg і EQ зростає

відповідно на 15%, 21% і 22% порівняно з контрольними величинами у фазі кущіння. Достовірне зростання величини цього показника спостерігається також і на фазах цвітіння та молочної стиглості. Найбільший приріст величини показника висоти стебла спостерігається у фазі кущіння. Подібна тенденція спостерігається і для рослин сорту Забава. Так, найбільше зростання висоти стебла порівняно з контрольними значеннями спостерігається у фазі кущіння. У фазі молочної стиглості найбільше зростання висоти стебла рослин озимого жита сорту Синтетик 38 спостерігається у групі передпосівної обробки композицією ЕПММg, що на 15% перевищує показники контролю, а рослин сорту Забава – у групі передпосівної обробки композиціями ЕПММg і EQ відповідно на 10% і 12% порівняно з контрольною групою (табл. 4). Динаміка росту стебла рослин озимого жита обох сортів у групах передпосівної обробки всіма досліджуваними композиціями метаболічно активних сполук із фази кущіння до фази молочної стиглості не перевищувала контрольних величин.

Результати дослідження маси стебла рослин озимого жита сортів Синтетик 38 і Забава представлено у табл. 5. Показано, що практично на всіх досліджуваних фазах розвитку рослин озимого жита обох сортів спостерігається достовірне зростання маси стебла

Таблиця 3

Маса сухої речовини коренів (г) рослин озимого жита сортів Синтетик 38 і Забава на різних фазах онтогенезу за передпосівної обробки насіння композиціями метаболічно активних сполук, 2019–2021 рр.

Групи	Фази онтогенезу				
	кущіння	трубкування	колосіння	цвітіння	молочної стиглості
Синтетик 38					
Контроль	0,16±0,04	9,90±0,62	12,70±0,83	15,87±1,04	8,07±0,82
ЕПМ	0,16±0,02	9,50±0,59	16,47±1,24*	15,43±1,34	12,97±1,22*
ЕПММg	0,19±0,0,3	8,13±0,43*	16,00±0,98*	21,03±2,70*	26,83±2,86*
EQ	0,14±0,01	8,27±0,67	16,13±1,22*	16,63±1,12	20,70±1,69*
Забава					
Контроль	0,89±0,09	6,33±0,45	8,97±0,65	9,00±0,70	12,10±1,03
ЕПМ	0,94±0,71	17,17±1,07*	11,98±0,88*	17,83±1,10*	21,07±1,75*
ЕПММg	0,80±0,06	11,57±0,82*	18,60±1,36*	22,27±1,55*	13,73±1,74
EQ	1,20±0,09*	17,40±1,23*	13,23±1,12*	17,07±1,38*	12,10±1,10

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

Таблиця 4

Висота стебла (см) рослин озимого жита сортів Синтетик 38 і Забава на різних фазах онтогенезу за передпосівної обробки насіння композиціями метаболічно активних сполук, 2019–2021 рр.

Групи	Фази онтогенезу				
	кущіння	трубкування	колосіння	цвітіння	молочної стиглості
Синтетик 38					
Контроль	12,96±0,48	34,68±1,73	47,62±0,93	68,60±1,52	1223,73±36,42
ЕПМ	14,93±0,73*	38,31±2,44	50,34±1,45	74,26±3,09*	1323,33±40,16*
ЕПММg	15,66±0,77*	38,05±2,37	49,74±1,40	76,48±3,36*	1405,37±28,96*
EQ	15,77±0,58*	37,40±1,98	48,77±0,96	73,42±2,31*	1308,93±33,76
Забава					
Контроль	12,75±0,45	34,28±1,88	45,50±1,04	69,50±1,58	1280,03±44,82
ЕПМ	15,65±0,60*	38,83±2,39*	49,73±1,04*	74,66±1,52*	1365,20±24,39
ЕПММg	14,46±0,54*	34,92±1,74	46,71±1,01*	81,07±1,50*	1402,30±13,84*
EQ	15,60±0,48*	37,14±2,14	51,32±1,07*	76,96±1,44*	1438,00±19,90*

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

у рослин досліджуваних груп порівняно з рослинами контрольної групи. Максимальне зростання маси стебла спостерігається у фазі цвітіння у рослин озимого жита сорту Синтетик 38 у групах із передпосівною обробкою насіння композиціями ЕПММg і EQ, що на 44% і 52% перевищило показники контролю відповідно. Приріст маси стебла з фази кущіння до фази цвітіння саме у цих групах є достовірно більшим порівняно з контрольною групою та групою з передпосівною обробкою насіння композицією ЕПМ. У рослин озимого жита сорту Забава найбільший приріст маси стебла з фази кущіння до фази цвітіння спостерігається у групі з передпосівною обробкою насіння композицією EQ (перевищує контрольні значення на 91%). У фазі молочної стиглості маса стебла рослин озимого жита сорту Синтетик 38 дещо збільшується у всіх дослідних групах, проте у групах із передпосівною обробкою насіння композиціями ЕПММg і EQ вона є більшою порівняно з контрольними значеннями відповідно на 34% та 41%. Приріст маси стебла рослин озимого жита сорту Забава з фази кущіння до фази цвітіння найбільший у групі з передпосівною обробкою насіння композицією EQ порівняно з контрольною групою.

У таблиці 6 наведено результати вимірювання маси сухої речовини стебла рослин озимого жита сортів Синтетик 38 і Забава. Найбільший приріст маси сухої речо-

вини стебла рослин озимого жита сорту Синтетик 38 із фази кущіння до фази молочної стиглості спостерігається у групах із передпосівною обробкою насіння композиціями ЕПММg і EQ порівняно з контрольною групою та групою з передпосівною обробкою композицією ЕПМ. У фазі молочної стиглості маса сухої речовини стебла у групах із передпосівною обробкою насіння композиціями ЕПММg і EQ зростала, перевищуючи показники контролю на 47% і 36% відповідно. У рослин озимого жита сорту Забава найбільший приріст маси сухої речовини стебла протягом досліджуваних фаз розвитку спостерігається у групі з передпосівною обробкою насіння композицією ЕПММg та у фазі молочної стиглості перевищує контрольні значення на 53% (табл. 6).

Обговорення. Регуляція росту та зменшення впливу факторів навколишнього середовища на організм рослини є важливими факторами, які визначають продуктивність культури (Yakhin et al., 2017). Стимулятори росту здатні сприяти збільшенню біомаси, оптимізувати зростання рослин, скорочувати вегетаційний період, активізувати фотосинтетичні процеси тощо (Yakhin et al., 2017; Korotkova et al., 2021). У роботі досліджуються композиції метаболічно активних сполук, які є природними метаболітами. Досліджувані композиції метаболічно активних сполук ефективно стимулюють ріст рос-

Таблиця 5

Маса стебла (г) рослин озимого жита сортів Синтетик 38 і Забава на різних фазах онтогенезу за передпосівної обробки насіння композиціями метаболічно активних сполук, 2019–2021 рр.

Групи	Фази онтогенезу				
	кущіння	трубкування	колосіння	цвітіння	молочної стиглості
Синтетик 38					
Контроль	4,56±0,20	41,17±2,05	68,37±3,99	89,03±4,16	97,27±4,35
ЕПМ	6,16±0,34*	50,10±2,19*	84,50±4,32*	89,73±6,57	94,93±6,77
ЕПММg	5,17±0,26*	58,63±3,25*	85,33±4,24*	127,83±10,55*	130,40±10,30*
EQ	5,50±0,31*	44,63±2,06	89,87±3,96*	135,50±9,05*	136,70±8,11*
Забава					
Контроль	4,11±0,26	58,63±3,74	68,83±2,95	97,57±5,92	100,43±5,91
ЕПМ	6,49±0,34*	80,37±4,13*	90,63±3,51*	106,97±5,85	109,40±5,34
ЕПММg	5,68±0,25*	80,17±4,41*	102,03±4,29*	100,33±6,10	105,33±6,61
EQ	6,99±0,41*	77,50±3,97*	109,60±3,99*	151,43±9,16*	156,93±8,87*

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

Таблиця 6

Маса сухої речовини стебла (г) рослин озимого жита сортів Синтетик 38 і Забава на різних фазах онтогенезу за передпосівної обробки насіння композиціями метаболічно активних сполук, 2019–2021 рр.

Групи	Фази онтогенезу				
	кущіння	трубкування	колосіння	цвітіння	молочної стиглості
Синтетик 38					
Контроль	1,09±0,07	13,47±0,91	29,90±1,87	31,17±1,90	39,60±2,84
ЕПМ	1,34±0,07*	13,37±0,87	32,77±2,85	33,50±3,24	48,37±3,08*
ЕПММg	1,30±0,08*	14,23±1,10	33,73±2,22	43,50±3,42*	58,07±2,82*
EQ	1,30±0,08*	38,57±1,62*	37,07±2,17*	31,40±1,81	53,70±2,98*
Забава					
Контроль	0,86±0,05	11,27±0,63	32,13±2,59	31,37±2,18	39,80±2,60
ЕПМ	1,16±0,07*	11,70±0,89	37,43±2,91	39,87±2,60	47,00±3,06*
ЕПММg	1,03±0,06	18,43±0,89*	46,03±3,06*	50,83±3,19*	60,87±3,04*
EQ	1,33±0,10*	13,63±0,89	36,03±2,67	42,93±2,98*	43,97±2,43

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

лин озимого жита сортів Синтетик 38 і Забава протягом фенологічних фаз розвитку. Найбільший стимулюючий ефект спостерігається у фазі куціння. Більше спостерігається приріст маси стебла порівняно з висотою у групах рослин із передпосівною обробкою композиціями ЕПММг і EQ.

З отриманих даних випливає, що коренева система рослин озимого жита сортів Синтетик 38 і Забава також позитивно реагує на вплив досліджуваних композицій метаболічно активних речовин. Так, протягом досліджуваних фенологічних фаз розвитку у групах рослин обох сортів із передпосівною обробкою досліджуваними композиціями зростає довжина, маса і кількість коренів. Найбільший стимулюючий ефект демонструє композиція ЕПММг. Отримані результати можуть свідчити про зростання ефективності функціонування кореневої системи, що і забезпечує ріст рослини.

Треба відзначити, що ефекти цих композицій метаболічно активних сполук є маловивченими. Отримані результати узгоджуються з попередніми дослідженнями ефектів композицій у регуляції росту і розвитку рослин сої (Козючко та ін., 2020). Продемонстровані ефекти досліджуваних композицій можуть бути зумовлені ефектами окремих компонентів, їх взаємодією, а також способом обробки рослин. Оскільки застосовували саме передпосівну обробку насіння, то продемонстровані ефекти можуть визначатися впливом досліджуваних сполук на метаболізм насінини. Так, параоксисбензойна кислота завдяки своїм антиоксидантним властивостям може проявляти захисну дію щодо насіння, подовжуючи їх життєздатність. Крім того, вона здатна ефективно впливати на ростові процеси й окисний метаболізм (Cho et al, 1998; Barkosky & Einhellig, 2003). Оскільки респіраторний метаболізм є однією із важливіших систем регуляції обмінних процесів у клітинах, функціонування окремих її компонентів може ефективно впливати на різні метаболічні шляхи і, таким чином, на фізіологічні показники росту і розвитку рослини загалом (Skrypnik et al, 2021).

Вітамін Е й убіхінон є потужними антиоксидантами та задіяні у рослинному організмі до захисту їх від надмірної активації окисних процесів. Вітамін Е здатен взаємодіяти із фітогормонами та іншими антиоксидантами. Найвища концентрація вітаміну Е спостерігається саме у насінні, де він бере участь у процесах проростання. На подальших етапах розвитку рослини вітамін Е забезпечує захист від згубної дії надмірної кількості продуктів окислення, які утворюються внаслідок перебігу багатьох біохімічних процесів (Miret & Munné-Bosch, 2015; Sattler et al., 2004; Mokroshor, 2014). Убіхінон також володіє потужними антиоксидантними властивостями та відіграє центральну роль у енергетичному метаболізмі клітини (Miret & Munné-Bosch, 2015; Liu & Lu, 2016). Крім того, у роботах (Rozhnova & Gerashchenkov, 2014; Stahl et al., 2019) продемонстровано імуностимулюючу, антифітовірусну й антибактеріальну властивості вітаміну Е (α -токоферолу) й убіхінону.

Не менш важливу роль у регуляції ростових процесів у рослин відіграють амінокислоти та мінеральні речовини. Амінокислота метіонін і солі магнію сульфату відіграють важливу роль у багатьох метаболічних процесах у клітинах. Зокрема, активні форми метіоніну слугують донорами метильних груп і сірки, він необхідний у біосинтезі білків, бере участь в обміні води у рослинному організмі (Hildebrandt, 2015). Магній як кофермент входить до складу багатьох ферментів і регулює процеси росту та розвитку рослин (Maathuis, 2009).

Висновки. У роботі вперше досліджено вплив композицій метаболічно активних сполук, а саме вітаміну Е, убіхінону, параоксисбензойної кислоти, метіоніну та $MgSO_4$ на процеси росту надземної та підземної частин рослин озимого жита сортів Синтетик 38 і Забава. Продемонстрована найбільша ефективність композицій ЕПММг і EQ щодо стимуляції росту як надземної, так і підземної частин рослини обох досліджуваних сортів. Результати проведеного дослідження можуть мати практичне значення для подальшого вивчення впливу цих композицій на рослинні організми з метою обґрунтування їх використання у рослинництві.

Бібліографічні посилання:

1. Kuzminyih, A.N., & Pashkova, G.I. (2016). Urozhaynost i kachestvo zerna ozimoy rzhi v zavisimosti ot primeneniya stimulyatorov rosta [Productivity and grain quality of winter rye depending on the use of growth stimulants]. Vestnik Mariyskogo Gosudarstvennogo Universiteta. Seriya "Selskohozyaystvennyie Nauki. Ekonomicheskie Nauki", 1(5), 26–29 (in Russian).
2. Yakhin, O.I., Lubyaynov, A.A., Yakhin, I.A., & Brown, P.H. (2017). Biostimulants in plant science: A global perspective. *Frontiers in Plant Science*, 7. doi: 10.3389/fpls.2016.02049
3. Korotkova, I.V., Horobets, M.V., & Chaika, T.O. (2021). Vplyv Stymulatoriv Rostu Na Produktyvnyist Sortiv Yachmeniu Yaroho [Influence of Growth Stimulators on Productivity of Spring Barley Varieties]. *Visnyk Poltavskoi Derzhavnoi Ahrarnoi Akademii*, 2, 20–30 (in Ukrainian). doi: 10.31210/visnyk2021.02.02
4. Cho, J.-Y., Moon, J.-H., Seong, K.-Y., & Park, K.-H. (1998). Antimicrobial Activity of 4-Hydroxybenzoic Acid and trans 4-Hydroxycinnamic Acid Isolated and Identified from Rice Hull. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*, 62(11), 2273–2276. doi: 10.1271/bbb.62.2273
5. Barkosky, R.R., & Einhellig, F.A. (2003). Allelopathic interference of plant-water relationships by parahydroxybenzoic acid. *Botanical Bulletin of Academia Sinica*, 44(1), 53–58. doi: 10.7016/BBAS.200301.0053
6. Skrypnik, L., Maslennikov, P., Novikova, A., & Kozhikin, M. (2021). Effect of Crude Oil on Growth, Oxidative Stress and Response of Antioxidative System of Two Rye (*Secale cereale* L.) Varieties. *Plants*, 10(1), 157. doi: 10.3390/plants10010157
7. Miret, J.A., & Munné-Bosch, S. (2015). Redox signaling and stress tolerance in plants: a focus on vitamin E. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1340(1), 29–38. doi: 10.1111/nyas.12639
8. Sattler, S.E., Gilliland, L.U., Magallanes-Lundback, M., Pollard, M., & DellaPenna, D. (2004). Vitamin E Is Essential for Seed Longevity and for Preventing Lipid Peroxidation during Germination. *The Plant Cell*, 16(6), 1419–1432. doi: 10.1105/tpc.021360
9. Mokroshor, V.M. (2014). Functions of tocopherols in the cells of plants and other photosynthetic organisms. *The Ukrainian Biochemical Journal*, 86(5), 26–36. doi: 10.15407/ubj86.05.026

10. Liu, M., & Lu, S. (2016). Plastoquinone and Ubiquinone in Plants: Biosynthesis, Physiological Function and Metabolic Engineering. *Frontiers in Plant Science*, 7. doi: 10.3389/fpls.2016.01898
11. Stahl, E., Hartmann, M., Scholten, N., & Zeier, J. (2019). A Role for Tocopherol Biosynthesis in Arabidopsis Basal Immunity to Bacterial Infection. *Plant Physiology*, 181(3), 1008–1028. doi: 10.1104/pp.19.00618
12. Rozhnova N.A., & Gerashchenkov G.A. (2014). Protein and biochemical markers in systemic induced resistance to phytoviruses in tobacco and potato plants. *Trudy Po Prikladnoj Botanike, Genetike i Selekcii*, 175(4), 99–108 (in Russian).
13. Hildebrandt, T.M., Nunes Nesi, A., Araújo, W.L., & Braun, H.-P. (2015). Amino Acid Catabolism in Plants. *Molecular Plant*, 8(11), 1563–1579. doi: 10.1016/j.molp.2015.09.005
14. Maathuis, F.J. (2009). Physiological functions of mineral macronutrients. *Current Opinion in Plant Biology*, 12(3), 250–258. doi: 10.1016/j.pbi.2009.04.003
15. Koziuchko, A.H., Havii, V.M., & Kuchmenko, O.B. (2020). Vplyv peredposivnoi obrobky nasinnia metabolichno aktyvnymi rehovynamy na okremi fiziologichni pokaznyky soi sortu Annushka ta yii produktyvnist [Influence of pre-sowing treatment of seeds with metabolically active substances on certain physiological parameters of Annushka soybean and its productivity]. *Naukovi Zapysky Ternopilskoho Natsionalnoho Pedahohichnoho Universytetu Imeni Volodymyra Hnatiuka. Seriya: Biolohiia*, 1–2(70), 84–90 (in Ukrainian).
16. Alexopoulos, A.A., Karapanos, I.C., Akoumianakis, K.A., & Passam, H.C. (2017). Effect of Gibberellic Acid on the Growth Rate and Physiological Age of Tubers Cultivated from True Potato Seed. *Journal of Plant Growth Regulation*, 36(1), 1–10. doi: 10.1007/s00344-016-9616-z
17. Asami, T., & Nakagawa, Y. (2018). Preface to the Special Issue: Brief review of plant hormones and their utilization in agriculture. *Journal of Pesticide Science*, 43(3), 154–158. doi: 10.1584/jpestics.M18-02
18. Bakhmat, M.I., Sendetsky, I.V., Kozina, T.V., & Sendetsky, V.M. (2019). The influence of growth regulator and seeding rates on the formation of winter rape production in the conditions of the Western Forest-Steppe. *Agrology*, 2(3), 189–193. doi: 10.32819/019027
19. Dockter, C., & Hansson, M. (2015). Improving barley culm robustness for secured crop yield in a changing climate. *Journal of Experimental Botany*, 66(12), 3499–3509. <https://doi.org/10.1093/jxb/eru521>
20. Horobets M., Chaika T., Krykunova V. (2021). Influence of growth stimulants on the ontogenesis of spring barley (*Hordeum Vulgare* L.). *Colloquium-journal*, (7(94)), 41-42. doi: 10.24412/2520-6990-2021-794-41-42
21. Jiang, K., & Asami, T. (2018). Chemical regulators of plant hormones and their applications in basic research and agriculture*. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*, 82(8), 1265–1300. DOI: 10.1080/09168451.2018.1462693
22. Abdel-Moneim Khafagy, M. (2017). Effect of Pre-treatment of Barley Grain on Germination and Seedling Growth Under Drought Stress. *Advances in Applied Sciences*, 2(3), 33. <https://doi.org/10.11648/j.aas.20170203.12>
23. Khalid, S., Malik, A.U., Khan, A.S., Razzaq, K., & Naseer, M. (2016). Plant Growth Regulators Application Time Influences Fruit Quality and Storage Potential of Young “Kinnow” Mandarin Trees. *International Journal of Agriculture and Biology*, 18(03), 623–629. <https://doi.org/10.17957/IJAB/15.0136>
24. Kumar, G., & Sahoo, D. (2011). Effect of seaweed liquid extract on growth and yield of *Triticum aestivum* var. Pusa Gold. *Journal of Applied Phycology*, 23(2), 251–255. DOI: 10.1007/s10811-011-9660-9
25. Kunah, O.M., Pakhomov, O.Y., Zymarioeva, A.A., Demchuk, N.I., Skupskiy, R.M., Bezuhla, L.S., & Vladyka, Y.P. (2018). Agroecological and agroecological aspects of spatial variation of rye (*Secale cereale*) yields within Polesia and the Forest-Steppe zone of Ukraine: The usage of geographically weighted principal components analysis. *Biosystems Diversity*, 26(4), 276–285. DOI: 10.15421/011842
26. Kurepin, L.V., Zaman, M., & Pharis, R.P. (2014). Phytohormonal basis for the plant growth promoting action of naturally occurring biostimulators. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 94(9), 1715–1722. DOI: 10.1002/jsfa.6545
27. Sharma, H.S.S., Fleming, C., Selby, C., Rao, J.R., & Martin, T. (2014). Plant biostimulants: a review on the processing of macroalgae and use of extracts for crop management to reduce abiotic and biotic stresses. *Journal of Applied Phycology*, 26(1), 465–490. DOI: 10.1007/s10811-013-0101-9
28. Szczepanek, M. (2018). Technology of maize with growth stimulants application. *Engineering for Rural Development*, 17, 483–490. DOI: 10.22616/ERDev2018.17.N074
29. Tubić, L., Savić, J., Mitić, N., Milojević, J., Janošević, D., Budimir, S., & Zdravković-Korać, S. (2016). Cytokinins differentially affect regeneration, plant growth and antioxidative enzymes activity in chive (*Allium schoenoprasum* L.). *Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC)*, 124(1), 1–14. DOI: 10.1007/s11240-015-0869-1
30. Zymarioeva, A., Zhukov, O., Romanchuk, L., & Pinkin, A. (2019). Spatiotemporal dynamics of cereals grains and grain legumes yield in Ukraine. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 25(6), 1107–1113.

Kurylenko A. O., PhD student, Nizhyn Gogol State University, Nizhyn, Ukraine

Kurylenko O. V., Senior Laboratory Assistant of the educational-scientific laboratory for biochemical and medical-valeological research, Nizhyn Gogol State University, Nizhyn, Ukraine

Kuchmenko O. B., Doctor (Biological Sciences), Professor, Nizhyn Gogol State University, Nizhyn, Ukraine

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

Influence of presowing treatment of seeds with compositions of metabolically active substances on morphometric indexes of winter rye varieties synthetic 38 and Zabava at different stages of ontogenesis

Winter rye is a promising crop for the Polissya region of Ukraine, so the search for and development of effective and safe approaches to stimulate the growth and development of this crop is relevant. The material of the study was the seeds of winter rye (*Secale cereale* L.) varieties Synthetic 38 and Zabava, and compositions of metabolically active substances: vitamin E (10^{-8} M), paraoxybenzoic acid (POBA) (0,001%), methionine (0,001%), ubiquinone-10 (10^{-8} M) and $MgSO_4$ (0,001%), which were used in the following combinations – vitamin E+POBA+methionine, vitamin E+POBA+methionine+ $MgSO_4$, vitamin E+ubiquinone-10. Presowing treatment of seeds with the studied compositions was performed. The research was conducted in the following phases of rye development: tillering, tubing, earing, flowering and milk ripeness. The studied compositions of metabolically active compounds effectively stimulate the growth of winter rye plants of Synthetic 38

and Zabava varieties during phenological phases of development. The greatest stimulating effect is observed in the tillering phase. At the same time, there is a greater increase in stem mass compared to height in groups of plants with presowing treatment with compositions of vitamin E+POBA+methionine+MgSO₄ and vitamin E+ubiquinone-10. During the studied phenological phases of development in groups of plants of both varieties with presowing treatment with the studied compositions increases the length, weight and number of roots. The composition of vitamin E+POBA+methionine+MgSO₄ shows the greatest stimulating effect. The results obtained may indicate an increase in the efficiency of the root system, which ensures the growth of the plant. The influence of compositions of metabolically active compounds, namely vitamin E, ubiquinone, paraoxybenzoic acid, methionine, and MgSO₄ on the growth processes of aboveground and underground parts of winter rye plants of Synthetic 38 and Zabava varieties was investigated for the first time and the highest efficiency of vitamin E+POBA+methionine+MgSO₄ and vitamin E+ubiquinone-10 to stimulate the growth of both aboveground and underground parts of the plant of both studied varieties.

Key words: winter rye, presowing treatment, vitamin E, ubiquinone-10, paraoxybenzoic acid, methionine, MgSO₄.

Дата надходження до редакції: 29.11.2021 р.

ПРОДУКТИВНІСТЬ ПРОСАПНОЇ СІВОЗМІНИ ЗА РІЗНИХ СИСТЕМ ОСНОВНОГО ОБРОБІТКУ Й УДОБРЕННЯ В УМОВАХ ЗРОШЕННЯ ПІВДНЯ УКРАЇНИ

Малярчук Микола Петрович

доктор сільськогосподарських наук, старший науковий співробітник
Інститут зрошуваного землеробства Національної академії аграрних наук України, м. Херсон, Україна
ORCID: 0000-0002-0150-6121
mpmaliarchuk@gmail.com

Грановська Людмила Миколаївна

доктор економічних наук, професор
Інститут зрошуваного землеробства Національної академії аграрних наук України, м. Херсон, Україна
ORCID: 0000-0001-7021-3093
G-ludmila15@ukr.net

Писаренко Павло Володимирович

доктор сільськогосподарських наук, старший науковий співробітник
Інститут зрошуваного землеробства Національної академії аграрних наук України, м. Херсон, Україна
ORCID: 0000-0002-2104-2301
pavel_pisarenko74@ukr.net

Малярчук Анастасія Сергіївна

кандидат сільськогосподарських наук
Інститут зрошуваного землеробства Національної академії аграрних наук України, м. Херсон, Україна
ORCID: 0000-0001-5845-269x
maliarchukas@gmail.com

Томницький Анатолій Валентинович

кандидат сільськогосподарських наук
Інститут зрошуваного землеробства Національної академії аграрних наук України, м. Херсон, Україна
ORCID: 0000-0002-7820-4383
izz.ua@ukr.net

У статті висвітлені результати експериментальних досліджень впливу різних способів і глибини основного обробітку ґрунту на фоні трьох систем удобрення у сівозміні на урожайність сільськогосподарських культур та енергетичну ефективність технологій їх вирощування.

Метою статті було встановлення впливу мінімізованого основного обробітку й органічних і органо-мінеральних систем удобрення на формування агрофізичних властивостей, водного режиму ґрунту та продуктивності 4-пільної сівозміни в умовах зрошення півдня України. Методи: польовий, кількісно-ваговий, візуальний, лабораторний, розрахунково-порівняльний, математично-статистичний методи з використанням загальновідомих в Україні методик і методичних рекомендацій. Система основного диференційованого обробітку, що базується на безпліцевому мілкому обробітку, поєднаному з одним щілюванням за ротацію сівозміни на глибину 38–40 см, забезпечила зниження енергетичних витрат порівняно із різноглибинною оранкою на 53,5% і сприяла оптимізації агрофізичних властивостей і водного режиму ґрунту, створивши умови для реалізації генетично обумовленого потенціалу продуктивності сортів і гібридів.

У середньому за роки досліджень (2016–2020 рр.) встановлено, що найвищу урожайність культур сівозміни забезпечувало внесення добрив дозою $N_{120}P_{60}$ у розрахунку на один гектар сівозмінної площі, на фоні різноглибинної полицевої та диференційованої-1 систем основного обробітку. Так, урожайність зерна кукурудзи відповідно становила 14,44 та 14,82 т/га, сої – 4,31 і 4,34 т/га, пшениці озимої 6,81 та 6,90 т/га та сорго зернового – 7,09 і 7,70 т/га.

Найнижчі технологічні витрати встановлені у варіанті з дисковим розпушуванням на 12–14 см у системі безпліцевого мілкого одноглибинного основного обробітку ґрунту без внесення мінеральних добрив – 53,2 ГДж/га.

Найвищу продуктивність 8,43 т/га зерна й енергомісткість врожаю сільськогосподарських культур сівозміни 159,5 ГДж забезпечила диференційована-1 система основного обробітку з одним щілюванням (38–40 см) за ротацію на фоні органо-мінеральної системи удобрення з використанням побічної продукції культур сівозміни та розрахункової дози мінеральних добрив $N_{120}P_{60}$ на гектар сівозмінної площі з окупністю енергетичних витрат 2,05.

Ключові слова: система, спосіб і глибина обробітку ґрунту, щільність складення, водопроникність, енергоємність.

DOI <https://doi.org/10.32845/agrobio.2021.4.5>

Вступ. Сільськогосподарська галузь – одна з провідних в економіці України, від її розвитку залежить рівень забезпеченості населення продуктами харчування та важливих галузей промисловості – сировиною. Удосконалення технологій вирощування, стійке нарощування обсягів виробництва, створення надійного фонду продуктів харчування – головні умови успішного виконання соціальної програми щодо підвищення рівня життя громадян України (Bezuhlyi & Prysiazhniuk, 2012).

Протягом останніх десятиріч відбулися суттєві зміни умов ведення землеробства на зрошуваних землях Південного Степу України, спостерігаються тенденції до аридизації клімату, змінилися організаційні умови господарювання, у виробництві застосовують нові високопродуктивні сорти та гібриди культур, що викликає необхідність перегляду підходів до формування інтенсивної системи зрошеного землеробства в Україні з урахуванням всього комплексу технологічних та агробіологічних вимог (Pysarenko, 2010; Vozhehova et al., 2013).

Багаторічними дослідженнями ефективності технологій вирощування сільськогосподарських культур на зрошуваних землях встановлено безперечну перевагу над неполивними землями навіть за мінімального рівня застосування агроресурсів. Так 25-річні дослідження ІЗЗ НААН свідчать, що приріст урожаю завдяки зрошенню становив: при вирощуванні пшениці озимої – 30,7 ц/га; кукурудзи на зерно – 27,3; сої – 18,7; кукурудзи на силос – 457 ц/га (Bazaliy et al., 2009; Lavrunenko et al., 2016; Parajuli et al., 2013; Kokovikhin et al., 2009).

Зона Степу України характерна нестійким природним зволоженням, а це не дає можливості в посушливі роки повною мірою використовувати потенційну родючість ґрунтів (Baliuk & Romashenko, 2006). Тому удосконалення наявних та економічне й енергетичне обґрунтування нових способів і систем основного обробітку ґрунту в короткоротаційних сівозмінах на зрошуваних землях є актуальним і потребує поглиблених експериментальних досліджень.

Основний обробіток ґрунту є одним із найважливіших агротехнічних заходів у технологіях вирощування, який бере участь у формуванні агрофізичних властивостей, водного і поживного режиму ґрунту та продуктивності сільськогосподарських культур (Ahmed Abed Gatea Al-Shammary et al., 2018; Gathala & Timsina, 2014).

Мета досліджень полягала у визначенні впливу органічних і органо-мінеральних систем удобрення за мінімізованого основного обробітку на закономірності формування агрофізичних властивостей, водного та поживного режиму ґрунту, урожайності сільськогосподарських культур і продуктивності 4-пільної просапної в умовах зрошення півдня України.

Матеріали та методи досліджень. У стаціонарному досліді Інституту зрошеного землеробства НААН України протягом 2016–2020 рр. у 4-пільній просапній сівозміні на Інгулецькій зрошувальній системі проводилися експериментальні дослідження зі встановлення ефективності застосування мінімізованих систем чизельного, дискового і диференційованого основного обробітку з використанням ґрунтообробних знарядь із різною кон-

струкцією робочих органів, які відрізнялися між собою глибиною розпушування, витратами непоновлюваної енергії та матеріальних ресурсів на їх виконання.

Землі експериментальної бази Інституту зрошеного землеробства НААН, де проводилися основні дослідження, розташовані у східній частині Білозерського району Херсонської області. Територія району розташована у північній частині Причорноморської низовини на правому березі р. Дніпро у межах верхньопліценової тераси (Mogozov, 2013).

Ґрунт дослідного поля темно-каштановий, середньосуглинковий, в орному шарі міститься гумусу 2,06%, загального азоту – 20,0, фосфору – 40,0 та калію – 300,0 мг/кг ґрунту, найменша вологоємність – 21,2%, вологість в'янення – 9,1%, рівноважна щільність складення – 1,41 г/см³, щільність твердої фази 2,61 г/см³ (Vozhehova et al., 2017).

На родючість впливають ущільненість ґрунтів, низькі водно-фізичні властивості, солонцюватість. Каштанові ґрунти є об'єктом зрошувальних меліорацій (Ushkarenko et al., 2010).

У польових дослідях висівали районовані для степової зони сорти та гібриди сільськогосподарських культур, занесені до «Державного реєстру сортів рослин, придатних для поширення в Україні». (<https://minagro.gov.ua/ua/file-storage/reustr-sortiv-roslin>).

Закладання варіантів досліду основного обробітку виконували ґрунтообробними знаряддями в агрегаті із трактором Т-150 К: полицевий різноглибинний – плугом лемішним начіпним – ПЛН-5-35; безполицевий різноглибинний – плугом чизельним – ПЧ-2,5; дисковий і комбінований (дисковий із ґрунтопоглибленням) важкою дисковою бороною БДВП-3,0-01.

Агротехніка у дослідях загальноновизнана для культур сівозміни окрім факторів, що ставилися на експериментальне дослідження. Повторність у досліді 4-разова. Площа посівної ділянки – 742 м², облікової – 50,0 м²

У сівозміні досліджували п'ять систем основного обробітку ґрунту (Фактор А) з різними способами, прийомами та глибиною розпушування на фоні однієї органічної та двох органо-мінеральних систем удобрення.

Фактор А (обробіток ґрунту):

1. Система різноглибинного основного обробітку ґрунту з обертанням скиби із глибиною розпушування від 14–16 до 25–27 см.

2. Система різноглибинного основного обробітку ґрунту без обертання скиби з чизельним розпушуванням на таку саму глибину.

3. Система одноглибинного мілкого безполицевого обробітку ґрунту з дисковим розпушуванням на глибину 12–14 см.

4. Система диференційованого-1 обробітку ґрунту на фоні мілкого обробітку від 8 до 16 см із одним щількуванням за ротацію сівозміни на глибину 38–40 см.

5. Система диференційованого-2 обробітку ґрунту з однією оранкою за ротацію сівозміни на глибину 18–20 см.

Фактор В (система удобрення)

1. Органічна система удобрення – з використанням побічної продукції сільськогосподарських культур сівозміни.

2. Органо-мінеральна система удобрення із внесенням загальноновизнаних доз внесення мінеральних добрив: під кукурудзу на зерно – $N_{120}P_{60}$; під сорго зернове – $N_{60}P_{60}$; під сою – $N_{60}P_{60}$; під пшеницю озиму – $N_{90}P_{60}$, що у розрахунку на один гектар сівозмінної площі становить $N_{82,5}P_{60}$ + побічна продукція.

3. Органо-мінеральна система удобрення – із внесенням розрахункових доз мінеральних добрив: під кукурудзу на зерно – $N_{180}P_{60}$; під сорго зернове – $N_{120}P_{60}$; під сою – $N_{60}P_{60}$; під пшеницю озиму – $N_{120}P_{60}$ з дозою у розрахунку на один гектар сівозмінної площі $N_{120}P_{60}$ + побічна продукція.

Вологість шару ґрунту 0–50 см підтримувалася на рівні 70% НВ вегетаційними поливами, водами високої мінералізації з несприятливим співвідношенням одно- та двовалентних катіонів (поливні води Інгулецької зрошувальної системи за ДСТУ-2730:2015 (DSTU 2730:2015, 2016).

Під час експерименту застосовували польовий, кількісно-ваговий, візуальний, лабораторний, розрахунково-порівняльний, математично-статистичний методи з використанням загальноновизнаних в Україні методик і методичних рекомендацій (Vozhehova et al., 2014).

Щільність складення орного шару встановлювали за методом ріжучих кілець (DSTU 4362:2004, 2004), водопроникність – методом заливних майданчиків у тригодинній експозиції з подальшим визначенням глибини промочування (DSTU 4362:2004, 2006). Сумарне водоспоживання посівів визначали методом водного балансу без урахування підживлення ґрунтовими водами (Vozhehova et al., 2013).

Пористість ґрунту визначалася у шарах ґрунту 0–10 см, 10–20, 20–30, 30–40 см за формулою:

$$P = (1 - \frac{W}{W_{тв.ф.}}), \text{ де}$$

P – пористість, %;

W – щільність складення ґрунту, г/см³;

$W_{тв.ф.}$ – щільність твердої фази ґрунту, г/см³.

Результати. Експериментальні системи основного обробітку істотно впливали на продуктивність праці, витрати непоновлюваної, як матеріалізованої, так і антропогенної, енергії. За систематичного проведення під усі культури сівозміни різноглибинної й одноглибинної мілкої системи основного обробітку без обертання

скиби витрати на їх виконання були меншими порівняно із системою різноглибинної оранки відповідно на 41,5 і 66,7%. Диференційовані за способами та глибиною системи основного обробітку ґрунту з одним щільванням та однією оранкою за ротацію сівозміни забезпечили зменшення енергетичних витрат відповідно на 53,5 і 46,7% (табл. 1).

Застосування для обробітку ґрунту знарядь із різною конструкцією робочих органів певною мірою впливає на весь комплекс агрофізичних властивостей ґрунту, у тому числі і на щільність складення, пористість і водопроникність.

Дослідженнями встановлено, що способи, прийоми та глибина обробітку мали істотний вплив на щільність складення. Так, на початку весняної вегетації найбільш близькими до оптимальних показників для культур сівозміни вони були за різноглибинних і диференційованої-1 систем обробітку (табл. 2). До збирання врожаю відбувається закономірне ущільнення ґрунту в усіх варіантах досліду, водночас найбільш істотним воно було у варіанті одноглибинного мілко безполицевого обробітку.

Визначення щільності складення шару ґрунту 0–40 см під впливом різних систем основного обробітку ґрунту в сівозміні дало можливість встановити коливання досліджуваного показника у межах 1,26–1,32 г/см³ у період сходів. Найбільш розпушеним виявився шар ґрунту 0–40 см у варіантах диференційованої-1 і різноглибинного основного обробітку з обертанням скиби, де щільність складення становила 1,26 г/см³.

Застосування одноглибинного мілко (12–14 см) дискового обробітку ґрунту в сівозміні призвело до зростання щільності складення на 0,06 г/см³, або на 4,8%.

Подібна закономірність відзначалася і перед збиранням урожаю. Тут також збереглася тенденція до ущільнення нижніх шарів ґрунту, за рахунок яких і формувалися підвищені показники щільності складення шару ґрунту 0–40 см у межах 1,28–1,34 г/см³.

Протягом вегетації різноглибинна полицева та диференційована-1 системи основного обробітку ґрунту забезпечили достатньо близький за щільністю складення орний шар, а безполицева мілка призвела до розмежування орного шару на більш розпушену верхню (0–15 см) його частину й ущільнену (15–40 см) нижню, що пояснюється концентрацією післяжнивних решток

Таблиця 1

Ресурсно-енергетична оцінка систем основного обробітку темно-каштанового ґрунту у 4-пільній просапній сівозміні на зрошенні

Основний обробіток ґрунту	Затрати праці, люд.год/га %	Витрати пального, кг/га %	Витрати непоновлюваної енергії,		
			усього, МДж/га %	антропогенної, МДж/га %	матеріалізованої, МДж/га %
Полицевий різноглибинний	1,0 100	20,4 100	1501,6 100	60,0 100	1441,6 100
Безполицевий різноглибинний	0,58 58,0	15,1 74,0	871,6 58,5	41,2 68,7	830,4 57,6
Безполицевий одноглибинний	0,33 33,0	9,8 48,8	499,4 33,3	24,1 40,2	475,3 33,0
Диференційо-ваний-1	0,47 47,0	12,6 61,7	697,7 46,5	33,4 55,7	664,3 46,1
Диференційо-ваний-2	0,53 53,0	13,5 66,1	800,0 53,3	38,7 64,5	761,3 52,8

у верхній частині орного шару за обробітку знаряддями дискового типу.

У прямій залежності від щільності складення орного шару знаходилася його пористість. Чим більш ущільнений був ґрунт за варіантами дослідів, тим нижчою була його пористість, що ускладнювало вбирання і фільтрацію води у зону розташування кореневої системи.

Результати експериментальних досліджень, отримані у досліді, свідчать про те, що у фазу сходів показники загальної пористості шару ґрунту 0–40 см були практично однаковими, хоча і спостерігалася тенденція до її підвищення у варіантах полицевого і безполицевого різноглибинних і диференційованого-1 основного обробітку ґрунту. Різниця між варіантами становила 1,3%.

Перед збиранням урожаю майже в усіх варіантах дослідів відзначається зниження пористості. У варіанті різноглибинного полицевого основного обробітку ґрунту загальна пористість була у межах оптимальних параметрів і становила 51,2%, тоді як у варіанті безполицевого мілкого одноглибинного обробітку вона знизилася до 48,7%, або на 4,9 відсотки порівняно з контролем.

Результати досліджень свідчать про те, що на водопроникність мають вплив способи основного обробітку ґрунту та глибина розпушування.

Більш високою водопроникністю формувалася у варіантах застосування систем диференційованого-1 і полицевого різноглибинного основного обробітку ґрунту та становила 4,3 мм/хв. Заміна оранки різноглибинним чизельним розпушуванням призвела до зниження водопроникності на 11,6%, а мілким дисковим – на 30,3% із показниками відповідно 3,8 і 3,0 мм/хв. На кінець вегетації культур сівозміни показники водопроникності знизилися порівняно із початковими, що пов'язано з ущільненням ґрунту під дією атмосферних опадів, поливної води, ходових систем тракторів і робочих органів ґрунтообробних знарядь.

Аналізуючи кількість використаної вологи залежно від способів, прийомів, глибини основного обробітку під

окремі культури та систем основного обробітку ґрунту в сівозміні, необхідно зазначити, що застосування диференційованого-1 обробітку ґрунту сприяло найбільшому використанню вологи з ґрунту – 1075 м³/га та сумарного водоспоживання 5329 м³/га у розрахунку на 1 га сівозмінної площі (табл. 3). За системи диференційованого-2 обробітку ґрунту з однією оранкою за ротацію цей показник знизився до 5192 м³/га, а за мілкого одноглибинного до 5093 м³/га, або відповідно на 3,6 та 4,4%.

Аналіз складників сумарного водоспоживання свідчить про те, що потреба у воді за варіантами обробітку ґрунту забезпечувалася на 18–22% за рахунок продуктивних запасів вологи у ґрунті, на 23–24% за рахунок атмосферних опадів і на 55–58% за рахунок поливної води. Найбільш ефективно використовувалася волога на створення однієї тони продукції у варіанті систем диференційованого-1 обробітку з показником – 1064 м³/т, тоді як за безполицевого мілкого (12–14 см) витрати води зростають до 1644 м³/т, або на 56,4%.

Зміни агрофізичних властивостей і водного режиму зумовили створення різних умов для росту та розвитку с.-г. культур і формування врожаю.

У середньому за роки досліджень встановлено, що найвищу урожайність культур сівозміни забезпечувало внесення добрив дозою N₁₂₀P₆₀ у розрахунку на один гектар сівозмінної площі, на фоні різноглибинної полицевої та диференційованої-1 систем основного обробітку. Так, урожайність зерна кукурудзи відповідно становила 14,44 і 14,82 т/га, сої – 4,31 та 4,34 т/га, пшениці озимої 6,81 та 6,90 т/га та сорго зернового – 7,09 та 7,70 т/га (табл. 4).

Застосування безполицевої мілкої одноглибинної та диференційованої-2 систем основного обробітку ґрунту (варіант 3, 5) призвело до істотного зниження урожайності всіх культур сівозміни.

Мілке (12–14 см) розпушування у системі тривалого застосування одноглибинного безполицевого обробітку

Таблиця 2

Агрофізичні властивості ґрунту за різних систем основного обробітку в сівозміні на зрошенні, середнє за 2016–2020 рр.

Показники	Строк визначення	Система обробітку ґрунту				
		полицева різноглибинна	безполицева різноглибинна	безполицева мілка одноглибинна	диференційована-1	диференційована-2
Щільність складення, г/см ³	сходи	1,26	1,28	1,32	1,26	1,30
	збирання	1,28	1,29	1,34	1,29	1,31
Сходи НІР ₀₅ , г/см ³ – 0,04; збирання НІР ₀₅ , г/см ³ – 0,03						
Пористість, %	сходи	51,9	51,2	49,3	51,9	50,3
	збирання	51,2	50,5	48,7	50,5	49,7
Сходи НІР ₀₅ , % – 1,2; збирання НІР ₀₅ , % – 1,0						
Водопроникність, мм/хв.	сходи	4,3	3,8	3,0	4,3	3,5
	збирання	3,7	3,2	2,4	3,9	2,9
Сходи НІР ₀₅ , мм/хв. – 0,5; збирання НІР ₀₅ , мм/хв. – 0,3						

Таблиця 3

Показники водного режиму ґрунту за різних систем основного обробітку в сівозміні на зрошенні

Показники	Системи основного обробітку ґрунту				
	полицева різноглибинна	безполицева різноглибинна	безполицева одноглибинна	диференційована-1	диференційована-2
Сумарне водоспоживання, м ³ /га	5294	5218	5093	5329	5192
Складові балансу:					
Використана волога з ґрунту, м ³ /га %	$\frac{1040}{20}$	$\frac{964}{18}$	$\frac{839}{16}$	$\frac{1075}{20}$	$\frac{938}{18}$
Опади, м ³ /га %	$\frac{1254}{24}$	$\frac{1254}{25}$	$\frac{1254}{25}$	$\frac{1254}{24}$	$\frac{1254}{24}$
Зрошувальна норма, м ³ /га %	$\frac{3000}{56}$	$\frac{3000}{57}$	$\frac{3000}{59}$	$\frac{3000}{56}$	$\frac{3000}{58}$
Коефіцієнт водоспоживання, м ³ /т	1134	1222	1664	1064	1242
Середньодобове випаровування, м ³ /га	46,4	45,8	44,6	46,8	45,5

Таблиця 4

Урожайність сільськогосподарських культур коротко-ротаційної сівозміни за різних систем основного обробітку ґрунту та доз внесення добрив, т/га

Система основного обробітку ґрунту (фактор А)	Система удобрення (фактор В)	Культура сівозміни				Середнє
		пшениця озима	кукурудза на зерно	соя	сорго зернове	
Полицева різноглибинна (контроль)	органічна - фон (контроль)	3,15	4,26	2,76	2,89	4,00
	фон+ N _{82,5} P ₆₀	6,01	11,43	3,68	6,90	7,01
	фон+ N ₁₂₀ P ₆₀	6,81	14,44	4,34	7,09	8,17
Безполицева різноглибинна	органічна	3,01	3,81	2,48	2,51	2,95
	фон+ N _{82,5} P ₆₀	5,53	10,81	3,34	6,58	6,57
	фон+ N ₁₂₀ P ₆₀	6,25	13,64	3,98	6,81	7,67
Безполицева одноглибинна мілка	органічна	2,70	3,05	1,77	2,04	2,39
	фон+ N _{82,5} P ₆₀	5,26	8,16	2,41	4,59	5,11
	фон+ N ₁₂₀ P ₆₀	5,91	10,08	2,83	4,76	5,90
Диференційована-1	органічна	3,24	4,46	2,81	3,03	3,39
	фон+ N _{82,5} P ₆₀	6,08	11,81	3,79	7,51	7,30
	фон+ N ₁₂₀ P ₆₀	6,90	14,82	4,31	7,70	8,43
Диференційована-2	органічна	2,89	3,73	2,40	2,54	2,89
	фон+ N _{82,5} P ₆₀	5,34	10,28	3,37	6,28	6,32
	фон+ N ₁₂₀ P ₆₀	6,13	13,01	3,94	6,43	7,38
NIP ₀₅ , т/га		A = 0,08 B = 0,11	A = 0,32 B = 0,23	A = 0,13 B = 0,15	A = 0,09 B = 0,25	

та без внесення мінеральних добрив призвело до формування найменшої врожайності культур сівозміни (від 1,77 т/га сої до 3,05 т/га кукурудзи).

Найвищі технологічні витрати встановлені у варіанті системи полицевого основного обробітку ґрунту з оранкою під культури сівозміни на глибину від 14–16 до 25–27 см і внесенні мінеральних добрив дозою N₁₂₀ P₆₀ кг/га – 79,7 ГДж/га, тоді як найменші витрати енергії (53,2 ГДж/га) були на варіанті з дисковим розпушуванням на 12–14 см у системі безполицевого мілкового одноглибинного основного обробітку ґрунту без внесення мінеральних добрив.

Оцінюючи енергетичну ефективність технологій вирощування культур у сівозміні на зрошенні, можна зробити висновок, що вони всі достатньо ефективні, водно-

час максимальний енергетичний коефіцієнт на рівні 2,05 одержано при вирощуванні культур сівозміни за диференційованого-1 основного обробітку ґрунту та внесенні добрив дозою N₁₂₀ P₆₀. Мінімальним (0,86) цей показник виявився за органічної системи удобрення у варіанті одноглибинного безполицевого обробітку на глибину 12–14 см (табл. 5).

Обговорення. Для вирішення проблеми оптимізації рівнів продуктивності сільськогосподарських культур у кожному полі сівозміни необхідно всебічно вивчати вплив зрошення та інших елементів технологій вирощування на стан штучних агроєкосистем (Aleksandrov et al., 2000; Saiko & Malieyenko, 2007; Boiko et al., 2004).

Використання для виробництва енергії переважно викопного органічного палива має наслідком збільшення

**Енергетична ефективність технології вирощування сільськогосподарських культур
за різних систем обробітку ґрунту й удобрення**

№ з.п.	Система обробітку ґрунту	Показники ефективності		
		затрати енергії, ГДж	вихід валової енергії, ГДж	ЕК
Органічна (побічна продукція)				
1	Полицева різноглибинна	57,8	62,9	1,10
2	Безполицева різноглибинна	56,4	57,0	1,01
3	Безполицева мілка	53,2	46,2	0,86
4	Диференційована-1	55,1	66,0	1,20
5	Диференційована-2	55,9	55,3	0,99
Органо-мінеральна (побічна продукція +N _{82,5} P ₆₀)				
1	Полицева різноглибинна	68,7	134,4	1,95
2	Безполицева різноглибинна	67,9	126,1	1,86
3	Безполицева мілка	66,1	98,2	1,49
4	Диференційована-1	67,0	135,6	2,02
5	Диференційована-2	66,8	121,3	1,81
Органо-мінеральна (побічна продукція +N ₁₂₀ P ₆₀)				
1	Полицева різноглибинна	79,7	156,8	1,97
2	Безполицева різноглибинна	78,2	147,6	1,89
3	Безполицева мілка	77,0	113,4	1,47
4	Диференційована-1	77,9	159,5	2,05
5	Диференційована-2	77,7	141,7	1,82

викидів шкідливих речовин і парникових газів, що може привести до катастроф екосистем нашої планети. Тож найважливішим напрямом, розвиток якого здатний стримувати зростаюче забруднення навколишнього середовища відходами енергетики, є енергозаощадження (Higogov, 2010).

Основним напрямком розвитку землеробства у південному регіоні на найближчу перспективу є розробка агрозаходів, спрямованих на накопичення, збереження та раціональне використання вологи ґрунту й опадів, як основи стабілізації виробництва рослинницької продукції на півдні. Значним резервом підвищення економічної ефективності зрошувального землеробства є оптимізація поливних режимів з урахуванням біологічних особливостей рослин, меліоративного стану земель, погодних умов вегетаційного періоду та ін. (Zhuikov & Dymov, 2004).

Результати багаторічних експериментальних досліджень свідчать про те, що в умовах зрошення на півдні України найбільш економічно вигідна й екологічно безпечна система диференційованого обробітку, що включає впродовж ротації сівозміни мілкий безполицевий обробіток ґрунту під сільськогосподарські культури степового еко типу (озимі, ярі зернові, багаторічні бобові трави й однорічні культури у проміжних посівах) із глибоким, безполицевим обробітком ґрунту під просапні культури (Markovs'ka, 2010).

Важливого значення набувають також питання ресурсозбереження в інтенсивних технологіях вирощування польових культур: способів і глибини основного обробітку ґрунту, систем удобрення із використанням побічної продукції культур сівозмін для підтримання рівноважного балансу гумусного стану ґрунту, сучасних підходів до системи обробітку ґрунту, запровадження біологічно оптимальних режимів зрошення, зокрема їх моделювання у цілісній технології, яка дозволяє істотно збіль-

шити продуктивність рослин за зменшення фінансових та енергетичних витрат (Kravchuk et al., 2013).

Позитивний вплив безполицевого і полицевого обробітку на продуктивність сільськогосподарських культур виявлено у багатьох наукових установах. За мінімізації обробітку ґрунту врожайність сільськогосподарських культур не лише не знижується, але й подеколи навіть збільшується за загального зменшення енерговитрат на обробіток (Kosolap & Krotynov, 2011; Bomba, 2007; Gathala et al., 2014).

Економічні аспекти ефективності систем обробітку ґрунту в конкретних аграрних підприємствах досліджували Ю.Л. Філімонов і В.М. Нагаєв (Filimonov & Nagaev, 2011), однак у більшості відомих нам досліджень зазвичай відсутній комплексний підхід до оцінки економічної ефективності саме цілісної нульової технології вирощування сільськогосподарських культур, а не лише окремих її складників. Як показали багаторічні дослідження (Hospodarenko, 2002; Hudz' et al., 2007) застосування закордонної техніки забезпечує економію коштів під час вирощування 5,4%, а із застосуванням вітчизняної техніки – 9,1% від виробничих витрат за традиційною технологією.

Використання ґрунтозахисного землеробства може привести до ущільнення ґрунту, особливо це стосується тих ґрунтів, де до цього застосовувалися неправильні методи обробітку та сівби. Регулювання строків сівби, способів обробітку, чергування культур, знання реакції ґрунту на різні системи та глибину обробітку, а також використання безполицевих або чизельних робочих органів може сприяти досягненню успіхів ґрунтозахисного землеробства. Використання покривних культур і сівозмін із проміжними (післяукісними та післяжнивними) посівами забезпечує зниження щільності складення ґрунту (Hrabak, 2003; Shykula et al, 1998).

З одного боку, мінімальний обробіток дозволяє скоротити виробничі витрати на його проведення на 15–20 %, у тому числі витрати пального на 30–35 %, підвищити продуктивність праці на 25–30 %, захистити ґрунт від вітрової та водної ерозії та деградації, підвищити вміст органічної речовини у верхньому шарі (0–10 см) і забезпечити однакову врожайність сільськогосподарських культур порівняно із традиційною оранкою. З іншого – необґрунтоване застосування мілкого (12–16 см) і поверхневого (6–8 см) основного обробітку із тривалим застосуванням знарядь дискового типу викликає різке підвищення щільності складення та зменшення пористості ґрунту, що призводить до погіршення водопроникності та зниження запасів продуктивної вологи у кореневмісному

шарі ґрунту за рахунок стоку води від атмосферних опадів і зрошення (Maliarchuk, 2012).

Висновки. Диференційована система основного обробітку ґрунту в 4-пільній просапній сівоzmіні на зрошуваних землях, за якої протягом ротації мілкий дисковий обробіток поєднується з одним щільуванням на глибину 38–40 см на фоні органо-мінеральної системи удобрення з внесенням мінеральних добрив дозою $N_{120}P_{60}$ у розрахунок на 1 га сівоzmінної площі та використанням всієї побічної продукції культур сівоzmіни, забезпечує формування оптимальних для росту і розвитку рослин агрофізичних властивостей, водного режиму ґрунту та продуктивності – 159,5 ГДж. і окупність витрат із енергетичним коефіцієнтом – 2,05.

Бібліографічні посилання:

1. Ahmed Abed Gatea Al-Shammary, Abbas Z. Kouzani, Akif Kaynak, Sui Yang Khoo, Michael Norton & Will Gates (2018). Soil Bulk Density Estimation Methods: A Review. *Pedosphere*. 28, 4, 2018, 581–596 doi: 10.1016/S1002-0160(18)60034-7
2. Aleksandrov, V.T., Hladii, M.V., Lavrov, E.M., & Rishniak, I.M. (2000). Zernovi ta khliboproduktiv tovarobih v Ukraini: Entsiklopedychnyi dovidnyk [Grain and bakery products turnover in Ukraine. Encyclopedic reference book]. Artek. Kyiv (in Ukrainian).
3. Bazalii, V.V., Kokovikhin, S.V., Pysarenko, P.V., & Mishukova, L.S. (2009). Vplyv riznykh vydiv polyviv na produktyvnist pshenytsi ozymoi v umovakh pivdnia Ukrainy [Influence of different types of irrigation on the productivity of winter wheat in the south of Ukraine]. *Tavriiskyi naukovyi visnyk*. 67, 93–102 (in Ukrainian).
4. Baliuk, S.A., Romashchenko, M. . (2006). Naukovi aspekty staloho rozvytku zroshennia zemel v Ukraini [Scientific aspects of sustainable development of land irrigation in Ukraine]. DIA, Kyiv, 32 (in Ukrainian).
5. Bezuhlyi, M.D., & Prysiazhniuk, M.V. (2012). Suchasnyi stan reformuvannia aharno-promyslovoho kompleksu Ukrainy [The current state of reform of the agro-industrial complex of Ukraine]. *Ahrarna nauka*, Kyiv : 46 (in Ukrainian).
6. Boiko P.I., Kovalenko, N.P., & Opara, M.M. (2004). Systemy zemlerobstva ta sivozmyny: istoriia, suchasnyi stan i perspektyvy rozvytku [Systems of agriculture and crop rotation: history, current status and prospects]. *Visnyk Poltavskoi derzhavnoi ahraanoi akademii – Bulletin of the Poltava State Agrarian Academy*, 3, 21–26 (in Ukrainian).
7. Bomba, M.Ia. (2007). Naukovi ta prykladni aspekty obrobitku gruntu v suchasnomu zemlerobstvi: monohrafiia [Scientific and applied aspects of tillage in modern agriculture: monograph]. Spolom, Lviv : 172 (in Ukrainian).
8. Derzhavnyi reiestr sortiv roslyn, prydatnykh dlia poshyrennia v Ukraini na 2021 r. [State Register of Plant Varieties Suitable for Distribution in Ukraine for 2021]. Ministerstvo rozvytku ekonomiky, torhivli ta silskoho hospodarstva Ukrainy. Kyiv. 2021. [Electronic resource]. Access mode: <https://minagro.gov.ua/ua/file-storage/reiestr-sortiv-roslyn> (in Ukrainian).
9. DSTU 2730:2015. Yakist pryrodnoi vody dlia zroshennia. Ahronomichni kryterii [Quality of natural water for irrigation. Agronomic criteria]. (2016). Kyiv : DP “UkrNDNTs” (in Ukrainian).
10. DSTU 4362:2004 Yakist gruntu. Vyznachennia shchilnosti skladennia na sukhu masu [Soil Quality. Determination of Bulk Density on Dry Weight]. (2004). Kyiv: DP “UkrNDNTs” (in Ukrainian).
11. DSTU 4362:2004. Yakist gruntu. Pokaznyky rodiuchosti gruntiv [Soil Quality. Soil Fertility Indices] (2006). Kyiv, Derzhspozhyvstandart (in Ukrainian).
12. Filimonov, Yu.L., & Nahaiev, V.M. (2011). Tekhnolohichni i ekonomichni aspekty efektyvnosti system obrobitku gruntu [Technological and economic aspects of the efficiency of tillage systems]. *Visnyk KhNAU. Seriiia “Ekonomichni nauky”*, 4, 248–254 (in Ukrainian).
13. Gathala, M.K. & Timsina, J. (2014). Conservation agriculture based tillage and crop establishment options can maintain farmers’ yields and increase profits in South Asias’s rice-maize systems. *Evidence from Bangladesh Field Crops Research*. 85–98. doi: 10.1016/2014.12.003
14. Hospodarenko, H.M. (2002). Osnovy intehrovanooho zastosuvannia dobyrv: monohrafiia [Fundamentals of integrated fertilizer application: monograph]. Nehlava, Kyiv : 344 (in Ukrainian).
15. Hudz, V.P. & Prymak, I.D. et al. (2007). Adaptivni systemy zemlerobstva: pidruchnyk [Adaptive systems of agriculture: textbook]. Kyiv: Tsentri uchbovoi l–ry, 336 (in Ukrainian).
16. Hrabak, N.Kh. (2003). Optymizatsiia okremykh elementiv ahrotekhniki prosapnykh kultur v gruntozakhyssnomu zemlerobstvi [Optimization of individual elements of agrotechnics of row crops in soil-protective agriculture]. *Visnyk ahraanoi nauky Prychornomia*, 12, 99–103 (in Ukrainian).
17. Hryhorov, M.S. (2010). Vysokoeffektivnoe vnutrypochvennoe oroshenye [Highly efficient subsurface irrigation]. *Yzvestyia Nyzhnevolzhskoho ahrounyversytetskoho kompleksa*. 1, 3–5 (in Russian).
18. Kokovikhin, S.V., Zaveriukhin, V.I., & Suzdal, O.S. (2009). Efektyvnist rezhyviv zroshennia riznykh za skorostyhlituu sortiv soi v umovakh pivdnia Ukrainy [Efficiency of irrigation regimes of different precocious soybean varieties in the south of Ukraine]. *Tavriiskyi naukovyi visnyk*, 65, 135–144 (in Ukrainian).
19. Kosolap, N.P., & Krotynov A.P. (2011). Systemy zemlerobstva No-till: navchalnyi posibnyk [No-till farming systems: textbook]. Lohos. Kyiv (in Ukrainian).
20. Kravchuk, V., & Tarhonia, V. (2013). Biosfera i silskohospodarske vyrobnytstvo v Ukraini: rozvytok normatyvnoi bazy [Biosphere and agricultural production in Ukraine: the development of the regulatory framework]. *Tekhnika i tekhnolohii APK*. 6, 25–31 (in Ukrainian).

21. Lavrynenko, Yu.O., Hozh, O.A. & Vozhehova, R.A. (2016). Productivity of corn hybrids of different FAO groups depending on microfertilizers and growth stimulants under irrigation in the south of Ukraine. *Agricultural science and practice*, 1, 55–60. doi: DOI: 10.15407/agrisp3.01.055
22. Maliarchuk, M.P., Vozhehova, R.A., & Markovska, O.Ye. (2012). Formuvannya system osnovnoho obrobittu gruntu v ahrobiotsenozakh na meliorovanykh zemliakh pivdennoi posushlyvoi ta sukhostepovoi gruntovo–ekolohichniy pidzon Ukrainy [Formation of systems of basic tillage in agrobiocenoses on reclaimed lands of the southern arid and dry steppe soil-ecological subzone of Ukraine]. *Ailant*, 1. Kherson, 80 (in Ukrainian).
23. Markovska, O.Ye. (2010). Produktivnist korotkorotatsiinoi prosapnoi sivozminy na zroshenni zalezho vid sposobiv i system osnovnoho obrobittu gruntu [Productivity of short-row crop rotation on irrigation depending on the methods and systems of basic tillage]. *Irrigated agriculture*, 53, 18–23 (in Ukrainian).
24. Morozov, O.V. (2013). Otsinka suchasnoho stanu zroshuvanykh gruntiv Khersonskoi oblasti [Assessment of the current state of irrigated soils of Kherson region. *Irrigation agriculture*]. *Zroshuvane zemlerobstvo*, 59, 131–134 (in Ukrainian).
25. Parajuli, P.B., Jayakody P., Sassenrath, G.F., Ouyang, Y., Pote, J.W. (2013) Assessing the impacts of crop-rotation and tillage on crop yields and sediment yield using a modeling approach. *Agricultural Water Management*. 119, 32–42. doi.org/10.1016/j.agwat.2012.12.010
26. Pysarenko, P.V. (2010). Produktivnist zroshuvanykh zemel' [Productivity of irrigated lands]. *Zroshuvane zemlerobstvo*, 54, 140–145 (in Ukrainian).
27. Saiko, V.F., & Malienko, A.M. (2007). Systemy obrobittu gruntu v Ukraini [Tillage systems in Ukraine]. Kyiv, EKMO, 44 (in Ukrainian).
28. Shykula, M.K., Antonets, S.S., & Andri, V.O (1998). Vidtvorennia rodiuchosti gruntiv u gruntozakhysnomu zemlerobstvi [Reproduction of soil fertility in soil protection agriculture]. *Oranta*, Kyiv, 608 (in Ukrainian).
29. Ushkarenko, V.O., Morozov V.V., Kolesnikov, V.V., Liashevskiy, V.I., & Tyshchenko, O.P. (2010). Heoinformatsiini systemy dlia upravlinnia zroshuvanymy zemliamy: navchalnyi posibnyk [Geographic information systems for irrigated land management: tutorial]. LT–Ofis, Kherson, 15 (in Ukrainian).
30. Vozhehova, R.A., Biliaieva, I.M., & Kokovikhin, S.V. (2017). Ekoloho–melioratyvni aspekty pidvyshchennia rodiuchosti ta produktivnosti zroshuvanykh gruntiv v umovakh Pivdennoho Stepu Ukrainy [Ecological and reclamation aspects of increasing the fertility and productivity of irrigated soils in the Southern Steppe of Ukraine]. *Tavriiskiy naukoviy visnyk*, 97, 22–30 (in Ukrainian).
31. Vozhehova, R.A., Lavrynenko, Yu.O., & Maliarchuk, M.P. (2014). Metodyka pol'ovykh i laboratornykh doslidzhen' na zroshuvanykh zemlyakh [Methods of field and laboratory research on irrigated lands]. Hrin' D.S., Kherson: 285 (in Ukrainian).
32. Vozhehova, R.A., Lavrynenko, Yu.O., & Pysarenko, P.V. et al (2013). Instruktisia po operatyvnomu rozrakhunku polyvnykh rezhymiv ta prohnoz polyviv silskohospodarskykh kultur za defitsytom volohozapasiv [Methodical Recommendations on Planning and Executive Management of Irrigation Regimes in the Conditions of the South of Ukraine]. *Ailant*, Kherson: 46 (in Ukrainian)
33. Vozhehova, R.A., Holoborodko S.P., & Hranovska, L.M. (2013). Zroshennia v Ukraini: realii sohodennia ta perspektyvy vidrodzhennia [Irrigation in Ukraine: current realities and prospects of revival]. *Zroshuvane zemlerobstvo*, 60, 3–12. (in Ukrainian)
34. Zhuikov, H.Ye., & Dymov, O.M. (2004). Napriamy vykorystannia silskohospodarskykh zemel Khersonshchyny v poreformeniyi period [Directions of use of agricultural lands of Kherson region in the post-reform period]. *Tavriiskiy naukoviy visnyk*, 31, 125–129 (in Ukrainian).

Maliarchuk M. P., Doctor (Agricultural Sciences), Senior researcher, Institute of Irrigated Agriculture NAAS, Kherson, Ukraine
Granovska L. M., Doctor (Economic Sciences), Professor, Institute of Irrigated Agriculture NAAS, Kherson, Ukraine
Pysarenko P. V., Doctor (Agricultural Sciences), Senior researcher, Institute of Irrigated Agriculture NAAS, Kherson, Ukraine
Maliarchuk A. S., PhD (Agricultural Sciences), Institute of Irrigated Agriculture NAAS, Kherson, Ukraine
Tomnitskiy A. V., PhD (Agricultural Sciences), Institute of Irrigated Agriculture NAAS, Kherson, Ukraine

Productivity of the row crop rotation at different systems of basic tillage and fertilizer in the conditions of irrigation of South of Ukraine

The results of experimental studies of the influence of various methods and depth of basic soil tillage against the background of three fertilization systems in crop rotation on the productivity of agricultural crops and the energy efficiency of technologies for their cultivation are covered in the article.

The purpose of the article was to define conformities to law of forming of agrophysics properties of dark-chestnut soil, productivity of agricultural cultures of 4-fields crop rotation, to economic and power efficiency of technologies of their growing on a background the minimized systems of basic tillage and fertilizer in the conditions of irrigation of South of Ukraine. Methods: field, quantitative-weight, visual, laboratory, computational-comparative and mathematical-statistical methods using generally recognized in Ukraine methods and guidelines Results. System of the basic differentiated tillage which is based on plowless shallow tillage which combines with one slotting on 38–40 cm for a rotary press on a background provided the power cost cutting as compared to the different depth ploughing on 53,5% and assisted optimization of agrophysics properties and water mode of soil, creating terms for realization of the genetically conditioned potential of productivity of sorts and hybrids.

On average, over the years of research, it was established that the highest yield in crop rotation was ensured by the application of fertilizers with a dose of $N_{120}P_{60}$ per hectare of crop rotation area, against the background of plowing on different depths and differentiated systems of basic tillage. Thus, the yield of grain corn was, respectively, 14,44 and 14.82 t/ha, soybean – 4,31 and 4,34 t/ha, winter wheat 6,81 and 6,90 t/ha and grain sorghum – 7,09 and 7,70 t/ha

The lowest technological costs were established in the version with disc-tillage by 12–14 cm in the system at the single-depth basic tillage without mineral fertilizers – 53,2 GJ/ha.

Conclusion: the highest productivity on the energy capacity of harvest of crops of crop rotation was provided by differentiated - 1 system of basic tillage with one slotting (38-40 cm) for a crop rotation on a background the organo-mineral system of fertilizer with the use of side products of cultures of crop rotation and dose of mineral fertilizers of $N_{120}P_{60}$ with an index 159,5 GJ and power coefficient 2,05.

Key words: system, method and depth of soil tillage, bulk density, water permeability, energy intensity.

Дата надходження до редакції: 16.12.2021 р.

ДИНАМІКА КОПИТНИХ ТВАРИН ЗА СУЧАСНОГО АНТРОПОГЕННОГО НАВАНТАЖЕННЯ В ЛІСОМИСЛИВСЬКИХ ГОСПОДАРСТВАХ СУМСЬКОЇ ОБЛАСТІ

Мельник Андрій Васильович

доктор сільськогосподарських наук, професор
Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна
ORCID: 0000-0002-8606-6750
melnyk_ua@yahoo.com

Товстуха Олександр Володимирович

кандидат сільськогосподарських наук, доцент
Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна
ORCID: 0000-0002-9925-3029
kafedra_spg@ukr.net

Мельник Тетяна Іванівна

кандидат біологічних наук, професор
Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна
ORCID: 0000-0002-3839-6018
tatmel72@ukr.net

Кременецька Євгенія Олексіївна

кандидат сільськогосподарських наук, доцент
Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна
ORCID: 0000-0001-5581-7868
e.kremenetska@gmail.com

Троцька Світлана Сергіївна

кандидат біологічних наук, ст. викладач
Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна
ORCID: 0000-0003-2089-5780
s.s.trotska@gmail.com

За сучасних кліматичних змін та підвищення антропогенного навантаження на навколишнє середовище неминучими є зміни у тваринному світі, зокрема серед мисливських тварин. Антропогенне навантаження виражається в збільшенні використання пестицидів та інших полютантів у доглядових заходах сільськогосподарського та лісового господарства. Зменшення площ природних лук скоротило кормову базу трав'янистих тварин. Розорювання прируслових угідь, осушування боліт також негативно впливає на розмноження копитних тварин, особливо за спекотних літніх умов. Тенденції щодо суттєвого зменшення природних біотопів для тварин спостерігаються по всій території України.

Доведено, що мисливські угіддя України порівняно з угіддями інших європейських країн характеризуються незначною продуктивністю. Так, щільність копитних на 1 тис. га становить лише 0,06 голови, що в десятки разів менше ніж у країнах Європи. У видовому різноманітті мисливських копитних домінуюче місце в угіддях України займає козуля (167,7 тис. голів), що становить 75,2%. Друге місце за поширенням класично займає дикий кабан – 28,5 тис. голів. Чисельність оленя благородного (шляхетного) та оленя плямистого становить 13,7 та 4,3 тис. голів. Поступово нарощується поголів'я лані (1,3 тис. голів) та муфлони (0,9 тис. голів).

Аналіз динаміки кількості мисливських тварин в угіддях Сумської області виявив, що, незважаючи на сучасне антропогенне навантаження, наявна позитивна тенденція до збільшення чисельності останніх два роки (2020–2021 рр.). Слід відзначити, що загальна кількість копитних у 2021 році становила 8839 голів, що дорівнює «депопуляційним» 2010–2011 рокам. Прослідковується тенденція до відновлення популяції дикого кабана. За результатами таксації 2021 року його чисельність зросла до 1233 голів по області, що на 298 голів більше, ніж у минулому 2020 році. Також позитивно відзначити, що популяція зубрів на теренах Сумської області за минулий рік збільшилась на 10 особин і становить 64 голови. Вагому роль у цьому відіграє раціональна організація ведення лісомисливського господарства Сумським ОУЛМГ та зростаюча роль підприємств інших форм власності. Водночас наявні показники залишаються нижчими за європейські, що має бути враховано в пріоритетних завданнях ведення лісомисливського господарства регіону.

Ключові слова: копитні мисливські тварини, чисельність, антропогенне навантаження, мисливські угіддя.

DOI <https://doi.org/10.32845/agrobio.2021.4.6>

Вступ. Полювання з давніх часів вважалося основною формою діяльності людини і головним джерелом її існування. З розвитком цивілізації біологічне значення мисливства для людини втратилося. На сьогодні мисливське господарство є традиційним видом діяльності населення та суб'єктив господарювання, полювання – видом активного відпочинку та спорту, що загалом формує важливий складник лісокористування (Bondarenko & et al., 1993).

Аналіз даних офіційної статистики стосовно динаміки чисельності основних видів мисливської фауни упродовж останніх десятиріч свідчить про стихійне і не досить ефективне ведення мисливського господарства практично в усіх регіонах України. Незважаючи на мінімальні обсяги добування основних мисливських тварин, чисельність їх популяцій залишається майже на одному рівні, а окремих видів навіть зменшується (Muraviov, 2019).

Дикі тварини у середовищі свого проживання постійно перебувають під впливом різноманітних факторів – абиотичних, біотичних і антропогенних, які визначають стан популяцій видів. Такий вплив безпосередньо чи опосередковано змінює чисельність, плідність і смертність, сезонні переміщення, міграції та імміграції, захворюваність, фізичний та фізіологічний стан мисливських тварин (Sobol, 2021).

Антропогенне навантаження на навколишнє середовище простежується у трансформації основних абиотичних факторів, особливо кліматичних (температура, світло, вологість, радіаційний режим, тиск), які є найбільш мінливими. Підвищення температурного режиму та зменшення кількості опадів сприяють збільшенню частоти виникнення суховіїв, спеки та різких перепадів температур протягом доби (Adamenko, 2006). Температура загалом впливає на поширення деяких видів через кормову базу.

Антропогенний вплив проявляється через інтенсифікацію сільськогосподарського виробництва (використання хімічних препаратів високої токсичності для боротьби з небажаними організмами), високу розораність земель, меліоративні заходи, що в кінцевому результаті привело до зниження кормової бази копитних та місць існування інших мисливських тварин. Нині розораність земель в Україні є найбільшою в світі і сягає 56 % загальної території, а сільськогосподарських угідь – 80 % (Apostol, 2020; FAO).

Тенденції щодо суттєвого зменшення природних біотопів для тварин спостерігаються по всій території України, що відзначено в роботах В.М. Волоха, І.А. Наконечного, В.М. Смаголя, О.М. Соболя по Степовій зоні (Smahol, 2003; Volokh, 2014, 2015; Sobol, 2021). На території Полісся подібні дослідження проводили О.Л. Кратюк (Kratiuk, 2018), Ю.М. Дідик (Didyk, 2006), В.О. Пепко (Pepko, 2017). Західний регіон вивчали П.Б. Хоецький (Khoietskyi, 2009), М.І. Желізко, Р.П. Параняк, Б.М. Калин (Zhelizko & et al., 2016), Л.А. Потіш (Potish, 2016).

А.В. Домнічем, І.О. Смірноюю, Д.О. Бугло, В.В. Петриченком (Domnich, 2010; Smirnova et al., 2011) були вивчені особливості трансформації природних біотопів мисливської фауни. У Лісостеповій зоні подібні

дослідження проводили О.П. Корж (Korzh & et al., 2006), С.В. Катиш (Katysh, 2016).

Дії людини у природному середовищі, свідомі чи не свідомі, нерідко спричинюють стресовий стан у диких тварин, унаслідок чого у тварин можуть мати місце значні фізіологічні зрушення. Так званий фактор турбування в мисливських угіддях виникає здебільшого у зв'язку з присутністю в них значної кількості людей: проведення різноманітних лісгосподарських і лісоексплуатаційних робіт, збирання ягід і грибів, туризму тощо.

Матеріали і методи досліджень. Мета досліджень – статистичний аналіз динаміки чисельності копитних мисливських тварин залежно від антропогенного навантаження в умовах північно-східного Лісостепу України (Сумська область).

Об'єкт дослідження – чисельність копитних мисливських тварин, зокрема, зубра європейського (*Bison bonasus* L.), лося європейського (*Alces alces* L.), оленя благородного (*Cervus elaphus* L.), оленя плямистого (*Cervus nippon* n. Temminsk), козулі (сарни) європейської (*Capreolus capreolus* L.), кабана дикого (*Sus scrofa* L.).

Методи дослідження – порівняльний аналіз та математична статистика. Для аналізу використані матеріали статистичної звітності та обліків Державного комітету статистики, Державного агентства лісових ресурсів України, Сумського обласного управління лісового та мисливського господарства, літературні джерела, результати власних досліджень. Статистичний аналіз результатів досліджень проводили за допомогою дисперсійного аналізу з використанням комп'ютерних програм Statistica-8.0 (Ermantraut et al., 2007; Sarenko et al., 2000).

Результати. Згідно зі статистичними даними за аналізований період, загальна площа мисливських угідь в Україні становить 38779,9 тис. га (табл. 1). На Сумщині вона становить 2053,6 тис. га (5,3 %) і поділена між 40 користувачами. Державні підприємства Сумського обласного управління лісового та мисливського господарства займають 12 % (237,8 тис. га), решта площі (1571,4 тис. га.) розподілена між 17 осередками районних організацій Українського товариства мисливців і рибалок (УТМР) та 10 іншими користувачами, яким передано 228,7 тис. га мисливських угідь. Загалом мисливським господарством займається майже 1150 юридичних осіб. В Україні зареєстровано понад 800 тисяч мисливців.

Згідно з табл. 1, Сумська область має середні показники за площею мисливських угідь, наданих у користування та охоплених мисливським упорядкуванням (на рівні з Полтавською областю). Мінімальні значення цих показників має Харківська область, а максимальні – Чернігівська.

Щільність копитних мисливських тварин на відведених мисливських територіях в Сумській області є найнижчою як за щільністю особин на 1 тис. га, так і за загальною кількістю у мисливських господарствах.

Слід відзначити найвищий показник щільності копитних мисливських тварин на Харківщині – 7,0 особин/тис. га, що вищий на 1,2 особину за середній по Україні (5,8 особин/тис. га). Динаміка чисельності копитних мисливських тварин по Україні впродовж аналізованого періоду

(2010–2022 рр.) наведена в таблиці 2. Отже, можемо спостерігати варіювання загальної кількості основних видів мисливських копитних тварин за останні десять років від 217,1 (2018 р.) до 244,4 тис. особин (2011 р.). Середня чисельність копитних мисливських тварин за цей період становила по Україні 252,48 тис. особин, а кількість добутих – 15,1 тис. особин. Показник вилучення дорівнював 6,58% і варіював по роках від найменшого 5,1% у 2010 р. до 8,0% у 2015 р.

Вилучення тварин мало значні відмінності по видах і по роках. Так, масова загибель та підвищений відсоток вилучення кабана дикого в 2015–2018 рр. зумовили істотне зниження загальної кількості популяції в наступні роки порівняно з 2011 р. У 2020 році почали спостерігати тенденцію до збільшення чисельності фауни копитних у мисливських господарствах України і Сумської області

(табл. 3). У розрізі видів серед копитних мисливських тварин України домінуюче місце посідає козуля європейська (167,7 тис. особин), що становить 75,2%. Другу сходинку за поширенням класично займає дикий кабан (28,5 тис. особин). Чисельність оленя благородного та оленя плямистого становить 13,7 та 4,3 тис. особин. Поступово нарощується поголів'я лані європейської (1,3 тис. особин) та муфлона європейського (0,9 тис. особин).

Особливої уваги заслуговує показник зростання популяції лося європейського, стадо якого у 2020 році нараховувало 6,2 тис. особин, та зубра європейського. Цей унікальний вид добре почувается під захистом «Червоної книги» і чисельність поголів'я нині становить понад 300 особин.

Зазначені вище тенденції коливань чисельності

Таблиця 1

Площа мисливських угідь та кількість копитних тварин за регіонами України (2019 р.)

Region	Площа мисливських угідь, тис. га		Загальна кількість копитних мисливських тварин у мисливських господарствах, тис. особин	Щільність копитних мисливських тварин особин/тис. га
	наданих у користування	охоплених мисливським упорядкуванням		
Всього по Україні, у т.ч. за областями:	38779,9	38060,9	221,0	5,8
Полтавська	2092,0	2086,0	9,0	4,3
Сумська	2026,4	2021,4	7,7	3,8
Харківська	1494,0	1494,0	10,5	7,0
Чернігівська	2768,2	2731,8	13,6	5,0

Таблиця 2

Динаміка чисельності мисливських тварин, кількість та відсоток добутих у мисливських господарствах України

Рік	Кількість копитних тварин, тис. особин	Кількість добутих (вилучених) копитних тварин, тис. особин	Відсоток вилучення тварин, %
2010	239,0	12,3	5,1
2011	244,4	13,3	5,4
2012	239,6	12,8	5,3
2013	238,3	12,8	5,4
2014	233,6	13,9	6,0
2015	231,3	18,6	8,0
2016	220,2	14,7	6,7
2017	221,0	13,3	6,0
2018	217,1	13,0	6,0
2019	217,4	13,1	6,0
2020	222,9	13,2	5,9
Duncan test ₀₅	22,5	1,7	

Таблиця 3

Чисельність копитних мисливських тварин та їх добуток (2020 р.), тис. особин

Назва виду копитних мисливських тварин	Чисельність копитних мисливських тварин	Кількість добутих копитних мисливських тварин
зубр європейський	0,3	0
лось європейський	6,2	0
олень благородний	13,7	0,4
олень плямистий	4,3	0,2
лань європейська	1,3	0,1
козуля європейська	167,7	10,4
муфлон європейський	0,9	0
кабан дикий	28,5	2,1
Всього	222,9	13,2

Динаміка чисельності копитних мисливських тварин за видами Сумської області (2010–2021 рр.)

Назва виду копитних мисливських тварин	Роки					
	2010	2013	2016	2019	2020	2021
зубр європейський	40	42	44	52	54	64
лось європейський	177	221	255	239	226	228
олень європейський	778	807	821	793	779	777
олень плямистий	182	186	196	197	203	204
козуля європейська	5097	5489	5844	3117	6296	6333
кабан дикий	2489	2986	828	626	965	1233
Всього	8723	9731	7988	5024	8523	8839

тварин в Україні віддзеркалюються у статистиці добування тварин 2020 року. Найбільше було добуто козулі європейської (10,4 тис. особин) на рівні 78,8% (рис. 1) та дикого кабана (2,1 тис. особин) на рівні 15,9%. Відсоток добутих особин оленя плямистого та оленя благородного становить 1,5 та 3,0 від загальної кількості вилучених копитних. Промислу на зубра європейського, лося європейського, муфлона європейського на території України за період 2020–2021 рр. не проводилося.

За результатами аналізу динаміки щільності популяцій копитних мисливських тварин в угіддях Сумської області виявлено позитивну тенденцію до збільшення чисельності за останні два роки (2020–2021 рр.) (табл. 4).

Слід відзначити, що загальна чисельність представників копитних мисливської теріофауни в 2021 році становила 8839 особин, що відповідає рівню «депопуляційних» 2010 та 2011 років (табл. 4). Загалом найбільш чисельним був 2013 р. – 2986 особин *Sus scrofa* L. У межах видів динаміка чисельності популяцій за період 2010–2021 рр. значно коливалася.

Як видно з даних табл. 4, на мисливських угіддях Сумського ОУЛМГ у 2021 році виявлено 228 особин лося європейського. Найбільша кількість (35 особин) була відзначена в угіддях ДП Конотопське ЛГ. Це господарство є також лідером за поголів'ям оленя благородного (94 особини).

Олень плямистий найчастіше зустрічається в мисливських угіддях ДП Краснопілляське ЛГ (49 особин), ДП Конотопське ЛГ (5 особин) та ДП Лебединське ЛГ. Всього ж в області, враховуючи інших користувачів мисливських угідь, виявлено 204 особини цього виду.

За чисельністю популяцій козулі європейської перше місце посідає мисливське господарство «Суми» (540 особин), друге – Конотопське лісове господарство (335 особин) та третє – Кролевецьке лісомисливське господарство (273 особини). Загалом у мисливських угіддях Сумського ОУЛМГ обліковано 2267 особин козулі європейської.

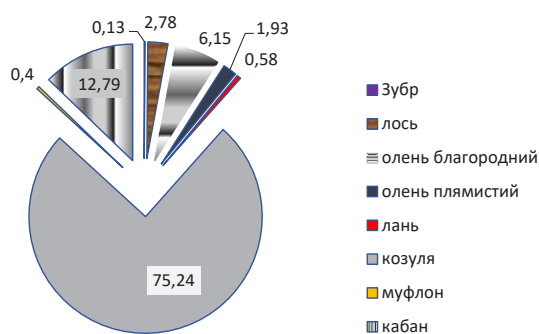
Простежуються позитивні зміни у відновленні популяцій дикого кабана. За результатами таксації 2021 року чисельність виду зросла до 1233 особин по області, що на 298 особин більше за 2020 рік. Водночас до проведення масової «депопуляції» в 2013 р. поголів'я дикого кабана в мисливських угіддях області становило 2986 особин.

Унікальним представником лісової природної фауни Сумщини є зубр європейський. Ця червонокнижна тварина зустрічається у мисливських угіддях Конотопського лісового господарства. Чисельність її популяції у 2021 році становила 64 особини і за останні 10 років зросла на 24 особини. Середній приріст дорівнював +2,4 особини з піком у 2019 році.

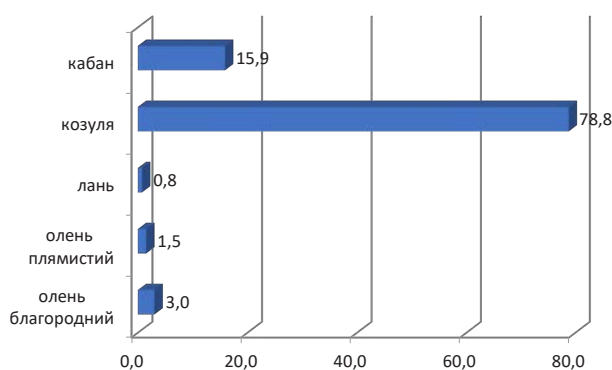
У лісомисливських господарствах інших форм підпорядкування та власності також можна відзначити стійке збільшення популяцій копитних мисливських тварин. Найбільшою чисельністю копитних характеризується мисливська фауна ТОВ СМГ «Лебідь» (1158 особин), ТОВ МРГ «Ліси Сумщини» (350 особин) та ТОВ «Тростянецьке СМГ» (313 особин). Запорукою такої позитивної динаміки є відповідні біотехнічні заходи, регульоване полювання та дичерозведення.

Видова структура чисельності копитних мисливських тварин Сумської області представлена на рисунку 2.

Лідером у цій групі є козуля європейська (71,6%), дикий кабан становить 13,9%, олень шляхетний – 8,8%, олень плямистий – 2,3%. На заборонених до полювання лося європейського та зубра європейського припадає 2,6% та 0,7% відповідно.



А



Б

Рис. 1. Відсоток виду (А) та добутих (Б) копитних тварин, % (по Україні, 2020 р.)

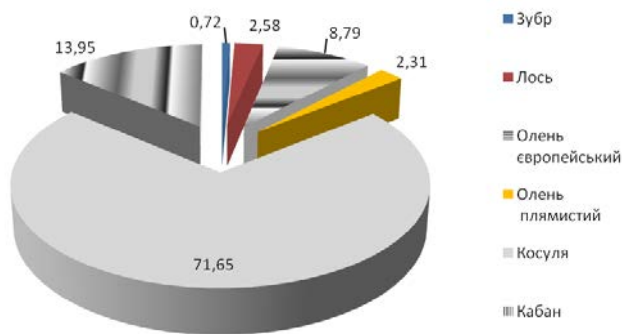


Рис. 2. Представленість видів копитних тварин у мисливській фауні Сумського ОУЛМГ (2021 р.)

Обговорення. Зміни клімату на планеті, особливо підвищення температури, вже вплинули на низку метеорологічних характеристик практично всіх регіонів Земної кулі (Adamenko, 2006). Такі зміни торкнулись і умов північно-східної частини Лісостепу України (Сумська область).

Так, порівняно із середніми багаторічними за період 1994–2020 рр. відзначено збільшення суми температур за вегетаційний період на 198°C, зменшення кількості опадів на 26,8 мм. Як наслідок, ГТК змінився з 1,18 до 0,95, що свідчить про формування умов, характерних для центральних та південних регіонів країни (півдня Харківської, Дніпропетровської, Запорізької та Миколаївської областей) (Melnyk & et al., 2020).

Ціла низка сучасних науковців наголошує на необхідності інтродукції та адаптації видів мисливської фауни в таких реаліях кліматичних умов та зростаючого антропогенного навантаження (Vолох, 2015; Катюш, 2016; Рерко, 2017; Kratiuk, 2018). Зокрема, вирішити проблему можна шляхом збільшення чисельності мисливських тварин. Особливу увагу приділяють найбільш стійкому виду – дикому кабану, якому притаманні швидке

настання статевої зрілості, значна плодючість, екологічна пластичність, що дає змогу в короткий термін суттєво збільшити поголів'я (Kozlo, 1975; Khoietskyi, 2009). За дотримання заходів з охорони, відтворення та раціонального використання ресурси видів оленя благородного та оленя плямистого також можуть бути значно збільшені.

Більшість досліджень, присвячених визначенню динаміки чисельності, видового складу та видобуванню копитних мисливських тварин, проводились в Україні, зокрема в зоні Степу (Smahol, 2003; Volokh, 2014, 2015; Sobol, 2021) та на Заході України (Zhelizko & et al., 2016; Potish, 2016; Khoietskyi, 2009). Менш досліджені ці питання в зоні Лісостепу (Korzh & et al., 2006; Katysh, 2016). Актуальність проведених нами досліджень пов'язана насамперед зі збереженням біорізноманіття мисливської фауни, загрози якому набули істотного масштабу, та розвитком мисливського господарства в регіоні.

Висновки. Зважаючи на проведений аналіз, сучасні загрози біологічному різноманіттю копитних мисливських тварин набули суттєвого масштабу. Одним з ключових факторів впливу є антропогенний вплив, який проявляється через відчутні зміни клімату. За результатами досліджень встановлено, що в умовах північно-східного Лісостепу України (Сумська область) спостерігається тенденція підвищення антропогенного навантаження на природні угіддя і, як наслідок, на чисельність копитних мисливських тварин. Водночас слід відзначити позитивну динаміку відтворення популяцій окремих представників мисливської фауни, зокрема козулі та кабана дикого. Вагому роль у цьому відіграє раціональна організація ведення мисливського господарства Сумським ОУЛМГ та зростаюча роль підприємств інших форм власності. Водночас наявні показники залишаються нижчими за європейські, що має бути враховано в пріоритетних завданнях ведення лісомисливського господарства регіону.

Бібліографічні посилання:

1. Adamenko, T. (2006). Zmina agroklimatychnykh umov ta i'h vplyv na zernove gospodarstvo [Changes of agro-climatic conditions and their impact on the grain farming]. *Agronom*, 3, 12–15 (in Ukrainian).
2. Apollonio M., Belkin V., Borkowski J., Borodin O., Borowik T., Cagnacci F., Danilkin A., Danilov P., Faybich A., Ferretti F., Gaillard M., Hayward M., Heshtaut P., Heurich M., Hurynovich A., Kashtalyan A., Kerley G., Kjellander P., Kowalczyk R., Kozorez A., Matveytchuk S., Milner J., Mysterud A., Ozoliņš J., Panchenko D., Peters W., Podgórski T., Pokorny B., Rolandsen C., Ruusila V., Schmidt K., Sipko T., Veeroja R., Velihurau P., Yanuta G. (2017) Challenges and science-based implications for modern management and conservation of European ungulate populations. *Mammal Research*. 62, 209–217.
3. Apostol, M. Rozoranist zemel v Ukraini ye naibilshoiu v sviti ta dosiahla 56% terytorii derzhavy [Plowed land in Ukraine is the largest in the world and reached 56% of the state]. URL: <https://agravery.com/uk/posts/show/rozoranist-zemel-v-ukraini-e-naibilsou-v-sviti-ta-dosagla-56-teritorii-derzavi-apostol>. (in Ukrainian).
4. Carenko, O.M., Zlobin, Ju.A., Skljjar, V.G., & Panchenko, S.M. (2000). Komp'yuterni metody v sil's'komu gospodarstvi ta biologii: navchalnyi posibnyk [Computer methods in agriculture and biology]. Un. Knyga, Sumy, 203 (in Ukrainian).
5. Danyliuk, L.R. (2017). Pravovyi rezhyim myslyvskykh pryrodnykh resursiv v Ukraini : monohrafiia [Legal regime of hunting natural resources in Ukraine: monograph]. Ivano-Frankivsk : Prykarp. nats. un-t im. Vasylia Stefanyka, 176. (in Ukrainian).
6. Danylyn, A. A. (2014). Kosuly (byolohycheskye osnovy upravleniya resursamy) [Roe deer (biological basis of resource management)]. Moskva: Tovaryshchestvo nauchnykh yzdanyi KMK, 316 (in Ukrainian).
7. Didyk, Yu.M. (2006). Kopytni dikoi fauny yak rezervat trikhinelozu na terytorii Polissia ta zahidnoi chastyny [Parasitic systems of wild ungulates and basics of parasitosis prevention in Belarus]. *Vestnik zoologii – Herald of Zoology*, 40, 3, 271–274 (in Ukrainian).
8. Domnich, V.I. (2010). Zmina chyselnosti ta antropohenne navantazhennia na Oleniachykh i psovykh tvaryn v Ukraini [Population change and anthropogenic pressure on deer and dog animals in Ukraine]. *Zb. naukovy-tekh. prats: Naukovy visnyk NLTU Ukrainy*. Lviv. Vyp. 20.5, 8–19 (in Ukrainian).

9. Dziedzic, R., Dzięciołowski, R. (2010). Status gatunków łownych w Polsce i krajach sąsiadujących [The status of game species in Poland and neighboring countries] Międzynarodowa konferencja. Zarządzanie populacjami zwierząt dzikożyjących na terenach pogranicza (2–3 września 2010, Chelm). Chelm, 7–23 (in Polish).
10. Ermantraut, E.R., Prysjajzhnjuk, O.I., & Shevchenko, I.L. (2007). Statystychnyj analiz agronomichnyh doslidnyh danyh v paketi Statistica-6 [Statistical analysis of agronomic research data in the package of Statistica-6]. Metodychni vkazivky. Ky'v, 55 (in Ukrainian).
11. Food and agriculture organization of the United Nations. FAO. URL: <http://faostat.fao.org/site/636/default.aspx#ancor>.
12. Iatusevych, A.Y. (2013). Parazytarnye systemy dykykh kopytnykh y osnovy profylaktyky parazytozov na terytorii Belarusy [Parasitic systems of wild ungulates and basics of parasitosis prevention in Belarus]. Naukovyi visnyk Natsionalnoho universytetu bioresursiv i pryrodokorystuvannia Ukrainy. Seriya : Veterynarna medytsyna, yakist i bezpeka produktii tvarynnytstva, 188–4, 92–99 (in Belarusian).
13. Ievtushevskiy, M.N. (2009). Pliamystyi olen (Servus nippon hertulorum Swinhoe, 1864) v Ukraini ta za yii mezhamy: monohrafiia [Spotted deer (Servus nippon hertulorum Swinhoe, 1864) in Ukraine and abroad: monograph]. ydavnychiy dim "EKO-inform", Kyiv, V 192. (in Ukrainian).
14. Jianhua H., Junlong H., Dianfeng L., Han W., Chun L. (2018) Updating the habitat conservation institution by prioritizing important connectivity and resilience providers outside // Ecological Indicators. 88., 219–231. (in English).
15. Katysh, S.V. (2016). Dycherozvedennia na terytorii Lisostepovoi i Stepovoi zon Ukrainy (na prykladi Poltavskoi i Zaporizkoi oblasti) [The breeding on the territory of the Forest-Steppe and Steppe zones of Ukraine (on the example of Poltava and Zaporizhzhia regions)]. Biolohichni systemy. 8, 1. 2016. 219–227 (in Ukrainian).
16. Khoietskyi, P.B. (2009). Dynamika chyselnosti dykoi svyni (Sus scrofa l.) u zakhidnomu rehioni Ukrainy [Dynamics of wild boar (Sus scrofa l.) in the Western region of Ukraine]. Lisivnytstvo i ahrolisomeliorsia. Kharkiv : UkrNDILHA, 115, 291–295 (in Ukrainian).
17. Khoietskyi, P.B., Pokhaliuk O.M. (2014). Myslyvske hospodarstvo krain Yevropy [Hunting economy of European countries]. Naukovyi visnyk NLTU Ukrainy. 24, 8, 42–45 (in Ukrainian).
18. Korzh, O.P., Lebedieva, N.I., Petrychenko, V.V. & Frolov, D.O. (2006). Shtuchne dycherozvedennia yak perspektyvnyi shliakh intensyfikatsii suchasnoho myslyvskoho hospodarstva [Artificial game breeding as a promising way to intensify the modern hunting economy]. Zakhyst dovkillia vid antropohennoho navantazhennia. 13 (15). Vydavnytstvo KhNU, Kharkiv, 116–119 (in Ukrainian).
19. Kozlo, P.G. (1975). Dykyj kaban: monografija [Wild boar: monograph]. "Uradzhaj", Mynsk, 223, 216–222 (in Ukrainian).
20. Kratiuk, O.L. (2018). Vydovyi sklad ta dynamika chyselnosti ratychnykh Artiodactyla u volierakh na terytorii Zhytomyrskoi oblasti [Species composition and dynamics of Artiodactyla in aviaries in Zhytomyr region]. Naukovyi visnyk NLTU Ukrainy. 28, 3, 34–37. doi: 10.32846/2306-9716-2019-1-24-2-23.
21. Maevskiy, A.V. (2010). Monitoryng kopytnykh zhyvotnykh, obytauishchykh v okhotnychyykh khaziaistvakh Ukrainy / A.V. Maevskiy, Y.A. Pylykevych [Monitoring of ungulates living in hunting farms of Ukraine]. Vostochno Evropeyskyi zhurnal peredovykh tekhnolohiy, 5/4(47), 35–40 (in Ukrainian).
22. Melnyk, A.V., Romanko, Ju.O., Brunov, M.I., Sorokolit, Je.M. & Kubrak, T.M. (2020). Rist ta rozvytok nutu v umovah pivnichno-shidnoho Lisostepu Ukrainy [Growth and development of chickpeas in the Northern Forest-Steppe of Ukraine]. Visnyk Sums'kogo NAU, 2 (40), 38–46 (in Ukrainian).
23. Muraviov, Yu.V. (2019). Game animals resources as a prerequisite for the establishment of ecological and economic development of hunting economy. Scientific Bulletin of UNFU, 29(4), 86–88. doi: 10.15421/40290418
24. Myslyvstvoznavstvo: navchalnyi posibnyk. (1993) [Hunting science] / Bondarenko V.D. ta in. NMK VO, Kyiv: 200. (in Ukrainian).
25. Panek, M. (2004). Wyniki monitoringu zwierzyny drobnej v latach 2002/2003 [Small game monitoring results in the years]. Łowiec Polski. 4, 11–12 (in Polish).
26. Padisak, J. (2016). A test of traditional diversity measure and taxonomic distinctness indices on benthic diatoms of soda pans in the Carpathian basin. Ekologikal Indicators, 64, 1–8. DOI: 10.1016/j.ekolind.2015.12.018.
27. Pepko V. O., Zugaluk S. V., Sahuk R. M. & Guluk I. T. (2017) Helminthofauna dykykh kopytnykh tvaryn: ekolohiia, vydovyi sklad, poshyrennia [Helminth fauna of wild ungulates: ecology, species composition, distribution] // Veterynarna biotekhnolohiia. № 30, 183–195. (in Ukrainian).
28. Potish, L.A. (2016). Myslyvska fauna Zakarpattia, stan populatsii ta perspektyvy vykorystannia [Hunting fauna of Transcarpathia, state of populations and prospects of use]. Materialy I Vseukrainskoi naukovo-praktychnoi internet-konferentsii "Stan i perspektyvy pryrodokorystuvannia v Ukraini". Uzhhorod, 43–48 (in Ukrainian).
29. Smahol, V.N. & Havrys H.H. (2013). Zubr, Bison bonasus (Mammalia Artiodactyla) v Ukrayne: dynamyka chyslenosti, rasprostranenyie, statsyy y lymytruiushchye faktory: monohrafiia [Bison bonasus (Mammalia Artiodactyla) in Ukraine: population dynamics, distribution, stats and limiting factors: monograph] "Veles", Kyiv: 128. (in Ukrainian).
30. Smahol, V.M. (2003). Prychyny skorochennia chyselnosti lani yevropeiskoi v zapovidnyku "Askaniia-Nova" [Reasons for the reduction of European fallow deer in the Askania-Nova Reserve]. Zapovidna sprava v Ukraini, 9, 1, 39–41 (in Ukrainian).
31. Smirnova, I.O., Buhlo D.O., Domnich A.V. & Petrychenko V.V. (2011). Dynamika populatsii i analiz chynnykh, shcho vplyvaiu na chyselnist khyzhykh i kopytnykh na Skhodi Ukrainy [Population dynamics and analysis of factors influencing the number of predators and ungulates in Eastern Ukraine]. Visnyk Zaporizkoho natsionalnoho universytetu, 1, 61–68 (in Ukrainian).
32. Sobol, O. M. (2021). Dinamika vidovogo skladu ta vikoristannja mislivs'koï fauni Hersons'koï oblasti [Dynamics of species composition of hunting fauna of Kherson region]. Tavrijs'kij visnyk, 118, 368–376 (in Ukrainian). doi: 10.32851/2226-0099.2021.118.47.

33. Volokh, A.M. (2006). Dynamika ta suchasnyi stan umov isnuvannia myslyvskykh ssavtsiv u Cteповii zoni Ukrainy [Dynamics and current state of living conditions of hunting mammals in the Central zone of Ukraine]. *Naukovyi visnyk Natsionalnoho ahrarnoho un-tu*. Kyiv, 93, 34–49 (in Ukrainian).
34. Volokh, A.M. (2014). Mammals Hunted in Steppe Ukraine. Part 1. *Gryn D.C., Kherson*, 1–412.
35. Volokh, A.M. (2015). Mammals Hunted in Steppe Ukraine. Part 2. *Gryn D.C., Kherson*, 1–401.
36. Zhelizko, M.I., Paraniak, R.P. & Kalyn, B.M. (2016). Dynamika vydovoho riznomanittia myslyvskykh tvaryn [Dynamics of species diversity of hunting animals]. *Naukovyi visnyk LNUVMBT imeni S.Z. Gzhytskoho*, T. 18, No. 4 (72), 10–13 (in Ukrainian).
37. Dzhessika Bejtmán. Jak u Evropu povertajut'sja veliki ssavci [How big scoops return to Europe]. *BBC Future*. URL: <https://www.bbc.com/ukrainian/vert-fut-55847029>.

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

Tovstukha O. V., PhD (Agricultural Sciences), Assistant Professor, Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine

Melnyk T. I., PhD (Biological Sciences), Professor, Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine

Kremenetska E. O., PhD (Agricultural Sciences), Assistant Professor, Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine

Trotska S. S., PhD (Biological Sciences), Assistant, Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine

Dynamics of ungulates in terms of modern anthropogenic load under the forestry facts Sumy region

With current climate change and increasing anthropogenic load on the environment, inevitable changes in the animal world, in particular among game animals, occur. Anthropogenic load is expressed in the increased use of pesticides and other pollutants in agricultural and forestry care activities. Reducing the area of natural meadows has reduced the food supply of herbivores. Plowing up of lands situated near river channels and drainage of swamps also undermine the reproduction of ungulates, especially in hot summer conditions. There are tendencies of a significant reduction in natural habitats for animals throughout Ukraine.

It has been proved that Ukrainian hunting areas are characterized by insignificant productivity in comparison with the areas of other European countries. Thus, the density of ungulates per thousand hectares is only 0.06 heads, which is ten times less than in European countries. Concerning the species diversity of game ungulates, the dominant place in Ukrainian areas is occupied by roe deer (167.7 thousand heads), which is 75.2%. The second place in terms of distribution is for wild boar – 28.5 thousand heads. The number of European red deer and sika deer is 13.7 and 4.3 thousand heads. The number of fallow deer (1.3 thousand) and mouflons (0.9 thousand) is gradually increasing.

The dynamics analysis of the number of game animals in the areas of the Sumy region revealed that despite the current anthropogenic load there is a positive trend of an increase in the animal population over the past two years (2020–2021). It is worth noting that the total number of ungulates in 2021 was 8839 heads, which is equal to the “depopulation” ones of 2010–2011. There is a tendency to restore roe deer and wild boar populations. According to the results of the taxation in 2021, its population has increased to 1233 heads in the region, which is 298 heads higher than in 2020. A positive trend is that last year, the population of bison in the Sumy region increased by 10 units and is now 64 heads. Significant contribution to this tendency is done by rational forestry management arranged by Sumy OULMG and a growing role of enterprises of other forms of ownership. Concurrently, the available indicators are even lower than the European ones and should be the priority task of forestry management in the region.

Key words: anthropogenic load, hunting areas, ungulates, population dynamics.

Дата надходження до редакції 03.12.2021 р.

ЗАГАЛЬНИЙ І АКТИВНИЙ СИМБІОТИЧНИЙ ПОТЕНЦІАЛ ГОРОХУ ПОСІВНОГО ЗАЛЕЖНО ВІД ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРИЙОМІВ В УМОВАХ ЛІСОСТЕПУ ЗАХІДНОГО

Небаба Катерина Станіславівна

кандидат сільськогосподарських наук, асистент

Заклад вищої освіти «Подільський державний університет», м. Кам'янець-Подільський, Україна

ORCID: 0000-0002-4529-3623

agronebaba@gmail.com

У статті висвітлено результати щодо формування загального і активного симбіотичного потенціалів гороху посівного залежно від рівня удобрення різними дозами мінеральних добрив та регуляторів росту в умовах Лісостепу західного. Фактори, які вивчалися впродовж 2016–2018 років, мали позитивний вплив на розвиток і формування нодуляційного апарату в рослин гороху сучасних сортів.

Мета експериментальних досліджень полягала у виявленні особливостей впливу різних доз мінеральних добрив та регуляторів росту на формування нодуляційного апарату на коренях рослин гороху посівного.

Встановлено, що симбіотична система зернобобових культур залишається активною протягом усіх фаз росту та розвитку. Біологічний азот, який засвоюється коренями упродовж періоду вегетації бобових культур, зокрема й гороху посівного, екологічно безпечний та значно поліпшує родючість ґрунту.

Польові досліді закладали на чорноземах типових глибоких малогумусних важкосуглинкових на лесовидних суглинках, у десятипільній сівозміні Навчально-виробничого центру «Поділля» Подільського державного аграрно-технічного університету. Упродовж років досліджень вивчали дію та взаємодію трьох факторів, як-от: А – сорт (Готівський (контроль), Фаргус та Чекбек); В – удобрення ($P_{30}K_{45}$ (контроль), $N_{15}P_{30}K_{45}$, $N_{30}P_{30}K_{45}$, $N_{45}P_{30}K_{45}$); С – регулятори росту (контроль – без обробки, Плантапег – 25 г/га, Емістим С – 30 мл/га, Вимпел – 30 мл/га).

Доведено, що внесення невеликих доз мінеральних азотних добрив на фоні фосфорно-калійних покращувало біологічну фіксацію азоту в рослин, які обприскували регуляторами росту.

У наших дослідженнях показники загального симбіотичного потенціалу перевищували показники активного, адже загальна кількість бульбочок та їхня маса були більшими від кількості і маси активних бульбочок. Найвищими ці показники зафіксували на коренях рослин гороху сорту Чекбек, де вносили мінеральні добрива в дозах $N_{30}P_{30}K_{45}$ у комплексі з регуляторами росту. Найвищі дози мінерального азоту N_{45} негативно впливали на рівень загального й активного симбіотичного потенціалів, що в кінцевому результаті призвело до зниження врожайності зерна гороху.

Ключові слова: горох, сорт, мінеральні добрива, регулятори росту, нодуляційний апарат, симбіотичний потенціал.

DOI <https://doi.org/10.32845/agrobio.2021.4.7>

Вступ. Симбіоз сучасних інтенсивних сортів бобових культур та штамів бульбочкових бактерій зумовлює підвищення продуктивності рослин на 10–30%. Симбіотична система рослин гороху залишається активною протягом усіх фаз росту. Біологічний азот, який засвоюється за період вегетації бобових культур, зокрема й гороху посівного, екологічно безпечний та поліпшує родючість ґрунту (Mazur, 2020; Bakhmat, 2020; Lenssen, 2018; Khan, 2016).

Біологічний азот у ґрунті утворюється в результаті симбіотичної й асоціативної азотфіксації, надходження з опадами або поливу та внесення добрив (Hýbl, 2014; Jyoti Kumari, 2015).

Активність азотфіксації в посівах зернобобових культур пов'язана з низкою чинників: із ґрунтово-кліматичними умовами, сортовими особливостями, агротехнічними прийомами, але насамперед із вологістю ґрунту, оскільки бульбочкові бактерії слабо розмножуються за нестачі вологи. Особливо необхідна волога у ґрунті в першій половині вегетації рослин гороху, коли відбуваються активний ріст та розвиток бульбочкових бактерій (Burstin, 2015).

Не всі бульбочки, які формуються на коренях рослин, є азотфіксуючими, тобто активними. Якщо вони мають

рожеве забарвлення, то їх можна віднести до групи активних. Якщо ж бульбочки зеленкуватого або сірого кольору, то азотфіксація в них не відбувається (Nebaba, 2020; Coman, 2019).

Показником, що узагальнює величину активності симбіотичного апарату, є активний симбіотичний потенціал (далі – АСП). Метод визначення АСП заснований на відносній сталості маси бульбочок за певний період розвитку рослин та залежності активності бобово-ризобіальної системи від маси бульбочок, що містять леггемоглобін (Duhan, 2017; Elemike, 2019, Savranchuk, 2015)

Матеріали і методи досліджень. Польові дослідження проводились упродовж 2016–2018 рр. на дослідному полі Навчально-виробничого центру «Поділля» Подільського державного аграрно-технічного університету (далі – ПДАТУ) і були закладені в науково-дослідній десятипільній сівозміні.

Ґрунт дослідного поля – чорнозем типовий глибокий малогумусний важкосуглинковий на лесовидних суглинках. За результатами досліджень кафедри землеробства, ґрунтознавства і захисту рослин Подільського державного аграрно-технічного університету встановлено, що дослідна ділянка характеризується такими агрофізичними й агрохімічними властивостями

ґрунту: щільність твердої фази шару ґрунту 0–30 см становить 2,55–2,62 г/м³; рН водне у верхньому шарі становить 6,8 а, гідролітична кислотність становить 0,70 мг-екв/100 г ґрунту. Вміст гумусу, за Тюріним, у верхньому горизонті – 3,39%. Щільність – 1,17–1,25 г/м³; загальна пористість – 51,6–54,7%, вміст азоту (за Корнфільдом) – 13,6–14,2, фосфору та калію (за Чиріковим) – 15,7–16,4 та 22,4–26,3 мг на 100 г ґрунту відповідно.

Посівна площа елементарної ділянки становила 50 м², облікової – 48 м². Попередник – пшениця озима.

У досліді вивчали дію та взаємодію трьох факторів, як-от: А – сорт (Готівський, Фаргус та Чекбек); В – удобрення (P₃₀K₄₅ (контроль), N₁₅P₃₀K₄₅, N₃₀P₃₀K₄₅, N₃₀P₃₀K₄₅); С – регулятори росту (контроль – без обробки, ПлантаПег – 25 г/га, Емістим С – 30 мл/га, Вимпел – 30 мл/га) (табл. 1).

Таблиця 1

Схема польового досліді

Фактор А: сорт	Фактор В: удобрення	Фактор С: регулятори росту
A ₁ – Готівський	B ₁ – P ₃₀ K ₄₅ (контроль)	C ₁ – без регулятора росту (контроль)
A ₂ – Фаргус	B ₂ – N ₁₅ P ₃₀ K ₄₅	C ₂ – Емістим С
A ₃ – Чекбек	B ₃ – N ₃₀ P ₃₀ K ₄₅	C ₃ – ПлантаПег
	B ₄ – N ₄₅ P ₃₀ K ₄₅	C ₄ – Вимпел

Насіння висівали сівалкою, звичайним рядковим способом із шириною міжрядь 15 см, із глибиною загортання насіння 5–6 см і нормою висіву 1,2 млн/га схожих насінин. Після сівби на 2-й день площу посіву коткували кільчастим котком.

Результати. Гідротермічні умови за роки досліджень мали суттєвий вплив на загальний і активний симбіотичний потенціали. Надмірна кількість вологи у 2018 р. негативно вплинула на формування симбіотичного апарату – як загального, так і активного. За гідротермічними умовами 2016–2017 рр. були більш сприятливими для формування високих показників симбіотичного потенціалу.

Упродовж трьох років досліджень нами встановлено, що показники загального й активного симбіотичного потенціалів найбільшими були на варіантах, де вносили мінеральні добрива в дозі N₃₀P₃₀K₄₅ та застосували регулятори росту.

Встановлено, що внесення мінеральних добрив у дозах N₃₀P₃₀K₄₅ і обприскування посівів гороху регуляторами росту привело до найвищих показників загального симбіотичного потенціалу (далі – ЗСП) і АСП. Так, у гороху сорту Чекбек на цьому варіанті живлення ці показники відповідно були 12,5 тис. кг*діб/га та 6,9 тис. кг*діб/га, у сорту гороху Готівський – 10,0 тис. кг*діб/га та 6,9 тис. кг*діб/га, а у гороху сорту Фаргус – 9,5 тис. кг*діб/га та 5,9 тис. кг*діб/га. Найкраще себе проявив регулятор росту Вимпел, за його дії показники загального й активного симбіотичного потенціалів були вищими порівняно з варіантами, де застосовували регулятори росту Емістим С та ПлантаПег (рис. 1, 2, 3).

За результатами проведених досліджень встановлено, що найвищі дози мінерального азоту N₄₅ негативно впливали на рівень ЗСП і АСП, тобто спостерігалось пригнічення бульбочок, що в результаті призвело до зниження формування симбіотичних потенціалів. На варіанті живлення N₄₅P₃₀K₄₅ та без регуляторів росту (контроль) показники ЗСП і АСП відповідно становили в гороху сорту Готівський 6,0 тис. кг*діб/га та 3,6 тис. кг*діб/га, у гороху сорту Чекбек – 7,7 тис. кг*діб/га та 3,8 тис. кг*діб/га, а найменшими ці показники були в рослин сорту Фаргус – 5,3 тис. кг*діб/га та 3,1 тис. кг*діб/га. Після обприскування посівів регуляторами росту показники як загального, так і активного симбіотичного потенціалів збільшилися в середньому на 35–55%.

Спостереження за розвитком кореневих бульбочок, їхньою масою, а згодом – загального й активного симбіотичних потенціалів дало змогу нам розрахувати біологічно фіксований азот. Кількість біологічно фіксованого азоту – добуток активного симбіотичного потенціалу та питомої активності симбіозу.

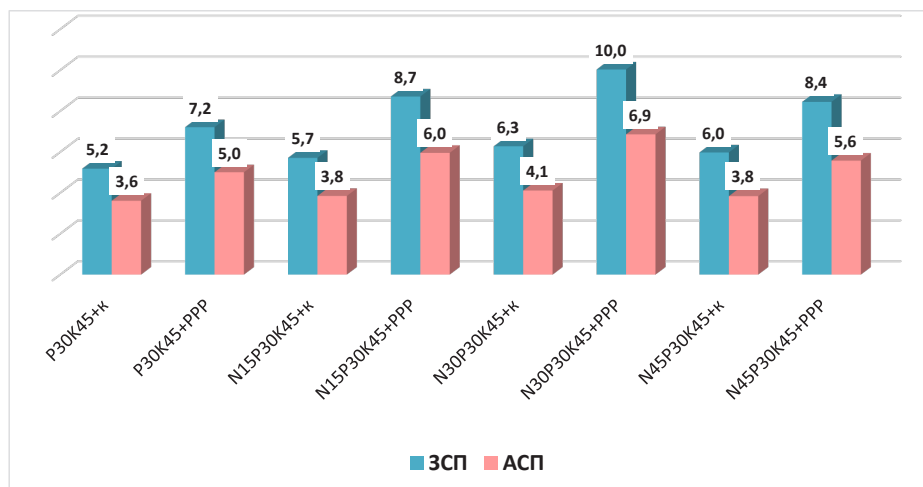


Рис. 1. Динаміка загального й активного симбіотичних потенціалів гороху посівного сорту Готівський, кг*діб/га (середнє за 2016–2018 рр.)

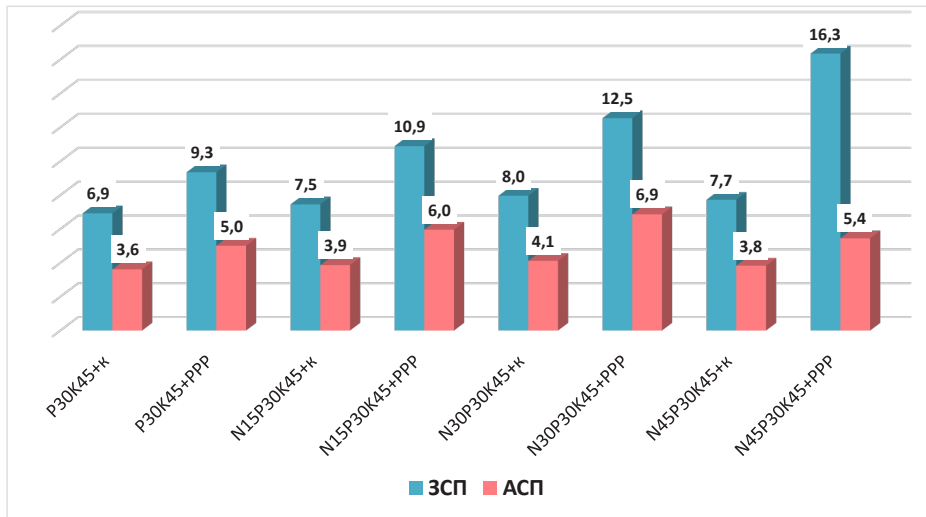


Рис. 2. Динаміка загального й активного симбіотичних потенціалів гороху посівного сорту Чекбек, кг*діб/га (середнє за 2016–2018 рр.)

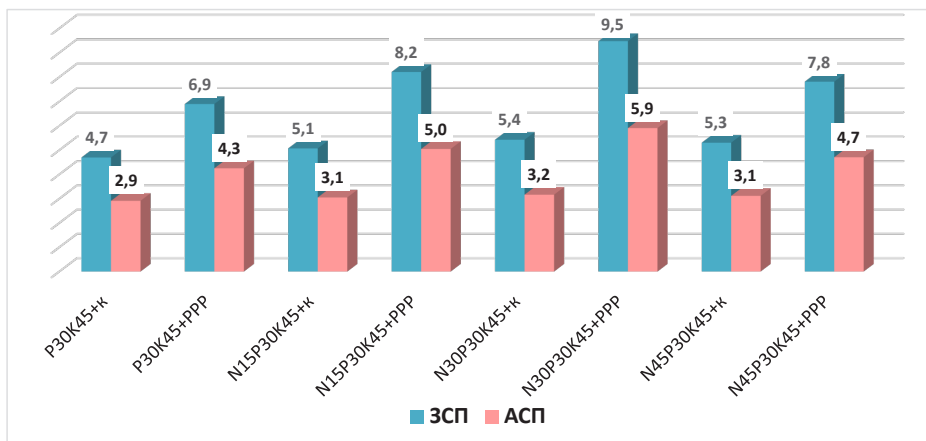


Рис. 3. Динаміка загального й активного симбіотичних потенціалів гороху посівного сорту Фаргус, кг*діб/га (середнє за 2016–2018 рр.)

Питома активність симбіозу (далі – ПАС) – це кількість азоту повітря, що фіксується одним кілограмом сирих бульбочок за добу (Mazur, 2019; Pantsyeva, 2019).

Аналіз показників питомої активності симбіозу впродовж 2016–2018 рр. засвідчив, що цей період супроводжували оптимальні умови для фіксації біологічного азоту. За згаданими показниками найкраще себе показав сорт гороху Чекбек, порівняно із сортами Готівський та Фаргус. На контрольному варіанті в гороху сорту Готівський величина питомої активності симбіозу становила 28,3 кг/га, у сорту Чекбек – 35,5 кг/га, у сорту Фаргус – 25,9 кг/га. Із збільшенням доз мінеральних добрив від N_{15} до N_{30} інтенсивність біологічної фіксації азоту збільшувалася в середньому на 1,2–3,0 кг/га, залежно від сорту (табл. 2).

За роки досліджень показники АСП і ПАС, кількість фіксованого азоту повітря на варіантах удобрення мінеральними добривами в дозі $N_{30}P_{30}K_{45}$ були найвищими. Так, у комплексі з регулятором росту Вимпел у сортів гороху Готівський ми зафіксували 54,0 кг/га, Чекбек – 65,2 кг/га, Фаргус – 52,8 кг/га фіксованого

азоту. Регулятори росту Емістим С та ПлантаПег менш активно сприяли фіксації азоту з повітря, тому ці показники були нижчими на 4,5–8,9% порівняно з варіантом $N_{30}P_{30}K_{45} + \text{Вимпел}$.

Нами встановлено, що підвищення дози мінерального азоту до $N_{45}P_{30}K_{45}$ мало негативний вплив на показники кількості фіксованого біологічного азоту повітря, але вони були дещо більшими за контроль ($P_{30}K_{45}$). Найкраще спрацювала симбіотична система в сорту гороху Чекбек. За поєднання $N_{45}P_{30}K_{45}$ та регуляторів росту рослинами гороху сортів Готівський, Чекбек та Фаргус було засвоєно 39,7–44,5 кг/га, 51,0–56,0 кг/га та 38,1–43,0 кг/га біологічного азоту відповідно.

Обговорення. Аналіз наукових публікацій показав (Batsmanova, 2020; Long, 2006), що за сприятливих умов симбіотрофного живлення активний симбіотичний потенціал у зернобобових культур може досягати 24–25 тис. одиниць. У період від початку плодоутворення до наливання насіння в рослини гороху поступає 55–60% від загальної кількості азоту, фіксованого за вегетацію. Ріст бобів і наливання насіння здійснюються шляхом прямого

Вплив регуляторів росту на кількість біологічно фіксованого азоту повітря сортами гороху посівного, кг/га (2016–2018 рр.)

Фактор В	Фактор С	Фактор А		
		Готівський	Чекбек	Фаргус
$P_{30}K_{45}$ (к)*	Без обробки (к)	28,3	35,5	25,9
	ПлантаПег	35,6	45,5	35,5
	Емістим С	38,4	47,6	38,8
	Вимпел	39,9	49,2	39,8
$N_{15}P_{30}K_{45}$	Без обробки (к)	29,1	37,0	26,7
	ПлантаПег	42,9	52,6	42,3
	Емістим С	45,0	54,5	44,2
	Вимпел	46,9	56,8	45,8
$N_{30}P_{30}K_{45}$	Без обробки (к)	31,0	38,4	27,3
	ПлантаПег	49,2	60,2	48,4
	Емістим С	51,3	62,1	50,4
	Вимпел	54,0	65,2	52,8
$N_{45}P_{30}K_{45}$	Без обробки (к)	28,9	36,4	26,6
	ПлантаПег	39,7	51,0	38,1
	Емістим С	41,9	53,8	40,4
	Вимпел	44,5	56,0	43,0
		HIP _{0,5} фактор А – 0,47		
		HIP _{0,5} фактор В – 0,54		
		HIP _{0,5} фактор С – 0,54		

Примітка * – контроль.

використання фіксованого азоту (Petrychenko, 2020; Sukhova, 2012).

А.Д. Гирка, І.Д. Ткаліч, Ю.Я. Сидоренко (Нурка et al., 2018), Г.С. Посипанов (Andrushko & Andrushko, 2019) доводять, що загальний симбіотичний потенціал характеризує стан бобово-ризобіального симбіозу за вегетаційний період. Значення ЗСП завжди більші за значення активного, адже тривалість загального симбіозу визначають від появи перших бульбочок на коренях гороху до повного їх розпаду.

Тривалість активного функціонування бульбочок на коренях гороху та їхня здатність фіксувати біологічний азот упродовж вегетаційного періоду визначають величину активного симбіотичного потенціалу (Patyka, 2003; Nebaba, 2020).

Невід'ємна особливість гороху – біологічна фіксація атмосферного азоту, який накопичується у ґрунтах під час взаємодії рослини з бактеріями. За відсутності активних симбіонтів рослини гороху не здатні засвоювати атмосферний азот, у такому разі рослина активно використовує азот із ґрунту. Біологічний азот забезпечує покращення врожайності сільськогосподарських культур та збереження родючості ґрунтів (Shang, 2019; Tulbek, 2017; Telekalo, 2016; Vdovenko, 2018).

В.В. Лихочвор, О.М. Андрушко, М.О. Андрушко (Andrushko, 2019; Pryshchero et al., 2018) уважають,

що за комфортних умов розміри симбіотичної азотфіксації рослинами гороху на одному гектарі можуть сягати 100–200 кг біологічного азоту. А.В. Черенковим, М.С. Шевченком та іншими (Cherenkov & Shevchenko, 2017) доведено, що засвоєний азот виноситься з урожаєм, але 25–40% його залишається у ґрунті з органічними рештками, збільшує в ньому вміст гумусу й азоту.

Висновки. Інтенсивне формування коренів рослин гороху й утворення леггемоглобіну на бульбочках спостерігалось в усіх досліджуваних сортів гороху посівного, унаслідок чого зростала величина АСП. Загальний і активний симбіотичний потенціали є досить важливими показниками, від яких залежить біологічна фіксація азоту.

Зазначено збільшення показників активного симбіотичного потенціалу за стартових доз мінерального азоту (N_{15} , N_{30}), а також зменшення їх за збільшення доз азоту (N_{45}).

Результати наших досліджень показали, що в середньому за 2016–2018 рр. найбільшу кількість азоту з повітря фіксували рослини гороху сорту Готівський – 54,0 кг/га, у сорту Чекбек – 65,2 кг/га, Фаргус – 52,8 кг/га, за внесення мінеральних добрив $N_{30}P_{30}K_{45}$ та регулятора росту Вимпел. Менш інтенсивно азотфіксація проходила за дії препаратів ПлантаПег і Емістим С.

Бібліографічні посилання:

1. Andrushko, M.O. (2019). Formuvannia produktyvnosti horokhu zalezno vid elementiv systemy udobrennia [Formation of pea productivity depending on the elements of the douche system] Mizhvidomchyi tematychnyi naukovyi zbirnyk "Peredhirne ta hirske zemlerobstvo i tvarynytstvo", Obroshyne, Lviv, 66, 8–20 (in Ukrainian).
2. Andrushko, M.O., Lykhochvor, V.V. & Andrushko, O.M. (2019). Urozhainist zerna horokhu zalezno vid elementiv systemy udobrennia [Yield of pea grain depending on the elements of the douche system]. Visnyk Lvivskoho natsionalnoho ahrarnoho universytetu: ahronomiia, Lviv. nats. ahrar. un-t, Lviv, 23, 67–71 (in Ukrainian). doi: 10.31734/agronomy2019.01.067.

3. Bakhmat, M.I., Plakhtii, D.P. & Nebaba, K.S. (2020). Formuvannia symbiotychnoho aparatu horokhu posivnoho zalezno vid udobrennia mineralnymi dobryvamy ta rehulatoriv rostu v umovakh Lisostepu Zakhidnoho [Formation of a symbiotic apparatus of sowing peas depending on fertilization with mineral fertilizers and growth regulators in the Forest-steppe of the Western]. *Roslynnystvo ta gruntoznavstvo: nauk. Zhurn, NUBIP, Kyiv*, 11 (3), 33–43 (in Ukrainian). doi: 10.31548/agr2020.03.033.
4. Batsmanova, L., Taran, N., Konop, Y., Kalenska, S., & Noovytska, N. (2020). Use of a colloidal solution of metal and metal oxide-containing nanoparticles as fertilizer for increasing soybean productivity. *Journal of Central European Agriculture*, 21 (2), 311–319. doi: 10.5513/JCEA01/21.2.2414.
5. Burstin, J., Salloignon, P., Chabert-Martinello, M., Magnin-Robert, J., Siol, M., Jacquin, F. (2015). Genetic diversity and trait genomic prediction in a pea diversity panel. *BMC Genomics*, 16, 105. doi: 10.1186/s12864-015-1266-1.
6. Cherenkov, A.V. & Shevchenko, M.S. (2017). Stratehii vyrobnytstva zernobobovykh kultur i soi v Stepu Ukrainy [Strategy of leguminous crops and soy production in the Steppe of Ukraine]. *Visnyk ahrarnoi nauky*, 1, 13–18. Access Mode: http://nbuv.gov.ua/UJRN/vaan_2017_1_4 (in Ukrainian).
 - a. Coman, V., Oprea, I., Leopold, L.F., Vodnar, D.C. & Coman, C. (2019). Soybean interaction with engineered nanomaterials: a literature review of recent data. *Nanomaterials*, 9, 1248. doi: 10.3390/nano9091248.
 - b. Duhan, J.S., Kumar R., Kumar, N., Kaur, P., Nehra, K. & Duhan, S. (2017). Nanotechnology: The new perspective in precision agriculture. *Biotechnology Reports*, 15, 11–23. doi: 10.1016/j.btre.2017.03.002.
 - c. Elemike, E.E., Uzoh, I.M., Onwudiwe, D.C. & Babalola, O.O. (2019). The role of nanotechnology in the fortification of plant nutrients and improvement of crop production. *Applied Sciences*, 9, 499. doi: 10.3390/app9030499.
 - d. Hýbl, M. (2014). Hrách setý (*Pisum sativum* L.). Pěstování vybraných plodin v ekologickém zemědělství. Editor Petr Konvalina. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, 205–228 (in the Czech Republic).
 - e. Hyrka, A.D., Tkalic, I.D., Sydorenko, O.V., Bochevar, O.V. & Ilyenko (2018). Osoblyvosti formuvannia zernovoi produktyvnosti roslyn riznykh sortiv horokhu v umovakh Pivnichnoho Stepu Ukrainy [Features of the formation of grain productivity of plants of different varieties of peas in the conditions of the Northern Steppe of Ukraine], *Dnipro, Naukovyi zhurnal Instytutu zernovykh kultur. Zernovi kultury*, 2 (2), 267–273. (in Ukrainian). doi: 10.31867/2523-4544/0035.
 - f. Hyrka, A.D., Tkalic, I.D., Sydorenko, O.V., Bochevar, O.V., Ilyenko (2018). Aktualni aspekty tekhnolohii vyroshchuvannia horokhu v umovakh pivnichnoho Stepu Ukrainy [Actual aspects of the technology of growing peas in the conditions of the northern Steppe of Ukraine]. *Visnyk ahrarnoi nauky*, 2, 31–35 (in Ukrainian). doi: 10.31073/agrovisnyk201802-05.
7. Jyoti Kumari, H.K., Dikshit, B. & Singh, D. (2015). Combining ability and character association of agronomic and biochemical traits in pea (*Pisum sativum* L.). *Scientia Horticulturae*, 181, 26–33. doi: 10.1016/J.Scienta.2014.10.051.
8. Khan, T.N., Meldrum, A., & Croser, J.S. (2016). Pea Overview. Reference Module in Food Science. doi: 10.1016/B978-0-08-100596-5.00037-8.
9. Lenssen, A.W., Sainju, U.M., Jabro, J.D., Allen, B.L. & Stevens, W.B. (2018). Dryland pea production and water use responses to tillage, crop rotation, and weed management practice. *Agronomy Journal*, 110 (5), 1843–1853. doi: 10.2134/agronj2018.03.0182.
10. Long, S.P., Zhu, X.G., Naidu, S.L. & Ort, D.R. (2006). Can improvement in photosynthesis increase crop yields? *Plant, Cell & Environment*, 29 (3), 315–330. doi: 10.1111/j.1365-3040.2005.01493.x.
 - a. Mazur, V.A., Myalkovsky, R.O., Mazur, K.V., Pansyreva, H.V., Alekseev, O.O. (2019). Influence of the Photosynthetic Productivity and Seed Productivity of White Lupine Plants. *Ukrainian Journal of Ecology*, 9 (4), 665–670. doi: 10.15421/2019_807.
11. Mazur, V., Didur, I., Myalkovsky, R., Pansyreva, H., Telekalo, N. & Tkach, O. (2020). The Productivity of intensive pea varieties depending on the seeds treatment and foliar fertilizing under conditions of right-bank forest-steppe Ukraine. *Ukrainian Journal of Ecology*, 10 (1), 101–105. doi: 10.15421/2020_16.
12. Nebaba, K.S. (2020). Formuvannia fotosyntetychnoho aparatu horokhu posivnoho zalezno vid tekhnolohichnykh pryimiv v umovakh Zakhidnoho Lisostepu [Formation of photosynthetic apparatus of sowing peas depending on technological techniques in the Western Forest-steppe]. *Naukovyi zhurnal: zbalansovane pryrodokorystuvannia, Kyiv*, 3, 139–145 (in Ukrainian). doi: 10.33730/2310-4678.3.2020.212616.
13. Nebaba, K.S. (2020). Symbiotychna produktyvnist horokhu posivnoho zalezno vid vplyvu mineralnykh dobryv ta rehulatoriv rostu v umovakh Lisostepu zakhidnoho [Symbiotic productivity of sowing peas depending on the influence of mineral fertilizers and growth regulators in the western forest-steppe], *Podilskyi visnyk: silske hospodarstvo, tekhnika, ekonomika. PDATU, Kamianets-Podilskyi*, 32, 54–58 (in Ukrainian). doi: 10.37406/2706-9052-2020-1-6.
14. Pansyreva, H.V. (2019). Morphological and ecological-biological evaluation of the decorative species of the genus *Lupinus* L. *Ukrainian Journal of Ecology*, 9 (3), 74–77. doi: 10.24412/2520-6990-2021-1299-53-57.
15. Patyka, V.P., Kots, S.Ya., Volkohon, V.V., Sherstoboieva, O.V., Melnychuk, T.M., Kalinichenko, A.V. & Hrynyk, I.V. (Patyka, V.P. (Ed.)). (2003). *Biologichnyi azot [Biological nitrogen] Svit, Kyiv*, (in Ukrainian).
16. Petrychenko, V.F. & Lykhochvor, V.V. (2020). Roslynnystvo. Novi tekhnolohii vyroshchuvannia silskohospodarskykh kultur [Crop production. New technologies of growing crops]. 5-te vyd., vyprav., dopov., Lviv, *Ukrainski tekhnolohii*, 806 (in Ukrainian).
17. Pryshchepo, M.M., Serhieiev, L.A., & Konashchuk, O.P. (2018). Vyroshchuvannia nasinnieoho horokhu na pivdni Ukrainy [Growing seed peas in the south of Ukraine]. *Ahronom*, 4, 138–140 (in Ukrainian).
18. Savranchuk, V.V., & Ishchenko, V.A. (2015). Vplyv bakterialnykh i biologichno aktyvnykh preparativ na formuvannia produktyvnosti roslynamy horokhu vusatoho typu v Pivnichnomu Stepu [Influence of bacterial and biologically active drugs on the formation of productivity by mustache plants in the Northern Steppe]. *Biuletyn ISZ NAAN*, 6, 119–125 (in Ukrainian).
19. Shang, Y., Hasan, Md. K., Ahammed, G.J., Li, M., Yin, H. & Zhou, J. (2019). Applications of nanotechnology in plant growth and crop protection: a review. *Molecules*, 24, 2558. doi: 10.3390/molecules24142558.

20. Sukhova H.I. (2012). Formation of elements of crop productivity of lentils depending on the features of a grade. Bulletin of Kharkiv National Agrarian University named after V.V. Dokychaiv: Crop production, selection and seed production, fruit and vegetable growing, 2, 106–111 (in Ukrainian).

21. Telekalo, N.V. (2016). Symbiotychna diialnist posiviv horokhu posivnoho. Zemobobovi kultury ta soia dlia staloho rozvytku ahramoho vyrobnytstva Ukrainy [Symbiotic activity of sowing peas. Leguminous crops and soybeans for sustainable development of agricultural production of Ukraine]. Materialy mizhnarodnoi naukovo konferentsii. Dilo, Vinnytsia, 82–83 (in Ukrainian).

22. Tulbek, M.C., Lam, Y., Wang, P. & Asavajaru, A. (2017). Pea: A Sustainable Vegetable Protein Crop. Sustainable Protein Sources, 45–164. doi: 10.1016/B978-0-12-802778-3.00009-3.

23. Vdovenko, S.A., Pansyreva, G.V., Palamarchuk, I.I., & Lytvyniuk, H.V. (2018). Symbiotic potential of snap beans (*Phaseolus vulgaris* L.) depending on biological products in agrocoenosis of the right-bank forest-steppe of Ukraine. Ukrainian J Ecol, 8(3), 270–274. doi: 10.15421/2021_61.

Nebaba K. S., Candidate of Agricultural Sciences, Podillia State University, Kamianets-Podilskyi, Ukraine

General and active symbiotic potential of peas depending on the use of mineral fertilizers and growth regulators in Western Forest-Steppe

*The present paper highlights the results on the formation of general and active symbiotic potential of garden peas (*Pisum sativum*) depending on the level of fertilization with different doses of mineral fertilizers and growth regulators in the Western Forest-Steppe. Factors studied during 2016–2018 had a positive impact on the development and formation of nodulation apparatus in peas plants.*

The purpose of experimental studies was to examine the influence of various doses of mineral fertilizers and growth regulators on the formation of a nodulation apparatus on the peas roots. It has been found that the symbiotic system of leguminous crops remains active for all phases of growth and development. Biological nitrogen, which is absorbed of the peas plant roots during the growing season of legumes, including peas, is friendly environment and significantly improves of soil fertility.

Field experiments were conducted in the typical, deep, low-humus black soils, heavy-toed loams, in the ten-thousand crop rotation of the “Podillia” Educational and Production Center of Higher Educational Institution of Podillia State University. The interaction between three factors (A – grade (“Hotivskyi” (control), “Chekbek” and “Farhus”); C – applications ($P_{30}K_{45}$ (control), $N_{15}P_{30}K_{45}$, $N_{30}P_{30}K_{45}$, $N_{45}P_{30}K_{45}$); C – growth regulators (control – without processing, PlantaPeh – 25 g/ha, Emistym C – 30 ml / ha, Wypel – 30 ml / ha) were studied.

It has been proved that the application of small doses of mineral nitrogen fertilizers after of phosphorus-potassium ones improved of nitrogen biological fixation in plants sprayed with growth regulators.

The study results showed that the indicators of the general symbiotic potential exceeded the indicators of active potential, because the total number of nodules and their mass were higher than the number and mass of active nodules. The highest indicators were recorded on the peas roots of Chekbek variety where mineral fertilizers were applied in doses of $N_{30}P_{30}K_{45}$ in combination with growth regulators. The highest doses of mineral nitrogen of N_{45} adversely affected the level of general and active symbiotic potentials, which ultimately led to decrease in the yield of peas grain.

Key words: peas, variety, mineral fertilizers, growth regulators, nodulation apparatus, symbiotic potential.

Дата надходження до редакції: 07.12.2021 р.

ВПЛИВ СОРТУ ТА МІНЕРАЛЬНОГО ЖИВЛЕННЯ НА РІСТ І РОЗВИТОК ЯЧМЕНЮ ЯРОГО В УМОВАХ ПІВНІЧНО СХІДНОЇ ЧАСТИНИ ЛІСОСТЕПУ УКРАЇНИ

Радченко Микола Володимирович

кандидат сільськогосподарських наук, доцент
Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна
ORCID: 0000-0001-9376-8657
radchenkonikolay@ukr.net

Пшиченко Олена Ігорівна

кандидат сільськогосподарських наук, доцент
Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна
ORCID: 0000-0003-4703-1747
pshychenko.elena@gmail.com

Удосконалення технології вирощування ячменю ярого – надзвичайно актуальне завдання, оскільки у нинішніх економічних умовах здешевлення виробництва зерна та підвищення його рентабельності можливе лише у разі впровадження нових агротехнічних прийомів.

Дослідженнями передбачалося використання генетичного потенціалу сортів ячменю ярого з важливою для нього оптимізацією живлення, від якої залежать умови формування врожаю зерна.

Вага колосу рослин у ячменю ярого сорту Доказ на контрольному варіанті у середньому за роки досліджень становила 0,56 г, за обробки стимулятором росту Гуміфілд ВР-18 – 0,62 г, при внесенні N_{16}, P_{16}, K_{16} – 0,67 г, N_{32}, P_{32}, K_{32} – 0,70 г. Аналогічно під впливом внесення стимулятора та мінеральних добрив цей показник зріс і у рослин ячменю ярого сорту Святогор – 0,70, 0,75, 0,80, 0,90 г, відповідно.

Найбільша кількість зерен у колосі була у сорту Святогор і коливалася у межах 13,51–15,73 шт. залежно від мінерального живлення. У сорту Доказ кількість зерен у колосі була нижчою і коливалася у межах 13,40–14,65.

Тобто спостерігалася тенденція до збільшення кількості зерен у колосі зі збільшенням дози мінеральних добрив.

Кількість зерен у колосі тісно пов'язана з масою зерна з одного колоса. Найвищою маса зерна з колоса була у сорту Святогор за внесення мінерального добрива N_{32}, P_{32}, K_{32} – 0,81 г, дещо нижча маса зерна з колосу була за внесення N_{16}, P_{16}, K_{16} – 0,76 г, Гуміфілд ВР-18 – 0,73 г та на контролі 0,65 г. Сорт Доказ характеризувався нижчою масою зерна з колоса 0,75, 0,72, 0,66, 0,60 г, відповідно.

Водночас встановлено, що найбільшою масою 1 000 зерен відрізнялися рослини у посівах сорту Святогор. Так, на контролі (без добрив) маса 1 000 насінин становила 48,10 г, за внесення стимулятора росту Гуміфілд ВР-18 – 48,50, за внесення мінеральних добрив у дозі N_{16}, P_{16}, K_{16} – 50,00 г, N_{32}, P_{32}, K_{32} – 51,50. Дещо менша маса 1000 насінин спостерігалася у сорту Доказ – 44,78, 46,32, 49,52, 51,19 г, відповідно.

Максимальна урожайність у середньому за період досліджень формувалася у сорту Святогор. Так, на контролі урожайність становила – 2,28 т/га, за внесення стимулятора росту Гуміфілд ВР-18 – 2,70 т/га, за внесення мінеральних добрив у дозі N_{16}, P_{16}, K_{16} – 3,19 т/га, N_{32}, P_{32}, K_{32} – 3,66 т/га. Сорт Доказ характеризувався нижчою урожайністю 2,07, 2,43, 2,97, 3,19 т/га, відповідно.

Сорт Святогор за дози мінерального добрива N_{32}, P_{32}, K_{32} забезпечив отримання максимальної ваги колосу 0,90 г, вагу зерна у колосі 0,81 г та довжину колосу 5,84 см. Кількість зерен у колосі становило 15,73 шт. з масою 1 000 насінин 51,50 г. Максимальну урожайність у середньому за період досліджень отримано за дози добрив N_{32}, P_{32}, K_{32} у сорту Святогор 3,66 т/га. Сорт Доказ при дозі добрив N_{32}, P_{32}, K_{32} забезпечив урожайність на рівні 3,19 т/га.

Ключові слова: сорт, стимулятор росту, мінеральні добрива, колос, зерно, урожайність.

DOI <https://doi.org/10.32845/agrobio.2021.4.8>

Вступ. Останніми роками за зміни кліматичних умов і постійного подорожчання ресурсів актуальною стала проблема отримання стабільної врожайності та якості зернових культур. З огляду на зазначене й у зв'язку з порушенням основних складових частин традиційних систем землеробства, основні елементи технології вирощування, хоча вони давно розроблені відомими вченими та виробничниками України, все ж доцільно систематично удосконалювати (Намаїунова & Kasatkina, 2019).

Удосконалення технології вирощування ячменю ярого – надзвичайно актуальне завдання, оскільки у нинішніх економічних умовах здешевлення виробництва зерна та підвищення його рентабельності можливе

лише у разі впровадження нових агротехнічних прийомів (Shtuhrevych, 2018).

Використання кращих сортів і високоякісного насіння є одним із найбільш ефективних засобів економічного зростання в агропромисловому секторі (Mosiihuk et al., 2021).

Відомо, що всі сільськогосподарські культури реагують на елементи технології вирощування по-різному, це залежить від їх біологічних особливостей і погодних умов, що складаються впродовж вегетації. Так, для ячменю важливо правильно обрати сорти (Yarchuk et al., 2015; Moisiienko & Podolskyi, 2019).

Сорт і насіння залишається одним із найефективніших інструментів впливу на інтенсифікацію зернової

галузі. Вибір сортів ячменю досить широкий і щороку поповнюється значною кількістю перспективних новинок. При створенні сортів, які відповідають сучасним вимогам, слід шукати його генетичні джерела, що особливо важливо для ґрунтово-кліматичних умов посушливих територій (Zargar et al., 2018).

При використанні кращих сортів підвищується врожайність, поліпшується якість продуктів сільськогосподарського виробництва. Середні прирости урожаю у нових сортів зазвичай становлять не менше 2 ц/га, а іноді 8–10 ц/га. Вони є носіями нових адаптивних можливостей сорту до регіональних умов вирощування, поліпшення якості та напрямів використання кінцевої продукції (Kozachenko, 2014; Povilaitis et al., 2018).

У сучасному аграрному виробництві останніми роками зберігається стійка тенденція до використання різних видів мінеральних добрив, що зумовлено збереженням балансу поживних речовин і родючості ґрунту та підвищення показників рівня урожайності сільськогосподарських культур. Оптимальне живлення рослин забезпечує зменшення стресів у рослин, викликаних несприятливими погодно-кліматичними умовами, що, на думку багатьох вчених, є невід’ємною складовою частиною інтенсивного сільськогосподарського виробництва (Kren et al., 2015; Vegum et al., 2015).

Забезпечення потреб рослин необхідною кількістю елементів живлення є виключно важливим, оскільки за відсутності сівозмін і застосування недостатніх обсягів добрив, особливо органічних, основні типи ґрунтів України втрачають свій потенціал родючості (Baliuk et al., 2018; Hospodarenko et al., 2019). На збіднених ґрунтах навіть у сприятливі за кількістю опадів роки отримати високу продуктивність сільськогосподарських культур без оптимізації живлення неможливо. Водночас органічних добрив у сучасний період вносять дуже мало (у тому числі через відсутність гною), що призводить до збіднення ґрунтів на гумус і погіршення їх водно-фізичних властивостей і водоутримуючої здатності. Оподи на ущільнених, не оструктурених ґрунтах слабо поглинаються ґрунтом і переважно втрачаються на випаровування (Gamajunova, 2017; Radchenko et al., 2018).

Мінеральних добрив застосовують також недостатньо внаслідок високої їх вартості та значно зростаючої посушливості. Останніми роками живлення більшості рослин базується на засадах ресурсозбереження, у тому числі використанні по фону кращих попередників або невисоких доз основного внесення мінеральних добрив (Hrytsaienko et al., 2008; Sepiedeh et al., 2014; Kozlova et al., 2019; Hamaiunova et al., 2019).

Одним зі шляхів підвищення ефективності застосування мінеральних добрив і можливості зменшення їх норм є використання стимуляторів росту (Panfilova & Hamaiunova, 2018).

Із зернових колосових ячмінь ярий найбільш посилено реагує на умови живлення, які необхідно оптимізувати, а останніми роками внаслідок високої вартості ресурсів вони ще мають бути ресурсоощадними, економічно й екологічно доцільними. Численними дослідженнями з різними культурами визначено високу ефективність застосування сучасних росторегулюючих препаратів

(Kolesnikov & Ponomarenko, 2016; Hamaiunova et al., 2018; Korchova et al., 2018; Hamaiunova et al., 2018).

Проведення обробки посіву рослин ячменю періоду вегетації рістрегулюючими речовинами посилює їх стійкість до умов середовища і призводить до підвищення ефективності використання запасів вологи й опадів на формування врожаю, попереджуючи непродуктивні їх втрати на випаровування (Masliiov et al., 2019; Gamajunova et al., 2020).

Під їх впливом в організмі рослин відбуваються біохімічні зміни, здатні модифікувати більшість частин їх метаболізму, внаслідок чого формується стійкість і стабільність рослинного організму (Shulaev et al., 2008; Huang et al., 2019).

Метою дослідження є використання генетичного потенціалу сортів ячменю ярого з важливою для нього оптимізацією живлення, від якої також залежать умови формування врожаю зерна.

Матеріали і методи досліджень. Дослідження проводилися на базі навчально-наукового виробничого центру Сумського НАУ за загальноприйнятими методиками (Dospěhov, 1985) протягом 2029–2021 рр. Ґрунти дослідного поля чорнозем типовий потужний важкосуглинковий середньогумусний, який характеризується такими показниками: вміст гумусу в орному шарі (за І.В. Тюриним) – 4,0%, реакція ґрунтового розчину близька до нейтральної (рН 6,5), вміст легкогідролізованого азоту (за І.В. Тюриним) 9,0 мг, рухомого фосфору і обмінного калію (за Ф. Чиріковим) відповідно 14 мг і 6,7 мг на 100 ґрунту. Двофакторний дослід проводили за схемою:

Фактор А – сорт: 1) Доказ; 2) Святогор.

Фактор Б – удобрення: 1) Без добрив (Контроль); 2) Гуміфілд ВР-18 (двукратне внесення по 0,4 л/га); 3) $N_{16} P_{16} K_{16}$; 4) $N_{32} P_{32} K_{32}$.

Попередник – соя. Сівбу ячменю ярого проводили в оптимальні для зони строки сівалкою Клен – 1,5 на глибину 3–4 см, з нормою висіву 5,0 млн. схожих насінин на 1 га. Мінеральні добрива вносили в передпосівну культивування у вигляді нітроамфоски. Стимулятор росту Гуміфілд ВР-18 вносило двократно з нормою внесення по 0,4 л/га одночасно з пестицидами у фазу кущення та колосіння.

Загальна площа ділянки становила 50 м², облікова 30 м², повторність дослідів триразова. Розміщення ділянок систематичне.

Під час фенологічних спостережень за початок фази росту і розвитку рослин ячменю ярого приймали наявність її не менше ніж у 10% рослин, за повну – 75%. Динаміку наростання надземної маси визначали в основні фази росту і розвитку шляхом відбору 10 рослин у типових місцях на ділянках у двох несумісних повтореннях. Урожайність ячменю ярого обліковували методом суцільного збирання і зважування з кожної ділянки.

Результати. У середньому за роки дослідження польова схожість на варіантах коливалася у межах 81,5–87,0 та 82,4–90,5% відповідно у сортів Доказ і Святогор. Внесення мінеральних добрив у передпосівну культивування призвело до збільшення польової схожості насіння на 4,7–5,5% у сорту Доказ і 5,3–8,1% у сорту Святогор (табл. 1).

Густота стояння рослин коливалася у межах 448,0–478,0 і 453,0–498,0 шт./м² відповідно у сортів Доказ

і Святогор. Найбільша густина становила у сорту Святогор за внесення мінерального добрива у дозі $N_{32}P_{32}K_{32}$ – 498,0 шт./м², що більше порівняно з $N_{16}P_{16}K_{16}$ – на 15 шт./м², Гуміфілд ВР-18 – 26 шт./м², контролі – 45 шт./м².

У сорту Доказ найбільша густина становила також за внесення мінерального добрива у дозі $N_{32}P_{32}K_{32}$ – 478,0 шт./м², що більше на 4,0, 8,0, 30,0 шт./м², відповідно (табл. 1).

Формування кінцевої густоти стояння, яке зумовлює продуктивність посіву, є функцією дії на рослини після з'явлення сходів, комплексу природних факторів і антропогенних заходів.

Збереженість рослин за період вегетації по сортам і мінеральному живленні коливалася у межах 77,0–90,7%. Так, найбільша збереженість рослин отримана на варіанті за внесення мінерального добрива $N_{32}P_{32}K_{32}$ у сорту Святогор – 90,7%, сорту Доказ – 88,9% (табл. 1).

Дані таблиці 2 характеризують зростання усіх зазначених елементів структури врожаю за внесення стимулятора росту та мінеральних добрив. Вага рослин у ячменю ярого сорту Доказ на контрольному варіанті у середньому за роки досліджень становила 0,85 г, за обробки стимулятором росту Гуміфілд ВР-18 – 0,91 г, при внесенні $N_{16}P_{16}K_{16}$ – 0,98 г, $N_{32}P_{32}K_{32}$ – 1,09 г. Аналогічно під впливом внесення стимулятора та мінеральних добрив даний показник зріс і у рослин ячменю ярого сорту Святогор – 0,97, 1,04, 1,18, 1,34 г, відповідно (табл. 2).

Вага колосу рослин у ячменю ярого сорту Доказ на контрольному варіанті у середньому за роки досліджень становила 0,56 г, за обробки стимулятором росту Гуміфілд ВР-18 – 0,62 г, за внесення $N_{16}P_{16}K_{16}$ – 0,67 г, $N_{32}P_{32}K_{32}$ – 0,70 г. Аналогічно під впливом внесення стимулятора та мінеральних добрив даний показник зріс і у рослин ячменю ярого сорту Святогор – 0,70, 0,75, 0,80, 0,90 г, відповідно (табл. 2).

Експериментальні дані свідчать про те, що найдовший колос у середньому 5,84, 5,71 см мали відповідно у варіантах із сортами Святогор і Доказ за внесення мінерального добрива у дозі $N_{32}P_{32}K_{32}$ (табл. 2).

Найбільш визначальними для формування урожайності ячменю ярого вважаються такі елементи структури врожаю, як кількість і маса зерен із одного колоса та маса 1 000 зерен.

Найбільша кількість зерен у колосі, була у сорту Святогор і коливалася у межах 13,51–15,73 шт. залежно від мінерального живлення. У сорту Доказ кількість зерен у колосі була нижчою і коливалася у межах 13,40–14,65. Тобто спостерігалася тенденція до збільшення кількості зерен у колосі зі збільшенням дози мінеральних добрив (табл. 3).

Кількість зерен у колосі тісно пов'язана з масою зерна з одного колоса. Найвищою маса зерна з колоса була у сорту Святогор за внесення мінерального добрива $N_{32}P_{32}K_{32}$ – 0,81 г, дещо нижча маса зерна з колосу була

Таблиця 1

Густина стояння рослин ячменю ярого залежно від сортових особливостей і мінерального живлення (середнє за 2019–2021 рр.)

Сорт	Добрива	Польова схожість, %	Густина стояння рослин, шт./м ²	Збереженість рослин за період вегетації	
				шт./м ²	%
Доказ	Без добрив (Контроль)	81,5	448,0	345,0	77,0
	Гуміфілд ВР-18	85,5	470,0	368,0	78,3
	$N_{16}P_{16}K_{16}$	87,0	478,0	425,0	88,9
	$N_{32}P_{32}K_{32}$	86,2	474,0	412,0	86,7
Святогор	Без добрив (Контроль)	82,4	453,0	350,0	77,3
	Гуміфілд ВР-18	85,8	472,0	370,0	78,4
	$N_{16}P_{16}K_{16}$	90,5	498,0	452,0	90,7
	$N_{32}P_{32}K_{32}$	87,7	483,0	420,0	87,0

Таблиця 2

Вага рослини та колосу, довжина колосу рослин ячменю ярого залежно від сортових особливостей і мінерального живлення (середнє за 2019–2021 рр.)

Сорт	Добрива	Вага рослини, г	Вага колосу, г	Довжина колосу, см
Доказ	Без добрив (Контроль)	0,85	0,56	4,85
	Гуміфілд ВР-18	0,91	0,62	5,00
	$N_{16}P_{16}K_{16}$	0,98	0,67	5,32
	$N_{32}P_{32}K_{32}$	1,09	0,70	5,71
Святогор	Без добрив (Контроль)	0,97	0,70	4,91
	Гуміфілд ВР-18	1,04	0,75	5,12
	$N_{16}P_{16}K_{16}$	1,18	0,80	5,40
	$N_{32}P_{32}K_{32}$	1,34	0,90	5,84
	НІР _{05(A)}	0,02	0,02	0,04
	НІР _{05(B)}	0,02	0,02	0,06
	НІР _{05(AB)}	0,03	0,03	0,08

за внесення $N_{16}P_{16}K_{16}$ – 0,76 г, Гуміфілд ВР-18 – 0,73 г та на контролі 0,65 г. Сорт Доказ характеризувався нижчою масою зерна з колоса 0,75, 0,72, 0,66, 0,60 г, відповідно (табл. 3).

Водночас встановлено, що найбільшою масою 1 000 зерен відрізнялися рослини у посівах сорту Святогор. Так, на контролі (без добрив) маса 1 000 насінин становила – 48,10 г, за внесення стимулятора росту Гуміфілд ВР-18 – 48,50, за внесення мінеральних добрив у дозі $N_{16}P_{16}K_{16}$ – 50,00 г, $N_{32}P_{32}K_{32}$ – 51,50. Дещо менша маса 1 000 насінин спостерігалася у сорту Доказ – 44,78, 46,32, 49,52, 51,19 г, відповідно (табл. 3).

Основними показниками продуктивності сільськогосподарських культур є їх урожайність, яка з погляду виробництва характеризує величину продукції. Дані графіка свідчать, що урожайність коливалася в межах 2,07–3,19 і 2,28–3,66 т/га відповідно у сортів Доказ і Святогор ($НІР_{05(A)} = 0,10$; $НІР_{05(B)} = 0,14$; $НІР_{05(AB)} = 0,20$). Максимальна урожайність у середньому за період досліджень формувалася у сорту Святогор. Так на контролі урожайність становила – 2,28 т/га, при внесенні стимулятора росту Гуміфілд ВР-18 – 2,70 т/га, за внесення мінеральних добрив у дозі $N_{16}P_{16}K_{16}$ – 3,19 т/га, $N_{32}P_{32}K_{32}$ – 3,66 т/га. Сорт Доказ характеризувався нижчою урожайністю 2,07, 2,43, 2,97, 3,19 т/га, відповідно (Рис. 1).

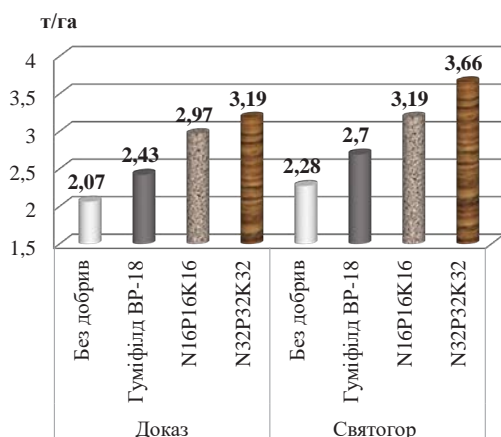


Рис 1. Урожайність зерна ячменю ярого залежно від сортових особливостей і мінерального живлення, т/га (середнє за 2019–2021 рр.)

Обговорення. Вихідним показником у формуванні оптимальної густоти рослин є схожість. За результатами дослідів М. Бомби польова схожість насіння на варіантах, де доза азотних добрив у передпосівну культивування не перевищувала 30–60 кг д. р./га, коливалася у межах 89,5–90,0. Збільшення дози азотного добрива у передпосівну культивування до 120 кг д. р/га призводило до зниження польової схожості насіння на 4,6–5,0%. Виживання рослин ячменю ярого за період вегетації, навпаки, зі збільшенням норми мінерального живлення від $N_{30}P_{30}K_{30}$ до $N_{120}P_{60}K_{80}$ зростала на 4,9–6,7% залежно від сорту (Vomba et al., 2019).

За даними Ю.М. Шкатула, на ділянках, де вносилися мінеральні добрива $N_{10}P_{26}K_{26} + N_{34}$ у підживлення у фазу початок кушіння ячменю кількість продуктивних стебел у середньому за два роки досліджень була у межах 420 шт./м². Найбільша кількість продуктивних стебел ячменю була відмічена на ділянках, де вносилися мінеральні добрива $N_{10}P_{26}K_{26} + N_{34}$ в підживлення у фазу початок кушіння + N_{46} початок виходу рослин у трубку, та проводилося позакореневе підживлення карбамідом у дозі використання N_8 + мікродобриво Еколист у нормі витрати 4 л/га у фазу кінець виходу в трубку ячменю, кількість продуктивних пагонів сорту Атлант Миронівський була в межах 461 шт./м², що більше ніж на контрольних ділянках на 181 шт./м² (Shkatula & Barskyi, 2021).

Досліджуючи висоту рослин А.В. Панфілова визначила, що найбільшої висоти у всі фази росту і розвитку рослини ячменю ярого досягли за внесення рекомендованої для зони передпосівної дози мінерального добрива $N_{30}P_{30}$ та проведення по цьому фоні позакорневих підживлень посівів сучасними препаратами Органік Д2 та Ескортбіо. Так, висота рослин становила 49,9–85,5 і 50,2–86,0 см, залежно від фази росту і розвитку рослин (Panfilova & Namaiunova, 2018).

На управління всіма компонентами врожаю впливає програма збалансованого живлення рослин, що включає макро- та мікроелементи (Romaniuk, 2019).

На думку Ю.М. Гамаюнова, цінною властивістю зернових культур, зокрема будь-якого сорту, є його репродуктивна здатність – можливість формувати кількість зерен у колосі. У рослин ячменю ярого, що вирощені у контрольному варіанті досліді за обробки рослин водою, цей

Таблиця 3

Структурні показники рослин ячменю ярого залежно від сортових особливостей і мінерального живлення (середнє за 2019–2021 рр.)

Сорт	Добрива	Число зерен у колосі, шт.	Вага зерна у колосі, г	Маса 1000 шт., г
Доказ	Без добрив (Контроль)	13,40	0,60	44,78
	Гуміфілд ВР-18	14,25	0,66	46,32
	$N_{16}P_{16}K_{16}$	14,54	0,72	49,52
	$N_{32}P_{32}K_{32}$	14,65	0,75	51,19
Святогор	Без добрив (Контроль)	13,51	0,65	48,10
	Гуміфілд ВР-18	15,04	0,73	48,50
	$N_{16}P_{16}K_{16}$	15,20	0,76	50,00
	$N_{32}P_{32}K_{32}$	15,73	0,81	51,50
	$НІР_{05(A)}$	0,04	0,02	0,05
	$НІР_{05(B)}$	0,05	0,02	0,07
	$НІР_{05(AB)}$	0,08	0,03	0,11

показник у середньому за три роки становив 7,56 см, то за обробки посіву рістрегулюючими препаратами у фазі кушіння він збільшився до 7,96 см, двічі – ще і в період виходу рослин у трубку 8,34, а за триразового підживлення (на початку колосіння) – 8,70 см. Озерненість колоса рослин ячменю ярого під впливом кількості обробок у середньому за роки досліджень зростає з 20,9 шт. зернин у контролі до 24,4 шт. за триразового підживлення або на 16,7% (Hamaiunova & Kasatkina, 2019).

Посуха від колосіння до досягання знижує виповненість зерна (Markin, 2008).

Зростання ж продуктивності сільськогосподарських рослин відбувається внаслідок впливу технологічних заходів на основні складники структури, що забезпечують величину врожаю. Під час вирощування зернових колосових культур до елементів структури належать такі: величина колоса, кількість зерен у колосі, їх маса з одного колоса і рослини та маса 1 000 зерен (Usyk, 2012).

Останні дослідження українських вчених досить детально розглядають проблематику оптимізації живлення сільськогосподарських культур. Для ячменю ярого ефективними нормами застосування добрив є $N_{60}P_{60}K_{80}$, а збільшення їх до $N_{90}P_{90}K_{120}$ може призвести до вилягання посівів і, таким чином, до зменшення врожайності (Kalenska et al., 2015; Kalenska & Tokar, 2015).

За дослідженнями А. Панфілова, використання мінеральних добрив перевищувало рівень урожаю зерна ячменю ярого на неконтрольованому варіанті на 0,71–0,75 т/га або на 26,7–28,2% (Panfilova et al., 2019).

У дослідженнях О. Бондарева застосування лише мінерального добрива на фоні гостро посушливих погодних умов дозволяє підвищити врожайність на 0,69 т/га порівняно із контролем. Оптимальний технологічний прийом полягає у внесенні мінеральних добрив у нормі $N_{30}P_{30}K_{30}$ на фоні насичення попередника вермікомпостом. Це дозволяє підвищити врожайність до 4,85 т/га (на 1,44 т/га або 42,2% до контролю) (Bondareva et al., 2020).

Висновки. Дослідженнями встановлено, що кращі умови для росту, розвитку і формування врожаю ячменю ярого склалися на варіанті із сортом Святогор за внесення дози мінерального добрива $N_{32}P_{32}K_{32}$. Сорт Святогор за дози мінерального добрива $N_{32}P_{32}K_{32}$ забезпечив отримання максимальної ваги рослини 1,34 г, вагу колосу 0,90 г, вагу зерна у колосі 0,81 г і довжину колосу 5,84 см. Кількість зерен у колосі становила 15,73 шт. із масою 1 000 насінин 51,50 г. Максимальну урожайність у середньому за період досліджень отримано за дози добрив $N_{32}P_{32}K_{32}$ у сорту Святогор 3,66 т/га. Сорт Доказ за дози добрив $N_{32}P_{32}K_{32}$ забезпечив урожайність на рівні 3,19 т/га.

Бібліографічні посилання:

1. Baliuk, S.A., Nosko, B.S., & Vorotyntseva, L.I. (2018). Rehuliuvannia rodiuchosti gruntiv ta efektyvnosti dobryv v umovakh zmin klimatu [Regulation of soil fertility and fertilizer efficiency in climate change]. *Visnyk ahraryoi nauky*, 4, 5–12 (in Ukrainian).
2. Begum, K., Sikder, A. H. F., Khanom, S., Hossain, M.F., & Parveen, Z. (2016). Nutrient uptake by plants from different land types of Madhupur soils. *Bangladesh Journal of Scientific Research*, 28(2), 113–121. <https://doi.org/10.3329/bjsr.v28i2.26782>
3. Bomba, M., Dudar, I., Lytvyn, O., Tuchapskyi, O., & Potopliak, O. (2019). Struktura vrozhaiu sortiv yachmeniu yaroho zalezno vid normy mineralnogo udobrennia [Structure of the yield of spring barley varieties depending on the norms of mineral nutrition]. *Visnyk Lvivskoho natsionalnogo ahraryoi universytetu*, 23, 93–96 (in Ukrainian). <https://doi.org/10.31734/agronomy2019.01.093>
4. Bondareva, O., Dudkina, A., & Viniukov, O. (2020). Efektyvnist pisladii orhaniky pry vyroshchuvanni yachmeniu yaroho v posushlyvykh umovakh Stepu Ukrainy [The effectiveness of the aftereffect of organic matter in the cultivation of spring barley in arid conditions of the steppe of Ukraine]. *Materialy konferentsii MTsND*, 58–60 (in Ukrainian). <https://doi.org/10.36074/10.07.2020.v1.05>
5. Dospheov, B.A. (1985). *Metodyka polevogo opyta* [Method of the field experience]. Moskva: Agropromy zdat (in Russian).
6. Gamajunova, V.V. (2017) Sustainability of Soil fertility in Southern Steppe of Ukraine, Depending on fertilizers and irrigation. Springer International Publishing Switzerland, 159–166 (in Ukrainian). https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-45417-7_14
7. Gamajunova, V.V., Kuvshinova, A.O., Kudrina, V.S., & Sydiakina, O.V. (2020). Influence of biologics on water consumption of winter barley and sunflower in conditions of Ukrainian Southern Steppe. *Innovative Solutions in Modern Science*, 6(42), 149–176 (in Ukrainian). doi: 10.26886/2414-634X.6(42)2020.9
8. Hamaiunova, V.V., Dvoretzkyi, V.F., Kasatkina, V.V., & Hlushko, T.V. (2019). Formuvannia pozhyvnoho rezhymu chornozemu pvidnennoho pid vplyvom mineralnykh dobryv za vyroshchuvannia yarykh zernovykh kultur [Formation of the nutrient regime of the southern chernozem under the influence of mineral fertilizers for growing spring cereals]. *Naukovi horizonty*, 1(74), 18–24 (in Ukrainian). doi: 10.332491/2663–2144–2019–74–1–18–24.
9. Hamaiunova, V.V., & Kasatkina T.O. (2019). Formuvannia vrozhaiu zerna yachmenia yaroho ta yoho struktury zalezno vid sortu i umov zhyvlennia v Pivdennomu Stepu Ukrainy [Formation of spring barley grain yield and its structure depending on the variety and nutrition conditions in the Southern Steppe of Ukraine]. *Roslynnystvo, selektsiia i nasynnystvo, plodoovochivnystvo i zberihannia*, 2, 87–98 (in Ukrainian). doi:10.35550/ISSN2413-7642.2019.02.09
10. Hamaiunova, V.V., Khonenko, L.H., Iskakova, O.Sh., Hyrlia, L.M., & Pylypenko, O.V. (2019). Optymizatsiia zhyvlennia kartopli za vyroshchuvannia v umovakh Pivdennoho Stepu Ukrainy [Optimization of potato nutrition for growing in the Southern Steppe of Ukraine]. *Visnyk Lvivskoho natsionalnogo ahraryoi universytetu*, 23, 196–201 (in Ukrainian). <https://doi.org/10.31734/agronomy2019.01.196>

11. Hamaiunova, V., Panfylova, A., Hlushko, T., Smyrnova, Y., & Kuvshynova, A. (2018). Znachenie optimizacii pitaniya v stabil'nosti formirovaniya urozhajnosti zernovyh kul'tur v zone juga Ukrainy [The value of nutrition optimization in the stability of the formation of grain yield in the zone of southern Ukraine]. *Agrarnaja nauka*, 2, 24–29 (in Ukrainian).
12. Hospodarenko, H.M., Chernov, O.D., & Cherednyk, A.Yu. (2019). Znachennia orhanichnykh dobryv u systemi udobrennia kultur polovoji sivozminy [The value of organic fertilizers in the system of extraction of poly culture in field crop rotation]. *Visnyk Lvivskoho natsionalnoho aharnoho universytetu*, 23(2), 184–190 (in Ukrainian). doi: 10.31734/agronomy2019.01.184
13. Hrytsaienko, Z.M., Ponomarenko, S.P., Karpenko, V.P., & Leontyuk, I.B. (2008). Biologichno aktyvni rehovyny v roslinnytstvi [Biologically active substances in crop]. Nichlava, Uman: (in Ukrainian).
14. Huang, H., Ullah, F., Zhou, D.X., Yi, M., & Zhao, Y. (2019). Mechanisms of ROS regulation of plant development and stress responses. *Frontiers in Plant Science*, 10, 1–10. doi 10.3389/fpls.2019.00800
15. Kalenska, S.M., & Tokar, B.Yu. (2015). Urozhainist yachmeniu yaroho zalezho vid rivnia mineralnoho zhyvlennia [Yield of spring barley depending on the level of mineral nutrition]. *Novitni tekhnologii vyroshchuvannia silskohospodarskykh kultur*, 30–33 (in Ukrainian).
16. Panfilova, A., Korkhova, M., Gamayunova, V., Fedorchuk, M., Drobitko, A., Nikonchuk, N., & Kovalenko, O. (2019). Formation of photosynthetic and grain yield of spring barley (*Hordeum vulgare* L.) depend on varietal characteristics and plant growth regulators. *Agronomy Research*, 17(2), 608–620. doi: 10.15159/AR.19.099
17. Kolesnikov, M.O., & Ponomarenko, S.P. (2016). Vplyv biostymulatoriv Stympto ta Rehoplant na produktyvnist yachmeniu yaroho [Influence of Stimpo and Regoplant biostimulants on spring barley productivity]. *Ahrobiologiya*, 1, 81–86 (in Ukrainian).
18. Korchova, M.M., Panfilova, A.V., Kovalenko, O.A., Fedorchuk, M.I., Chernova, A.V., Khonenko, L.G., & Markova, N.V. (2018). Watersupply of soft winter wheat under dependent of its sorts features and sowing terms and their influence on grain yields in the conditions of the Southern Step[of Ukraine. *Ukrainian Journal of Ecology*, 8(2), 33–38 (in Ukrainian).
19. Kren, J., Klem, K., Svobodova, I., Misa, P., & Lukas, V. (2015). Influence of sowing, nitrogen nutrition and weather conditions on stand structure and yield of spring barley. *Cereal research communications*. 43(2), 326–335. doi:10.1556/CRC.2014.0036
20. Kozachenko, M.R. (2014). Sorty yachmeniu yaroho dlia suchasnoho silskohospodarskoho vyrobnytstva [Varieties of spring barley for modern agricultural production]. *Visnyk Tsentru naukovoho zabezpechennia APV Kharkivskoi oblasti*, 17, 97–103 (in Ukrainian).
21. Kozlova, O.P., Bazalii, V.V., Domaratskyi, Ye.O., & Domaratskyi, O.O. (2019). Vplyv stymulatoriv rostu ta biofungitsydiv na arkhitektoniku riznykh morfobiotypiv soniashnyku [Influence of growth stimulants and biofungicides on the architecture of different morphobiotypes of sunflower]. *Tekhnika i tekhnologiya APK*, 2(111), 24–28 (in Ukrainian).
22. Markin, B.K. (2008). Effektivnost mineralnykh udobrenij na yachmene [The efficiency of mineral fertilizers on barley]. *Zerno*, 8, 6–8 (in Russian).
23. Masliiov, S.V., Korzhova, N.O., Yarchuk, I.I., & Liuklianchuk, V.F. (2019). Vplyv riznykh vydiv mineralnoho zhyvlennia na rist i rozvytok yachmeniu yaroho v zoni Stepu Ukrainy [The impact of different kinds of mineral nutrition on growth and development of spring barley in the steppe zone of Ukraine]. *Visnyk Poltavskoi derzhavnoi aharnoi akademii*, 4, 28–35 (in Ukrainian). doi: 10.31210/visnyk2019.04.03
24. Mosiichuk, I.I., Beznosko, I.V., Turovnik, Yu.A., & Horhan, T.M. (2021). Ekologichne obgruntuvannia rehuliacii fitopatohennoho mikrobiomu v ahrotsenozakh yachmeniu yaroho u ekologichno bezpechnykh tekhnologiyakh [Ecological reasoning of regulation of the phytopathogenic microbiome in agroecosystems of spring barley under ecologically safe technologies]. *Ahroekologichnyi zhurnal*, 2, 117–124 (in Ukrainian). doi: 10.33730/2077-4893.2.2021.234468
25. Moisiienko, V.V., & Podolskyi, O.M. (2019). Produktyvnist yachmeniu ozymoho sortu Khailait zalezho vid elementiv tekhnologii vyroshchuvannia [Productivity of Highlight winter barley depending on the elements of cultivation technology]. *Naukovi horizonty*, 10(83), 13–19 (in Ukrainian). doi: 10.33249/2663-2144-2019-83-10-13-19
26. Panfilova, A.V., & Hamaiunova, V.V. (2018). Produktyvnist sortiv yachmeniu yaroho zalezho vid optymizatsii zhyvlennia v umovakh Pivdennoho Stepu Ukrainy [Productivity of spring barley varieties depending on nutrition optimization in the conditions of the Southern Steppe of Ukraine]. *Plant Varieties Studying and Protection*, 14(3), 310–315 (in Ukrainian). doi: 10.21498/2518-1017.14.3.2018.145304
27. Panfilova, A.V., & Hamaiunova, V.V. (2018). Vplyv optymizatsii zhyvlennia na vysotu roslin ta vrozhaunist zerna sortiv yachmeniu yaroho v umovakh Pivdennoho stepu Ukrainy [Influence of nutrition optimization on the height and grain yield of spring barley varieties in the Southern Steppe of Ukraine]. *Visnyk aharnoi nauky Prychornomia*, 4, 42–47 (in Ukrainian). doi: 10.31521/2313-092X/2018-4(100)-6
28. Panfilova, A., Korkhova, M., Gamayunova, V., Fedorchuk, M., Drobitko, A., Nikonchuk, N., & Kovalenko, O. (2019). Formation of photosynthetic and grain yield of spring barley (*Hordeum vulgare* L.) depend on varietal characteristics and plant growth regulators. *Agronomy Research*, 17(2), 608–620. doi: 10.15159/AR.19.099
29. Povilaitis, V., Lazauskas, S., Antanaitis, S., Feiziene, D., Feiza, V., & Tilvikiene, V. (2018). Relationship between spring barley productivity and growing management in Lithuania's lowland. *Acta Agriculturae Scandinavica*, 1, 68, 86–95. doi: 10.1080/09064710.2017.1367834
30. Radchenko, M.V., Butenko, A.O. & Hlupak, Z.I. (2018). The influence of fertilizer system and efficacy of growth regulator on buckwheat productivity under the conditions of north-east forest steppe of Ukraine. *Ukrainian Journal of Ecology* 8(2), 89–94 (in Ukrainian). doi: 10.15421/2018_314
31. Romaniuk, V.I. (2019). Fotosyntetychna produktyvnist yachmeniu yaroho v umovakh Lisostepu Pravoberezhnoho [Photosynthetic productivity of summer barley in conditions of Forest-steppe Right-bank]. *Visnyk aharnoi nauky*, 3, 76–81 (in Ukrainian). doi: 10.31073/agrovisnyk201903-12

32. Sepiedeh, Z., Mohammad, N., Hamid, R.T.M., & Hossein, Z. (2014). Effect of zinc and sulfur foliar applications on physiological characteristics of sunflower (*Helianthus annuus* L.) under water deficit stress. *International Journal of Biosciences*, 5(12), 87–96. doi: 10.12692/ijb/5.12.87-96
33. Shkatula, Yu.M., & Barskyi, D.O. (2021). Urozhainist ozymoho yachmeniu zalezho vid systemy udobrennia [Yield of winter barley depending on the fertilizer system]. *Sil'ske hospodarstvo ta lisivnytstvo*, 21, 82–94 (in Ukrainian). doi: 10.37128/2707-5826-2021-2-7
34. Shtuharevych, V.S. (2018). Efektyvnist pozakorenevoho zastosuvannia stimulatora rosty 4R foliar concentrate na posivakh yachmenia yarohto [Efficiency of foliar application of growth stimulators «4R Foliar concentrate» on barley spring crops]. *Visnyk Poltavskoi derzhavnoi ahraryoi akademii*, 1, 83–87 (in Ukrainian).
35. Shulaev, V., Cortes, D., Miller, G., & Miller, R. (2008) Metabolomics for plant stress response. *Physiol Plant.*, 132(2), 199–208. doi: 10.1111/j.1399-3054.2007.01025.x
36. Usyk, L.O. (2012). Proiav hospodarsko tsinnykh oznak suchasnykh sortiv pshenytsi miakoi ozymoi selektsii instytutu zroshuvanoho zemlerobstva NAAN Ukrainy [Manifestation of economically valuable features of modern varieties of soft winter wheat selection of the Institute of Irrigated Agriculture of NAAS of Ukraine]. *Zroshuvane zemlerobstvo*, 57, 199–205 (in Ukrainian).
37. Yarchuk, I.I., Bozhko, V.Yu., & Moroz, O.O. (2015). Zymostiikist ta produktyvnist sortiv yachmeniu ozymoho zalezho vid strokiv sivby ta norm vysivu [Winter hardiness and productivity of winter barley varieties depending on sowing dates and sowing rates]. *Visnyk Poltavskoi derzhavnoi ahraryoi akademii*, 3, 54–57 (in Ukrainian). Access mode: http://nbuv.gov.ua/UJRN/VPDAA_2015_3_12
38. Zargar, M., Bodner, G., Tumanyan, A., Tyutyuma, N., Plushikov, V., Pakina, E., Shcherbakova, N., & Bayat, M. (2018). Productivity of various barley (*Hordeum vulgare* L.) cultivars under semi-arid conditions in southern Russia. *Agronomy Research*, 16(5), 2242–2253. <https://doi.org/10.15159/AR.18.176>

Radchenko M. V., PhD (Agricultural Sciences), Associate professor, Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine

Pshychenko O. I., PhD (Agricultural Sciences), Associate professor, Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine

Influence of varieties and mineral fertilization on growth and development of spring barley under conditions of the north-eastern part of the Forest Steppe of Ukraine

Improvement of spring barley growing technology is an extremely important task, as in the current economic conditions, reduction of expenditures on grain production and increase of its profitability is possible only in case of implementation of new agricultural techniques.

The studies envisaged the use of genetic potential of spring barley varieties with important nutrition optimization, which influence the conditions of grain harvest formation.

The weight of plant ear of spring barley variety Dokaz in the control variant during the years of research averaged 0.56 g, when treated with growth stimulant Humifield BP-18 – 0.62 g, with application of $N_{16}P_{16}K_{16}$ – 0.67 g, $N_{32}P_{32}K_{32}$ – 0.70 g. Similarly, under the influence of stimulants and mineral fertilizers, this index increased in spring barley variety Svyatogor – 0.70, 0.75, 0.80, 0.90 g, respectively.

The largest number of grains in the ear was received in the variety Svyatogor and ranged from 13.51 to 15.73 pieces depending on mineral nutrition. The variety Dokaz contained lower number of grains in the ear and ranged from 13.40 to 14.65 pcs. That is, there was a tendency to increase of grain number in the ear with increasing dose of mineral fertilizers.

The number of grains in an ear is closely connected with the mass of grain from one ear. The highest weight of grain from one ear had the variety Svyatogor with application of mineral fertilizer $N_{32}P_{32}K_{32}$ – 0.81 g, and slightly lower with application of $N_{16}P_{16}K_{16}$ – 0.76 g, Humifield BP-18 – 0.73 g. and the control – 0.65 g. The variety Dokaz was characterized by a lower grain weight from one ear – 0.75, 0.72, 0.66, and 0.60 g, respectively.

However, it was found that the largest mass of 1000 grains had the plants in crops of the variety Svyatogor. Thus, in the control the weight of 1000 seeds was – 48.10 g, when applying the growth stimulant Humifield BP-18 – 48.50 g., when applying mineral fertilizers in a dose of $N_{16}P_{16}K_{16}$ – 50.00 g, $N_{32}P_{32}K_{32}$ – 51.50. Slightly lower weight of 1000 seeds was observed in the variety Dokaz – 44.78, 46.32, 49.52, 51.19 g, respectively.

The maximum yielding capacity on average during the study period was formed in the variety Svyatogor. Thus, yielding capacity in the control was 2.28 t/ha, with application of the growth stimulant Humifield BP-18 – 2.70 t/ha, with the application of mineral fertilizers in a dose of $N_{16}P_{16}K_{16}$ – 3.19 t/ha, $N_{32}P_{32}K_{32}$ – 3.66 t/ha. The variety Dokaz was characterized by lower yielding capacity – 2.07, 2.43, 2.97, 3.19 t/ha, respectively.

With application of mineral fertilizer in a dose of $N_{32}P_{32}K_{32}$, the variety Svyatogor provided the maximum weight of the ear – 0.90 g, the grain weight in the ear 0.81 g. and the length of the ear 5.84 cm. The number of grains in the ear was 15.73 pieces with the weight of 1000 seeds – 51.50 g. The maximum yielding capacity on average during the study period with fertilizer dose of $N_{32}P_{32}K_{32}$ was obtained by the variety Svyatogor – 3.66 t/ha. With application of mineral fertilizer in a dose of $N_{32}P_{32}K_{32}$ the variety Dokaz provided yielding capacity at the level of 3.19 t/ha.

Key words: variety, growth stimulator, mineral fertilizers, ear, grain, yielding capacity.

Дата надходження до редакції: 10.12.2021 р.

ПРОЯВ ГЕТЕРОЗИСУ ТА СТУПЕНЯ ФЕНОТИПОВОГО ДОМІНУВАННЯ ЗА ЕЛЕМЕНТАМИ ПРОДУКТИВНОСТІ ТА ТРИВАЛІСТЮ ПЕРІОДУ ВЕГЕТАЦІЇ У F_1 СОЇ

Рибальченко Анна Михайлівна

кандидат сільськогосподарських наук

Полтавський державний аграрний університет, м. Полтава, Україна

ORCID: 0000-0002-2308-7853

rybalchenko.am@gmail.com

У сучасній селекції головною метою є прискорення термінів упровадження сортів у виробництво. Для створення таких сортів варто поновлювати і вивчати новий генофонд сої, продовжувати пошук джерел і донорів господарсько цінних ознак, виявляти особливості успадкування ознак, оптимізувати методи оцінювання і створення нового вихідного матеріалу. Основний метод селекції сої – внутрішньовидова гібридизація з подальшим індивідуальним добором у гібридних популяціях. Успіх роботи багато в чому залежить від правильного підбору батьківських пар для схрещування.

У статті викладено результати досліджень (2014–2016 роки) з вивчення прояву ефекту гетерозису та характеру успадкування основних ознак продуктивності та тривалості періоду вегетації в 11 гібридних популяціях (F_1) сої. За результатами гібридологічного аналізу встановлено, що успадкування ознак насінневої продуктивності в гібридів F_1 має досить складний характер, прояв якого значною мірою залежить від генетичних особливостей батьківських компонентів.

За масою насіння з рослини, кількістю бобів та кількістю насіння з рослини в більшості гібридів F_1 відмічалось успадкування за гетерозисним типом. Характер успадкування тривалості періоду вегетації відмінний від типу успадкування основних ознак насінневої продуктивності: у більшості випадків спостерігалось проміжне успадкування. За необхідності створити ранньостиглі форми у схрещування краще залучати більш скоростиглі генотипи, щоб вони незначно відрізнялись за тривалістю періоду вегетації.

У першому поколінні успадкування тривалості періоду вегетації відбувалось за проміжним типом у 9 гібридних комбінацій (82%). За масою насіння з рослини у 8 гібридних комбінацій, наддомінування – 73%. За кількістю бобів та насінин на рослину в 7 гібридних комбінацій спостерігали наддомінування (63%).

За ознаками «маса насіння з рослини», «кількість насінин на рослину», «кількість бобів на рослину» високий рівень гетерозису простежувався в таких гібридних комбінаціях, як: Злата (RUS) / Адамос (UKR), OAC Vision (CAN) / Адамос (UKR); OAC Vision (CAN) / Алмаз (UKR); Устя (UKR) / Славія (RUS), LF-8 (POL) / Алмаз (UKR), LF-8 (POL) / КуВін (UKR); Лада (RUS) / Мрія (UKR), Gaillard (CAN) / Хвиля (UKR).

Найбільш високий рівень гетерозису в гібридів першого покоління відмічений у гібридних комбінаціях OAC Vision (CAN) / Адамос (UKR); OAC Vision (CAN) / Алмаз (UKR); Устя (UKR) / Славія (RUS) за елементами продуктивності.

Ключові слова: соя, селекція, гібридні популяції, гетерозис, успадкування, ступінь домінування.

DOI <https://doi.org/10.32845/agrobio.2021.4.9>

Вступ. Головна мета сучасної селекції – підвищення її ефективності і прискорення термінів упровадження сортів у виробництво. У питаннях поліпшення культурних рослин у пріоритеті залишається традиційна селекція, що базується на гібридизації (Orliuk, 2008).

Сортові ресурси країни повинні забезпечувати продовольчі потреби. Останніми роками досить зростає кількість вітчизняних селекційних сортів (Petrychenko, 2010). Збільшилася кількість ранньостиглих сортів. Більшість сучасних сортів створені для поширення в умовах певних ґрунтово-кліматичних умов (Нгуьорчук & Якубенко, 2012).

Подальше зростання виробництва насіння сої потребує наявності і впровадження нових сортів з оптимальним поєднанням елементів продуктивності, скоростиглості, стійкості проти хвороб і шкідників, до екстремальних умов довкілля в різних зонах вирощування, з високими харчовими й кормовими властивостями (Sichkar, 2010). Для створення таких сортів варто поновлювати і вивчати новий генофонд сої, продовжувати пошук джерел і донорів господарсько цінних ознак, виявляти особливості мінливості й успадкування важливих ознак, оптимізувати

методи оцінювання і створення нового вихідного матеріалу (Krentsiv, 2019).

Гетерозис, характер успадкування кількісних ознак залежать як від факторів генетичних властивостей батьків, так і від умов вирощування (Sylenko, 2013). У процесі створення нового селекційного матеріалу для конкретного регіону велике значення має знання закономірностей успадкування основних ознак у сої з урахуванням взаємозв'язків між ними (Marchenko, 2012).

Значну увагу приділяють вивченню ступеня і характеру прояву гетерозису у гібридів F_1 (Bilivaska & Kornieieva, 2012). Визначають ступінь успадкування відповідної кількісної ознаки за ступенем домінування, що характеризує ступінь фенотипового прояву одного або декількох домінуючих генів, які зумовлюють дану кількісну ознаку. Він показує рівень перевищення величини ознаки в рослин F_1 середнього його значення в рослин батьківських форм (Babuch et al., 2012).

У селекції сої основним джерелом нового вихідного матеріалу є внутрішньовидова гібридизація спеціально підібраних батьківських пар із подальшим індивідуальним добором (Akulynushev, 1995). У разі схрещування

сортів, які значно різняться за походженням і елементами продуктивності, зростає ймовірність виділення з гібридних популяцій трансгресивних та рекомбінаційних форм із комплексом господарсько цінних ознак, тоді як одноманітність селекційного матеріалу сприяє зниженню рівня гетерозису, швидкому поширенню хвороб та шкідників (Dragavtsev, 1978).

У гібридів сої першого покоління від схрещування різних за скоростиглістю культурних сортів у більшості комбінацій спостерігався проміжний прояв тривалості періоду вегетації (Miakushko, 1983). У низки гібридів домінує пізньостиглість, в інших – скоростиглість (Fisenko & Mudrik, 1978). Пояснюють такий характер прояву ознаки тривалості періоду вегетації з філогенетичного погляду: якщо материнська форма скоростигла, а батьківська середньостигла, то в гібридів домінує скоростиглість (Mukhailov, 1986).

Процес штучної гібридизації сої потребує значних затрат праці, а вихід гібридного насіння дуже низький, що значно обмежувало протягом тривалого часу генетичну різноманітність сортів (Lavrova & Sichkar, 2002).

Знання закономірностей успадкування ознак у системі «батьки – потомство», які діють у гібридних популяціях, дає змогу більш ефективно проводити добір, вибірку малоцінних форм і зберігати водночас перспективні генотипи (Horsun et al., 2014).

Створення гібридів F_1 як вихідних форм гібридних популяцій для наступного добору в них трансгресивних форм має бути цілеспрямованим (Sichkar & Lavrova, 2001).

Високий ступінь гетерозису за продуктивністю зазначено у працях (Kochegura et al., 1994). Ступінь фенотипового домінування як показник для оцінки селекційного матеріалу на ранніх етапах випробування використовується в багатьох культурах (Mukhailov et al., 2016). Дослідження за цим показником підтверджують можливість його використання для підбору пар для схрещування, а також для швидкої оцінки гібридних нащадків (Bondarenko & Matushkin, 1985). У зв'язку із цим актуальним є дослідження з питань добору материнських і батьківських компонентів гібридів F_1 (Ahmad et al., 1977).

Теоретично можливості формотворчого процесу за внутрішньовидової гібридизації, заснованого на незалежному комбінуванні генів, безмежні. Однак різні типи взаємодії генів, явище зчепленого успадкування, генетичні та фізіологічні кореляції значно обмежують потенційну можливість перекомбінування ознак у гібридних організмів (Vasykivskyi & Vlasenko, 2002).

Як свідчать результати наукових досліджень Н.Я. Ковальчук, у гібридів встановлена позитивна і суттєва залежність тривалості періоду вегетації із продуктивністю й іншими ознаками, що її зумовлюють. Водночас у гібридів спостерігається розщеплення у співвідношеннях, близьких до 3:1 (Kovalchuk, 1974).

Алелям «дикого типу» властива скоростиглість. Тому в усіх комбінаціях з участю скоростиглих форм домінує скоростиглість. Якщо материнська форма скоростигла, а батьківська середньостигла, то в гібридів домінує скоростиглість. Якщо материнська форма пізньостигла, а батьківська – дуже пізньостигла, домінує тривалість

періоду вегетації більш скоростиглого компонента схрещування (Babyuch & Kokhaniuk, 2014).

Вивчення характеру мінливості ознак продуктивності в системі «батьки – потомство», на основі гібридологічного аналізу, дає змогу дати оцінку характеру їх успадкування (Fedin et al., 1980).

Мета досліджень – провести гібридизацію, дослідити характер успадкування тривалості періоду вегетації й елементів продуктивності у F_1 та встановити селекційну цінність отриманих гібридів. Вивчення ефекту гетерозису та ступеня домінування за такими ознаками, як тривалість періоду вегетації, кількість бобів на рослину, кількість насінин на рослину та маса насіння з рослини в гібридів сої F_1 .

Матеріали і методи досліджень. Дослідження проводились упродовж 2014–2016 рр. на дослідному полі Полтавської державної аграрної академії. До схрещувань залучені 14 зразків сої різного еколого-географічного походження та прояву цінних господарських ознак: Злата (RUS), Адамос (UKR), Алмаз (UKR), OAC Vision (CAN), Gaillard (CAN), СН 32–15 (BLR), Устя (UKR), Славія (RUS), LF-8 (POL), КиВін (UKR), Хвиля (UKR), Поема (SCG), Фарватер (UKR), Ельдорадо (UKR).

Погодні умови за період досліджень 2014–2016 рр. відрізнялися від середніх багаторічних значень та загалом були сприятливі для формування елементів продуктивності рослин сої.

Гібридизацію проводили в ранкові часи (7–10 годин), без кастрації, за методикою А.К. Лещенко (Leshchenko, 1978). Під час вегетації проводили фенологічні спостереження гібридів та їхніх батьківських форм (Kobizeva et al., 2004). Для аналізу покоління F_1 визначали ступінь істинного гетерозису та ступінь домінування. Гетерозис істинний (далі – Гіст) дає змогу виявити найбільш сильний прояв ознаки у F_1 порівняно із кращою батьківською формою, оцінити селекційну цінність гібрида (Singh et al., 2004). Ступінь гетерозису визначали за формулою:

$$\Gamma = \frac{F_1 - P_{max}}{P_{max}} \cdot 100\%$$

де F_1 – значення ознаки в гібрида першого; P_{max} – найбільше значення одного з батьків.

Ступінь домінування для визначення характеру успадкування розраховували за формулою В. Griffing (Griffing, 1950):

$$hp = \frac{F_1 - M_p}{P_{max} - M_p}$$

де hp – ступінь домінування; F_1 – значення ознаки в гібрида; M_p – середнє значення обох батьків; P_{max} – найбільше значення одного з батьків.

Групування отриманих даних за ступенем фенотипового домінування проводили відповідно до класифікації G.M. Beil, R.E. Atkins (Beil, Atkins, 1965):

Клас домінування	Числове значення hp
Гетерозис (наддомінування)	$(H) > + 1$
Часткове позитивне домінування	$+0,5 < hp \leq 1$
Проміжне успадкування	$-0,5 \leq hp \leq 0,5$
Часткове від'ємне успадкування	$- 1 \leq hp \leq -0,5$
Депресія	$hp < -1$

Статистичну обробку отриманих даних проводили за допомогою програмного забезпечення "Microsoft Excel".

Результати. Успадкування тривалості періоду вегетації в першому поколінні значно не змінювалося. Гібриди перебували в межах прояву показника батьків і незначно ухилялися в бік скоростиглості.

Вивчення гібридних популяцій F_1 показало, що переважна частина комбінацій успадковують період вегетації за проміжним типом: Злата (RUS) / Адамос (UKR) ($h_p = -0,4$), OAC Vision (CAN) / Адамос (UKR) ($h_p = -0,1$), Gaillard (CAN) / CH 32-15 (BLR) ($h_p = 0,1$), OAC Vision (CAN) / Алмаз (UKR) ($h_p = -0,4$), Устя (UKR) / Славія (RUS) ($h_p = 0,2$), LF-8 (POL) / Алмаз (UKR) ($h_p = -0,1$), LF-8 (POL) / КиВін (UKR) ($h_p = 0,5$), Лада (RUS) / Мрія (UKR) ($h_p = 0,3$), Gaillard (CAN) / Хвиля (UKR) ($h_p = -0,3$). Домінування пізньостиглості виявлено в комбінації CH 32-15 (BLR) / Ельдорадо (UKR) ($h_p = 0,7$). Наддомінування пізньостиглості спостерігалось у комбінації Поема (SCG) / Фарватер (UKR) ($h_p = 2,0$) (табл. 1).

На основі отриманих даних зроблено попередній висновок про використання вихідного матеріалу з різною тривалістю періоду вегетації в селекційних програмах. Якщо необхідно створити ранньостиглі форми, то у схрещування краще залучати більш скоростиглі генотипи, щоб вони незначно відрізнялись за тривалістю періоду вегетації.

Від схрещувань між ними можна отримати трансгресивні форми із тривалістю періоду вегетації до 100 діб.

Більшість гібридних комбінацій за ознакою маси насіння з рослини виявили гетерозис у першому поколінні (табл. 2).

Найвищий рівень гетерозису за ознакою маси насіння з рослини мав місце в гібридній комбінації LF-8 (POL) / Алмаз (UKR) ($h_p = 4,9$). За характером успадкування маси насіння з рослини наддомінування виявлено в таких гібридних комбінацій, як Злата (RUS) / Адамос (UKR) ($h_p = 1,8$), OAC Vision (CAN) / Адамос (UKR) ($h_p = 7,9$), OAC Vision (CAN) / Алмаз (UKR) ($h_p = 3,6$), Устя (UKR) / Славія (RUS) ($h_p = 10,3$), LF-8 (POL) / Алмаз (UKR) ($h_p = 3,7$), LF-8 (POL) / КиВін (UKR) ($h_p = 2,6$), Лада (RUS) / Мрія (UKR) ($h_p = 1,1$), Gaillard (CAN) / Хвиля (UKR) ($h_p = 2,9$). Проміжний тип успадкування спостерігали в гібридних комбінацій CH 32-15 (BLR) / Ельдорадо (UKR) ($h_p = 0,3$), Поема (SCG) / Фарватер (UKR) ($h_p = -0,2$). Часткове від'ємне домінування в Gaillard (CAN) / CH 32-15 (BLR) ($h_p = -0,7$).

Більшість гібридних комбінацій F_1 мали значно більшу кількість насінин із рослини, ніж батьківські форми (табл. 3).

З 11-и гібридних комбінацій у F_1 за ознакою «кількість насіння з рослини» у семи спостерігалось наддоміну-

Таблиця 1

Характеристика гібридів F_1 та їхніх батьківських форм за тривалістю періоду вегетації, 2015–2016 рр.

Комбінація схрещування	Тривалість періоду вегетації, діб			$\Gamma_{\text{гет}} \%$	h_p
	♀1)	♂2)	F_1		
Злата (RUS) / Адамос (UKR)	93	104	96	-7,7	-0,4
OAC Vision (CAN) / Адамос (UKR)	95	104	99	-4,8	-0,1
Gaillard (CAN) / CH 32-15 (BLR)	89	105	98	-6,6	0,1
OAC Vision (CAN) / Алмаз (UKR)	95	102	97	-4,9	-0,4
Устя (UKR) / Славія (RUS)	102	122	114	-6,5	0,2
LF-8 (POL) / Алмаз (UKR)	88	102	94	-7,8	-0,1
LF-8 (POL) / КиВін (UKR)	88	105	101	-3,8	0,5
Лада (RUS) / Мрія (UKR)	93	107	102	-4,7	0,3
Gaillard (CAN) / Хвиля (UKR)	89	106	95	-10,3	-0,3
CH 32-15 (BLR) / Ельдорадо (UKR)	105	120	118	-1,6	0,7
Поема (SCG) / Фарватер (UKR)	115	121	124	2,5	2,0

Примітка: ♀ – материнська форма, ♂ – батьківська форма, F_1 – гібрид, $\Gamma_{\text{гет}}$ – істинний гетерозис.

Таблиця 2

Характеристика гібридів F_1 та їхніх батьківських форм за масою насіння з рослини, 2015–2016 рр.

Комбінація схрещування	Маса насіння з рослини, г			$\Gamma_{\text{гет}} \%$	h_p
	♀1)	♂2)	F_1		
Злата (RUS) / Адамос (UKR)	17,5	25,3	28,6	13,1	1,8
OAC Vision (CAN) / Адамос (UKR)	24,2	25,3	29,1	15,0	7,9
Gaillard (CAN) / CH 32-15 (BLR)	18,5	22,3	19,1	-14,3	-0,7
OAC Vision (CAN) / Алмаз (UKR)	24,2	27,8	32,5	16,9	3,6
Устя (UKR) / Славія (RUS)	24,6	23,5	29,7	20,7	10,3
LF-8 (POL) / Алмаз (UKR)	22,1	27,8	35,4	27,3	3,7
LF-8 (POL) / КиВін (UKR)	22,1	28,4	33,5	17,9	2,6
Лада (RUS) / Мрія (UKR)	13,4	24,2	24,8	2,5	1,1
Gaillard (CAN) / Хвиля (UKR)	18,5	27,6	30,5	10,5	2,9
CH 32-15 (BLR) / Ельдорадо (UKR)	22,3	28,7	26,4	-8,1	0,3
Поема (SCG) / Фарватер (UKR)	24,6	30,8	27,1	-12,0	-0,2

Характеристика гібридів F₁ та їхніх батьківських форм за кількістю насіння з рослини, 2015–2016 рр.

Комбінація схрещування	Кількість насіння з рослини, шт.			Г _{іст} %	hp
	♀1)	♂2)	F ₁		
Злата (RUS) / Адамос (UKR)	103,5	121,6	132,4	8,9	2,2
OAC Vision (CAN) / Адамос (UKR)	126,2	121,6	144,7	14,7	9,1
Gaillard (CAN) / СН 32–15 (BLR)	109,8	135,4	117,3	-13,3	-0,4
OAC Vision (CAN) / Алмаз (UKR)	126,2	132,5	151,6	14,4	7,1
Устя (UKR) / Славія (RUS)	120,2	116,8	132,0	13,4	7,7
LF-8 (POL) / Алмаз (UKR)	114,7	132,5	155,6	17,4	3,6
LF-8 (POL) / КиВін (UKR)	114,7	172,3	183,0	6,3	1,4
Лада (RUS) / Мрія (UKR)	91,6	116,7	113,8	-2,5	0,8
Gaillard (CAN) / Хвиля (UKR)	109,8	137,2	158,4	15,4	2,5
СН 32–15 (BLR) / Ельдорадо (UKR)	135,4	128,6	122,7	-9,4	-2,7
Поєма (SCG) / Фарватер (UKR)	113,5	125,8	115,0	-7,6	-0,6

Таблиця 4

Характеристика гібридів F₁ та їхніх батьківських форм за кількістю бобів із рослини, 2015–2016 рр.

Комбінація схрещування	Кількість бобів, шт.			Г _{іст} %	hp
	♀1)	♂2)	F ₁		
Злата (RUS) / Адамос (UKR)	37,2	71,4	75,6	5,8	1,2
OAC Vision (CAN) / Адамос (UKR)	58,3	71,4	78,0	9,6	2,1
Gaillard (CAN) / СН 32–15 (BLR)	52,1	63,7	55,6	-12,7	-0,4
OAC Vision (CAN) / Алмаз (UKR)	58,3	72,3	84,0	15,9	2,6
Устя (UKR) / Славія (RUS)	67,4	74,3	87,5	17,8	4,8
LF-8 (POL) / Алмаз (UKR)	55,2	72,3	83,0	14,9	2,2
LF-8 (POL) / КиВін (UKR)	55,2	73,2	88,7	21,1	2,7
Лада (RUS) / Мрія (UKR)	31,7	66,5	59,8	-10,1	0,6
Gaillard (CAN) / Хвиля (UKR)	52,1	74,5	86,3	15,8	2,1
СН 32–15 (BLR) / Ельдорадо (UKR)	63,7	68,4	58,0	-15,1	-3,4
Поєма (SCG) / Фарватер (UKR)	64,3	69,1	65,2	-5,8	-0,6

вання ознаки: Злата (RUS) / Адамос (UKR) (hp = 2,2), OAC Vision (CAN) / Адамос (UKR) (hp = 9,1), OAC Vision (CAN) / Алмаз (UKR) (hp = 7,1), Устя (UKR) / Славія (RUS) (hp = 7,7), LF-8 (POL) / Алмаз (UKR) (hp = 3,6), LF-8 (POL) / КиВін (UKR) (hp = 1,4), Gaillard (CAN) / Хвиля (UKR) (hp = 2,5). Часткове позитивне домінування в комбінації Лада (RUS) / Мрія (UKR) (hp = 0,8), проміжне успадкування в Gaillard (CAN) / СН 32–15 (BLR) (hp = -0,4). Часткове від'ємне успадкування в гібридній комбінації Поєма (SCG) / Фарватер (UKR) (hp = -0,6). І депресія виявлена в гібридній комбінації СН 32–15 (BLR) / Ельдорадо (UKR) (hp = -2,7).

За ознакою «кількість бобів на рослині» найвищий рівень гетерозису виявлений у гібридній комбінації Устя (UKR) / Славія (RUS) (hp = 4,8) та LF-8 (POL) / КиВін (UKR) (hp = 2,7). Часткове позитивне домінування – у комбінації Лада (RUS) / Мрія (UKR) (hp = 0,6). Проміжне успадкування відмічали в гібридній комбінації Gaillard (CAN) / СН 32–15 (BLR) (hp = -0,4) (табл. 4).

Як і за ознакою «кількість насіння з рослини», за кількістю бобів депресія виявлена в гібридній комбінації СН 32–15 (BLR) / Ельдорадо (UKR) (hp = -3,4).

Обговорення. За типом успадкування цінних господарських ознак гібридні комбінації F₁ відрізнялися. Серед 11 комбінацій схрещувань у першому поколінні успадку-

вання тривалості періоду вегетації за проміжним типом спостерігалось у 9-и гібридних комбінацій (82%), в однієї (9%) спостерігалось позитивне домінування і в однієї (9%) – наддомінування. За масою насіння з рослини у 8 гібридних комбінацій – наддомінування (73%), у двох – проміжний тип успадкування (18%) та в однієї (9%). За кількістю бобів та насінин на рослину в 7 гібридних комбінацій – наддомінування (63%) і за однією гібридною комбінацією – часткове позитивне домінування (9%), проміжне успадкування (9%), часткове позитивне домінування (9%), часткове від'ємне домінування (9%), депресія (9%).

Висновки. За ознаками «маса насіння з рослини», «кількість насінин на рослину», «кількість бобів на рослину» гетерозис чітко простежувався в таких гібридних комбінацій: Злата (RUS) / Адамос (UKR), OAC Vision (CAN) / Адамос (UKR); OAC Vision (CAN) / Алмаз (UKR); Устя (UKR) / Славія (RUS), LF-8 (POL) / Алмаз (UKR), LF-8 (POL) / КиВін (UKR); Лада (RUS) / Мрія (UKR), Gaillard (CAN) / Хвиля (UKR).

Найбільш високий рівень гетерозису в гібридів першого покоління мав місце в гібридних комбінацій OAC Vision (CAN) / Адамос (UKR); OAC Vision (CAN) / Алмаз (UKR); Устя (UKR) / Славія (RUS) за елементами продуктивності.

Бібліографічні посилання:

1. Ahmad Q.N., Britten E.J., & Byth D.E. (1977). Inversion bridges and meiotic behavior in species hybrid of soybeans. *G. Hereditas*, 68, 360–364.
2. Akulynych V.F. (1995). O podbore par dlya skreshchyvaniya [On the selection of pairs for crossing]. *Selektsiya i semenovodstvo*, 3, 21–22 (in Russian).
3. Babych A.O., Ivaniuk S.V., & Kokhaniuk N.V. (2012). Otsinka hibrydiv soi pershoho pokolinnia na osnovi hibrydologichnoho analizu [Evaluation of first generation soybean hybrids based on hybridological analysis]. *Kormy i kormovyrobnytstvo*, 74, 8–13 (in Ukrainian).
4. Babych A.O., & Kokhaniuk N.V. (2014). Uspadkuvannia tryvalosti periodu vehetatsii u mizhvdyovykh hibrydiv soi [Inheritance of vegetation period duration in interspecific soybean hybrids]. *Peredhirne ta hirske zemlerobstvo i tvarynyntstvo*, 56 (2), 3–8 (in Ukrainian).
5. Beil, G.M., & Atkins, R.E. (1965). Inheritance of quantitative characters in grain sorghum. *Iowa State Journal*, 39, 3.
6. Biliavska L.H., & Kornieieva M.O. (2012). Fenotypovyi proiav kilkisnykh oznak u hibrydnykh kombinatsiiakh F_1 soi [Phenotypic manifestation of quantitative traits in hybrid combinations of F_1 soybeans]. *Sortovyvchennia ta okhrona prav na sorty roslyn*, 1, 28–31 (in Ukrainian).
7. Bondarenko V.I., & Matushkin V.A. (1985). Izuchenie ishodnogo materiala dlya selektsii soi na produktivnost [Study of the source material for breeding soybeans for productivity]. *Nauchno-tehnicheskiiy byulleten VIR*, 153, 60–63 (in Russian).
8. Dragavtsev V.A. (1978). Novyye printsipyi otbora genotipov po kolichestvennyim priznakam v selektsii rasteniy [New principles of selection of genotypes for quantitative traits in plant breeding]. *Genetika kolichestvennykh priznakov v selektsii rasteniy*. Nauka, Moskva, 5–9 (in Russian).
9. Fedin M.A., Silis D.Ya., & Smiryaev A.V. (1980) Statisticheskie metodyi geneticheskogo analiza [Statistical methods of genetic analysis]. *Kolos*, Moskva, 207 (in Russian).
10. Fisenko P.P., & Mudrik N.V. (1978). Izuchenie ishodnogo materiala i printsipov podbora roditelskikh par dlya ispolzovaniya v selektsii soi [Study of the source material and principles of selection of parental pairs for use in soybean breeding]. *Trudy Dalnevostochnogo NIISH*, 26, 79–85 (in Russian).
11. Griffing B. (1950). Analysis of quantitative gene-action by constant parent regression and related techniques. *Genetics*, 35, 303–321.
12. Horsun I.A., Lavrova H.D., & Sichkar V.I. (2014). Tsilespriamovanyi dobir batkivskykh par dlia stvorennia novoho vykhidnoho materialu soi [Purposeful selection of parent pairs to create a new source of soybean material]. *Zbirnyk naukovykh prats SHI – NTsNS*, 15 (55), 39–51 (in Ukrainian).
13. Hryhorchuk N.F., & Yakubenko O.V. (2012). Vykhidnyi material soi dlia stvorennia rannostyhykh sortiv [Source material of soybeans for creation of early-ripening grades]. *Kormy i kormovyrobnytstvo*, 73, 72–77 (in Ukrainian).
14. Kobizeva L.N, Ryabchun V.K, & Bezugla O.M. et al. (2004). Shirokiy unifikovaniy klasifikator rodu *Glycine max. (L)*. Merr [Great unified classifier kind of *Glycine max. (L)*. Merr]. *IR im. V.Ya. Yur'eva*, Kharkiv, 37 (In Ukrainian).
15. Kochegura A.V., Zelentsov S.V., & Klyikov V.V. (1994). Uluchsheniyy sposob gibridizatsii soi [Improvements way soybean hybridization]. *Tehnicheskiiye kulturyi*, 2, 8–9 (in Russian).
16. Krentsiv Ya.I. (2019). Minlyvist elementiv produktivnosti u roslyn soi hibrydiv F_1 , F_2 [Variability of productivity elements in soybean plants of hybrids F_1 , F_2]. *Visnyk ahrarnoi nauky*, 3, 82–88. doi: 10.31073/agrovisnyk201903-13 (in Ukrainian).
17. Kovalchuk N.Ya. (1974). Zavisimost elementov strukturyi urozhaya sortoobraztsov soi ot prodolzhitel'nosti perioda vegetatsii [Dependence of the elements of the structure of the yield of varieties of soybeans on the duration of the growing season]. *Selektsiya i semenovodstvo*. Urozhay, Kiev, 26, 28–32 (in Russian).
18. Lavrova H.D., & Sichkar V.I. (2002). Vykorystannia sztuchnoi ta pryrodnoi hibrydyzatsii v selektsii soi [The use of artificial and natural hybridization in soybean breeding]. *Ahrarnyyi visnyk Prychornomor'ia*, 18, 101–107 (in Ukrainian).
19. Leshchenko A.K. (1978). *Kultura soy* [Soybean culture]. *Naukova dumka*, Kyev, 236 (in Russian).
20. Marchenko T.Yu. (2012). Proiav heterozysu za oznakoiu "masa 1 000 nasynyn" u hibrydiv soi v umovakh zroshennia pivdnia Ukrainy [Manifestation of heterosis on the basis of "mass of 1 000 seeds" in soybean hybrids under irrigation in southern]. *Tavriiskyyi naukovyyi visnyk*, 80, 114–118 (in Ukrainian).
21. Mykhailov V.H. (1986). Nasledovanye prodolzhytel'nosti peryoda vehetatsii u soi [Inheritance of the length of the growing season in soybeans]. *Byolohiya, selektsiya y henetyka soy*. Novosybyrsk, 110–125 (in Russian).
22. Mykhailov V.H., Romaniuk A.S., Shcherbyna O.Z., Tymoshenko O.O., & Tkachyk S.O. (2016). Uspadkuvannia kilkisnykh oznak u hibrydiv kvasoli F_1 [Inheritance of quantitative traits in F_1 bean hybrids]. *Zbirnyk naukovykh prats NNTS Instytut zemlerobstva NAAN*, 3–4, 197–205.
23. Miakushko Yu.P. (1983). Opredelenye napravleniy y perspektiv selektsii soi v evropeiskoi chasty strany [Determination of directions and prospects of soybean breeding in the European part of the country]. *Selektsiya y semenovodstvo*, 7, 11–14 (in Russian).
24. Orliuk A.P. (2008). Teoretychni osnovy selektsii roslyn [Theoretical foundations of plant breeding]. *Ailant*, Kherson, 314–345 (in Ukrainian).
25. Petrychenko V.F. (2010). Naukovi osnovy staloho soiesiannia v Ukraini [Scientific bases of sustainable cohesion in Ukraine]. *Kormy i kormovyrobnytstvo*, 69, 3–10 (in Ukrainian).
26. Sylenko S.I., & Sylenko O.S. (2013). Uspadkuvannia hospodarsko tsinnykh oznak u hibrydiv F_1 kvasoli zvychnoi v umovakh Livoberezhnoi chastyny Lisostepu Ukrainy [Inheritance of economically valuable traits in F_1 hybrids of common beans in the conditions of the Left Bank part of the Forest-Steppe of Ukraine]. *Visnyk Poltavskoi derzhavnoi ahrarnoi akademii*, 1, 33–36 (in Ukrainian).

27. Sichkar V.I. (2010). Henetychnyi potentsial novykh sortiv soi i yoho realizatsiia u vyrobnytstvi [Genetic potential of new soybean varieties and its implementation in production]. *Nasinnnytstvo*, 2010, 11, 14–17 (in Ukrainian).
28. Sichkar V.I., & Lavrova H.D. (2001) Stvorennia vykhidnoho materialu dlia selektsii soi iz zastosuvanniam hibrydyzatsii [Creation of source material for soybean breeding using hybridization]. *Visnyk ahrarynoi nauky*, 6, 50–52 (in Ukrainian).
29. Singh, H., Sharma, S.N., & Sain, R.S. (2004). Heterosis studies for yield and its components in bread wheat over environments. *Hereditas*, 141, 106–114.
30. Vasylykivskyi S.P., & Vlasenko V.A. (2002) Rozshyrennia henetychnoho riznomanittia vykhidnoho materialu v selektsii zernovykh kultur [Expansion of genetic diversity of source material in grain breeding]. *Naukovo-tekhnychnyi biuleten Myronivskoho instytutu pshenytsi im. V.M. Remesla. Ahraryna nauka*, K. : 2, 12–17 (in Ukrainian).

Rybalchenko A. M., PhD (Agricultural Sciences), Poltava State Agrarian University, Poltava, Ukraine

Manifestation of heterosis and degree of phenotypic dominance by elements of productivity and duration of period vegetation in F_1 soybean

In modern plant breeding, the main goal is to accelerate the introduction of varieties into production. To create such varieties, it is necessary to update and study the new gene fund of soybean, to continue the search for sources and donors of economically valuable traits, to identify the characteristics of trait inheritance, to optimize methods of evaluation and creation of new source material. The main method of soybean breeding is intraspecific hybridization followed by individual selection in hybrid populations. The success of the work largely depends on the correct selection of parental pairs for crossing.

The article summarizes the results of research (2014–2016) on the manifestation of the effect of heterosis and the inheritance of the main productivity traits and the duration of the period vegetation in 11 hybrid populations (F_1) of soybean. Hybridological analysis revealed that inheritance of seed productivity traits in F_1 hybrids is quite complex, the manifestation of which depends significantly on the genetic characteristics of the parental components.

Heterosis inheritance was observed in the greater number of F_1 hybrids according to weight of seed per a plant, number of beans and number of seeds per a plant. The nature of inheritance of period vegetation duration is different from the type of inheritance of the main traits of seed productivity, the intermediate inheritance is observed in most cases. If it is necessary to create early-ripening forms, it is better to use more early-ripening genotypes in crossing, so that they do not differ significantly in the duration of the period vegetation.

In the first generation, inheritance of period vegetation duration by the intermediate type in 9 hybrid combinations (82%). By weight of seed per a plant in 8 hybrid combinations – overdominance (73%). By number of beans and seeds per a plant in 7 hybrid combinations overdominance was observed (63%).

According to the traits “seed weight per a plant”, “number of seeds per a plant”, “number of beans per a plant”, the high level of heterosis was seen in the following hybrid combinations: Zlata (RUS) / Adamos (UKR), OAC Vision (CAN) / Adamos (UKR); OAC Vision (CAN) / Almaz (UKR); Ustia (UKR) / Slaviia (RUS), LF-8 (POL) / Almaz (UKR), LF-8 (POL) / KyVin (UKR); Lada (RUS) / Mriia (UKR), Gaillard (CAN) / Khvylia (UKR).

The highest level of heterosis in the first-generation hybrids was observed hybrid combinations: OAC Vision (CAN) / Adamos (UKR); OAC Vision (CAN) / Almaz (UKR); Ustia (UKR) / Slaviia (RUS) by the productivity elements.

Key words: soybean, plant breeding, hybrid populations, heterosis, inheritance, degree of dominance.

Дата надходження до редакції: 03.12.2021 р.

СУЧАСНИЙ СТАН ФЛОРИ Р. СТИР

Толочик Інна Леонідівна

кандидат біологічних наук, доцент

Рівненський державний гуманітарний університет, м. Рівне, Україна

ORCID: 0000-0002-3690-8104

inna.tolochyk@rshu.edu.ua

Уперше проведені геоботанічні дослідження водної та прибережно-водної рослинності на окремих ділянках річки Стиру. Встановлено, що видовий склад гідрофільної флори на різних ділянках річки відрізняється, проте є окремі види, які характерні тільки для певної досліджуваної території. За результатами проведених польових досліджень у складі виділених таксонів описано 125 видів вищих судинних рослин із 75 родів та 38 родин. У видовому складі найпоширеніші 7 родин: Poaceae (11 видів), Potamogetonaceae (10 видів), Asteraceae (9 видів), Cyperaceae (8 видів), Polygonaceae (8 видів), Ranunculaceae (6 видів), Salicaceae (6 видів). Зазначені види цих родин становлять 46,4%. Серед визначених родів домінують: Potamogeton (9 видів), Salix (6 видів), Juncus, Rumex і Carex (по 5 видів), 6,4% (8 видів) – адвентивні рослини: Acorus calamus, Bidens frondosa, Echinocystis lobata, Elodea canadensis, Juncus tenuis, Salix fragilis, Xanthium albinum, Zizania latifolia, решта представляють аборигенну флору Рівненської області. Встановлено, що в екосистемі річки простежується тенденція до посилення трансформаційних процесів. У чотирьох створах нижньої течії гідрофільна флора виявилась біднішою. Проте особливо багатоманітністю видового складу нижньої течії виділяється ділянка між селищем міського типу Зарічним та селом Іванчицями. У результаті ценопопуляційних досліджень окремих ділянок річки отримані дані, що визначають стан популяцій 6 раритетних видів: *Pulicaria vulgaris*, *Hippuris vulgaris*, *Batrachium rionii*, *Nymphaea candida* (стариця); *Batrachium circinatum* (село Вербень); *Potamogeton gramineus* (село Іванчиці). Уперше на Рівненщині знайдений сильноуразливий вид *Batrachium rionii*, який віднесений до Червоного списку водних макрофітів України. Найрізноманітнішою визначена ділянка, де річка утворює старицю. Порівняльний аналіз різних ділянок річки дає можливість оцінити гідрофільну флору, розробити оптимальні шляхи охорони рідкісних і типових рослин та їх угруповань.

Ключові слова: гідрофільна флора, видовий склад, водна, прибережно-водна рослинність.

DOI <https://doi.org/10.32845/agrobio.2021.4.10>

Вступ. Водні екосистеми відіграють надзвичайно важливу екологічну, екосистемну, регуляторну й енерго-акумуляуючу роль. Важливою ланкою прісноводного біоценозу є водна та прибережно-водна рослинність. Відповідно до Водної рамкової директиви Євросоюзу, для оцінки екологічного стану гідроекосистем передбачене вивчення автотрофних гідробіонтів (EU Directive, 2006).

Натепер найбільший науковий інтерес становлять флористичні дослідження гідроекосистем (Zub, 2000; Chorna, 2001; Sadchikov & Kudrjashov, 2004; Tolochyk & Volodymyrets, 2018), а також особливості поширення макрофітів (Dubyna et. al., 1993; Chambers, 2008). Останніми роками все більш актуальними стають дослідження характеру заростання водойм та водотоків, складу і структури рослинності, її динаміки та продукційних процесів (Pарchenkov, 2003; Egertson et. al., 2004; Pyrina & Lyashenko, 2005; Costanza et. al., 2007; Chao et. al., 2014; Pasichnaja et. al., 2015; Prokopchuk & Hrubinko, 2016). Однак, на думку науковців, актуальними є комплексні дослідження гідрофлори, вплив антропогенних змін та необхідність вивчення рівня експлуатації, охорони та відтворення водних екосистем (Brannen & Bielak, 2004; Gilvear et. al., 2013; Trebilco et. al., 2013; Deng et. al., 2015; Kopylov et. al., 2018). Стан природної рослинності виступає об'єктивним джерелом інформації про процеси, які проходять у річках (Dubyna, 1996, 2006; Pарchenkov, 2001; Pyrina & Lyashenko, 2005; Clayton & Edwards, 2006). Флора прісноводних екосистем може виконувати роль природних біофільтрів. Саме тому

дослідженню гідрофільної флори присвячені роботи як зарубіжних, так і вітчизняних ботаніків, гідробіологів та екологів (Chorna, 2001; Gryb et. al., 2003; Fedorchuk, 2005; Baranovsky et. al., 2006; Cronin et. al., 2006; Chambers et. al., 2008; Mäemets et. al., 2010; Belyakov et. al., 2017). Вивчення водної та прибережно-водної рослинності представлено в колективній монографії українських, чеських і словацьких науковців (Dubyna et. al., 1993). Надалі списки видів макрофітів були наведені у працях (Zyb, 2000; Chorna, 2001; Fedorchuk, 2003; Musienko & Ol'hovych, 2004; Dubyna, 2006). Фрагментарні відомості про видовий склад гідрофільної флори та раритетні види вищих водних і прибережно-водних рослин Рівненської області були опубліковані В.О. Володимирцем та Ю.Р. Гроховською (Grohovs'ka et. al., 2013; Grohovs'ka & Volodymyrets, 2015). Уперше на Рівненщині знайдений вид *Batrachium rionii*, який віднесений до Червоного списку водних макрофітів України та є сильноуразливим видом (Tolochyk & Volodymyrets, 2018). Дослідження видового складу водних рослин є важливим в оцінці якості води річок, тому вивчення видового складу водної та прибережно-водної рослинності р. Стир є актуальним, оскільки ці дані можуть бути використані у фітомоніторингових дослідженнях.

Метою нашого дослідження було вивчення видового складу флори середньої та нижньої течії р. Стир.

Матеріали і методи досліджень. Об'єктом дослідження є окремі ділянки р. Стир у межах Рівненської області. Аналіз та оцінка водної та прибережно-

водної рослинності р. Стир проводились у геоботанічному і флористичному напрямках. Класифікація *Magnoliophyta* наведена за системою APG IV (APG, 2016), групи адвентивних рослин – за J. Kornaš (Kornaš, 1968), назви видів представлені з використанням бази The Plant List (The Plant List, 2013). У процесі дослідження використовувалися польові й аналітичні методи.

Результати. Середня течія досліджуваної річки утворена крейдяними породами, поверхня хвиляста, можуть спостерігатись відслонення вапняків. Нижня течія являє собою рівнину з великою заболоченістю, де на піщаних ґрунтах сформований значний лісовий покрив, що помітно впливає на умови формування гідроекосистеми Стиру (Gerenchuk, 1975).

Окремі частини басейну відрізняються одна від одної особливостями водовмісних порід, умовами живлення,

взаємозв'язком і розвантаженням підземних вод усієї товщі осадових відкладів (Nacional'nyj atlas Ukrajinu, 2007).

За результатами проведених польових досліджень на обстежених ділянках р. Стир у межах Рівненської області виявлено 125 видів вищих судинних рослин із 75 родів та 38 родин. У видовому складі гідрофільної флори найбільш поширені 7 родин, а саме: *Poaceae* (11 видів), *Potamogetonaceae* (10 видів), *Asteraceae* (9 видів), *Cyperaceae* (8 видів), *Polygonaceae* (8 видів), *Ranunculaceae* (6 видів), *Salicaceae* (6 видів).

Разом зазначені види цих родини становлять 46,4% від загального числа видів. 3 родів за числом видів переважають *Potamogeton* (9 видів), *Salix* (6 видів), *Juncus*, *Rumex* і *Carex* (по 5 видів). Уперше нами проведені дослідження водної та прибережно-водної рослинності середньої та нижньої течії р. Стир. У складі виділених таксонів визначено 125 видів (табл. 1).

Таблиця 1

Видовий склад флори р. Стир

Таксони	Середня течія			Нижня течія					
	с. Вербень	с. Торговиця	с. Нове	с. Заболоття	ПЗК РАЕС	с. Бабка	с. Сопачів	с. Іванчиці	стариця
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<i>EQUISETOPHYTA</i> <i>EQUISETACEAE</i> MICHX. EX DC. <i>Equisetum arvense</i> L.		+	+		+	+			
<i>Equisetum palustre</i> L.					+				
<i>ANGIOSPERMAE</i> , або <i>MAGNOLIOPHYTA</i> Angiosperms <i>NYMPHAEACEAE</i> SALISB.				+	+	+	+		+
<i>Nuphar lutea</i> (L.) Sm.	+	+	+					+	
<i>Nymphaea candida</i> J. Presl & C. Presl								+	
Monocots <i>ACORACEAE</i> MARTINOV <i>Acorus calamus</i> L.	+				+	+			+
<i>ALISMATACEAE</i> VENT <i>Alisma plantago-aquatica</i> L.	+		+		+		+		+
<i>Sagittaria sagittifolia</i> L.	+	+	+	+	+	+		+	+
<i>ARACEAE</i> JUSS <i>Lemna minor</i> L.	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Staurogeton trisulcus</i> (L.) Schur	+			+	+	+	+	+	+
<i>Spirodela polyrrhiza</i> (L.) Schleid.	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>BUTOMACEAE</i> MIRB <i>Butomus umbellatus</i> L.	+	+	+		+	+	+	+	+
<i>HYDROCHARITACEAE</i> JUSS									
<i>Elodea canadensis</i> Michx.	+			+		+	+	+	+
<i>Hydrocharis morsus-ranae</i> L.	+	+	+			+	+	+	
<i>Stratiotes aloides</i> L.						+			+
<i>POTAMOGETONACEAE</i> BERCHT. ET J. PRESL <i>Potamogeton compressus</i> L.	+								
<i>Potamogeton crispus</i> L.	+	+		+		+	+	+	+
<i>Potamogeton friesii</i> Rupr.									+
<i>Potamogeton gramineus</i> L.								+	
<i>Potamogeton lucens</i> L.		+	+			+	+	+	+
<i>Potamogeton natans</i> L.								+	
<i>Potamogeton nodosus</i> Poir				+		+	+		

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<i>Potamogeton perfoliatus</i> L.	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Potamogeton x salicifolius</i> Wolfg. ex J.A. Schult, et J.J. Schult.						+	+		+
<i>Stuckenia pectinata</i> (L.) Börner	+	+	+		+	+	+	+	+
IRIDACEAE JUSS									
<i>Iris pseudacorus</i> L.		+				+			+
CYPERACEAE JUSS									
<i>Carex acutiformis</i> Ehrh.	+	+	+	+		+		+	+
<i>Carex elata</i> All.				+	+	+		+	+
<i>Carex riparia</i> Curtis									+
<i>Carex rostrata</i> Stokes	+	+	+	+		+		+	+
<i>Carex vesicaria</i> L.	+	+	+	+		+		+	+
<i>Eleocharis acicularis</i> (L.) Roem. et Schult.		+							+
<i>Eleocharis palustris</i> (L.) Roem. et Schult.	+							+	+
<i>Schoenoplectus lacustris</i> (L.) Palla									+
JUNCACEAE JUSS									
<i>Juncus articulatus</i> L.						+		+	+
<i>Juncus bufonius</i> L.						+			
<i>Juncus compressus</i> Jacq.		+	+					+	+
<i>Juncus conglomeratus</i> L.								+	+
<i>Juncus tenuis</i> Willd.									+
POACEAE BARNHART									
<i>Agrostis gigantea</i> Roth		+							
<i>Agrostis stolonifera</i> L.	+	+	+		+	+	+	+	+
<i>Alopecurus geniculatus</i> L.						+		+	+
<i>Glyceria fluitans</i> (L.) R.Br.		+	+		+	+	+	+	+
<i>Glyceria maxima</i> (C. Hartm.) Holmb.	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Glyceria notata</i> Chevall.	+								
<i>Leersia oryzoides</i> (L.) Sw.						+			
<i>Phalaroides arundinacea</i> (L.) Rauschert	+	+	+	+	+	+		+	+
<i>Phragmites australis</i> (Cav.) Trin. ex Steud.	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Poa palustris</i> L.	+	+	+		+	+	+	+	+
<i>Zizania latifolia</i> (Griseb.) Stapf		+							
TYPHACEAE JUSS									
<i>Sparganium emersum</i> Rehmman		+	+			+		+	+
<i>Sparganium erectum</i> L.	+	+	+		+	+	+	+	+
<i>Typha angustifolia</i> L.	+							+	
<i>Typha latifolia</i> L.	+				+	+		+	+
CERATOPHYLLACEAE GRAY									
<i>Ceratophyllum demersum</i> L.	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Eudicots									
RANUNCULACEAE JUSS. EX BERCHT. ET J. PRESL									
<i>Batrachium circinatum</i> (Sibth.) Spach	+								
<i>Batrachium rionii</i> (Lagger) Nyman									+
<i>Ranunculus flammula</i> L.									+
<i>Ranunculus repens</i> L.	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Thalictrum flavum</i> L.						+			+
<i>Thalictrum lucidum</i> L.					+	+			
Superrosids HALORAGACEAE R. BR.									
<i>Myriophyllum verticillatum</i> L.		+							
Rosids									
RHAMNACEAE JUSS									
<i>Frangula alnus</i> Mill.					+				
ROSACEAE JUSS									
<i>Potentilla anserina</i> L.	+	+	+		+	+	+	+	+
<i>Potentilla reptans</i> L.		+	+			+		+	+
URTICACEAE JUSS									
<i>Urtica dioica</i> L.	+	+	+						

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<i>Urtica galeopsifolia</i> Wierzb. ex Opiz					+				+
BETULACEAE GRAY <i>Alnus glutinosa</i> (L.) Gaertn.		+	+		+				
CUCURBITACEAE JUSS <i>Echinocystis lobata</i> (Michx.) Torr. et A. Gray				+	+				
SALICACEAE MIRB <i>Salix alba</i> L.					+	+			+
<i>Salix cinerea</i> L.		+	+						
<i>Salix fragilis</i> L.		+	+	+	+	+		+	+
<i>Salix purpurea</i> L.		+			+	+		+	+
<i>Salix triandra</i> L.		+	+			+			+
<i>Salix viminalis</i> L.		+			+	+			
LYTHRACEAE J. ST.-HIL <i>Lythrum salicaria</i> L.	+	+	+	+	+	+	+	+	+
ONAGRACEAE JUSS <i>Epilobium hirsutum</i> L.	+								
<i>Epilobium parviflorum</i> Schreb.	+								
<i>Epilobium tetragonum</i> L.						+			
BRASSICACEAE BURNETT <i>Cardamine pratensis</i> L.	+								
<i>Rorippa amphibia</i> (L.) Besser	+	+	+	+	+	+	+		+
<i>Rorippa palustris</i> (L.) Besser		+	+					+	+
<i>Rorippa sylvestris</i> (L.) Besser					+				
Superasterids CARYOPHYLLACEAE JUSS <i>Myosoton aquaticum</i> (L.) Moench					+	+	+		
<i>Stellaria fennica</i> (Murb.) Perfil.	+								+
POLYGONACEAE JUSS <i>Persicaria amphibia</i> (L.) Delarbre	+	+	+			+	+	+	+
<i>Persicaria hydropiper</i> (L.) Delarbre	+	+							
<i>Persicaria maculosa</i> S.F. Gray							+		
<i>Rumex confertus</i> Willd.		+			+	+			
<i>Rumex conglomeratus</i> Murray	+								
<i>Rumex crispus</i> L.	+	+				+	+	+	+
<i>Rumex hydrolapathum</i> Huds.	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Rumex maritimus</i> L.						+		+	+
Asterids PRIMULACEAE BATSCH EX BORKH <i>Lysimachia nummularia</i> L.	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Lysimachia vulgaris</i> L.	+	+	+					+	+
<i>Naumburgia thyrsoflora</i> (L.) Rchb.	+								
RUBIACEAE JUSS <i>Galium aparine</i> L.	+	+	+						
<i>Galium palustre</i> L.	+	+	+		+	+		+	+
BORAGINACEAE JUSS <i>Myosotis palustris</i> (L.) L.	+	+	+		+	+	+	+	+
<i>Symphytum officinale</i> L.						+		+	+
CONVOLVULACEAE JUSS <i>Calystegia sepium</i> (L.) R. Br.	+	+	+	+	+	+		+	+
SOLANACEAE JUSS <i>Solanum dulcamara</i> L.					+				+
LAMIACEAE MARTINOV <i>Lycopus europaeus</i> L.	+			+	+	+	+	+	+
<i>Mentha aquatica</i> L.	+	+	+	+	+	+	+	+	+

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<i>Mentha x verticillata</i> L. (<i>M. aquatica</i> L. x <i>M. arvensis</i> L.)						+			
<i>Scutellaria galericulata</i> L.					+	+		+	+
<i>Stachys palustris</i> L.	+	+	+	+	+	+	+	+	+
PLANTAGINACEAE JUSS									
<i>Hippuris vulgaris</i> L.									+
<i>Plantago major</i> L.	+	+	+			+	+	+	+
<i>Veronica anagalloides</i> Guss.		+				+		+	+
<i>Veronica scutellata</i> L.					+	+		+	+
SCROPHULARIACEAE JUSS <i>Scrophularia umbrosa</i> Dumort.		+	+						
ASTERACEAE BERCHT. ET J. PRESL									
<i>Bidens cernua</i> L.		+						+	+
<i>Bidens frondosa</i> L.					+	+	+	+	+
<i>Bidens tripartita</i> L.		+	+			+		+	+
<i>Eupatorium cannabinum</i> L.									+
<i>Gnaphalium uliginosum</i> L.							+		
<i>Inula britannica</i> L.		+	+			+	+	+	+
<i>Ptar mica salicifolia</i> (Bess.) Myrz.					+			+	+
<i>Pulicaria vulgaris</i> Gaertn.									+
<i>Xanthium albinum</i> (Widder) Scholz et Sukopp						+		+	
CAPRIFOLIACEAE JUSS <i>Valeriana officinalis</i> L.					+				
APIACEAE LINDL <i>Berula erecta</i> (Huds.) Coville	+	+							
<i>Cicuta virosa</i> L.	+								
<i>Oenanthe aquatica</i> (L.) Poir.	+	+	+		+	+	+	+	+
<i>Sium latifolium</i> L.	+	+	+	+	+	+	+	+	+

*ПЗКРАЕС – промзливова каналізація Рівненської атомної електростанції.

Обговорення. Нині відомо, що екологічну ємність водного середовища р. Стир забезпечує фітомаса вищої водної рослинності. Розташування досліджуваної річки в різних частинах Рівненщини сприяє тому, що в рослинному покриві екосистеми Стиру простежується тенденція до посилення трансформаційних процесів, спричинених високим рівнем еродованості, розораності, сільгоспосвоєності території басейну (Korotun & Korotun, 1996).

Вивченням видового складу водної та прибережно-водної рослинності р. Стир установлено, що в межах досліджуваних 9 контрольних створів річки визначені 34 види (27,2%), які характерні для того чи іншого конкретного створу. Серед них у межах с. Вербень (9 видів): *Potamogeton compressus*, *Glyceria notata*, *Batrachium circinatum*, *Epilobium hirsutum*, *E. parviflorum*, *Cardamine pratensis*, *Rumex conglomeratus*, *Naumburgia thyrsoflora*, *Cicuta virosa*; с. Торговиця (3 види): *Agrostis gigantea*, *Zizania latifolia*, *Myriophyllum verticillatum*; нижче скиду стічних вод промзливої каналізації Рівненської атомної електростанції (4 види): *Frangula alnus*, *Eqisetum palustre*, *Rorippa sylvestris*, *Valeriana officinalis*; с. Бабка (4 види): *Juncus bufonius*, *Epilobium tetragonum*, *Leersia oryzoides*, *Mentha x verticillata*; с. Сопачів (2 види): *Persicaria maculosa*, *Gnaphalium uliginosum*; с. Іванчиці (2 види): *Potamogeton gramineus*, *P. natans*; стариця р. Стир (10 видів): *Nymphaea candida*, *Potamogeton friesii*,

Carex riparia, *Schoenoplectus lacustris*, *Juncus tenuis*, *Batrachium rionii*, *Ranunculus flammula*, *Hippuris vulgaris*, *Eupatorium cannabinum*, *Pulicaria vulgaris*.

Варто зауважити, що тільки 15 видів (12%) гідрофільної флори досліджуваної річки, а саме: *Nuphar lutea*, *Alisma plantago-aquatica*, *Lemna minor*, *Spirodela polyrrhiza*, *Potamogeton perfoliatus*, *Glyceria maxima*, *Phragmites australis*, *Ceratophyllum demersum*, *Ranunculus repens*, *Lythrum salicaria*, *Rumex hydrolapathum*, *Lysimachia nummularia*, *Mentha aquatica*, *Stachys palustris*, *Sium latifolium*, характерні для всіх 9 контрольних створів.

Як показує аналіз отриманих даних, у межах середньої течії видовий склад водної та прибережно-водної рослинності є бідним, бо тут, на наш погляд, заплава річки постійно використовується для випасання худоби або для сінокошіння. Прилегла територія переважно являє собою сільськогосподарські угіддя, часто ріллю. Лісистість прилеглої території становить менше 4% (Korotun & Korotun, 1996).

Більш різноманітний видовий склад гідрофільної флори характерний для нижньої течії р. Стир, яка розташована в межах Волинського Полісся. Тут річка утворює багато стариць і заводей, має широку заплаву, часто заболочену, прилегла територія порівняно мало залучена до господарського використання (Gerenchuk, 1975).

Аналіз ареалогічної структури видового складу рослинності досліджуваної річки свідчить, що тут

переважають види із широким ареалом поширення, зокрема голарктичні, євразійські, євросибірські, космополіти та гемікосмополіти.

Аналіз частоти трапляння видів гідрофільної флори досліджуваних ділянок р. Стир показав, що лише невелике число видів трапляється на 80% обстежених ділянках річки, а саме: *Lemna minor*, *Spirodela polyrrhiza*, *Staurogeton trisulcus*, *Hydrocharis morsus-ranae*, *Ceratophyllum demersum*, *Alisma plantago-aquatica*, *Sparganium erectum*, *Carex rostrata*, *C. vesicaria*, *C. acutiformis*, *Mentha aquatica*. Частота трапляння їх варіювала в межах 35–75%. Для переважного числа раритетних видів цей показник не перевищував 10–15% (наприклад, *Hippuris vulgaris*, *Potamogeton gramineus*, *P. friesii*, *Batrachium rionii*).

Видовий склад водної та прибережно-водної рослинності на різних ділянках р. Стир відрізняється, проте є окремі види, які характерні тільки для певної досліджуваної території. Так, видовий склад гідрофільної флори ділянки річки біля с. Вербень налічує 65 видів (52,0% від усього визначеного видового складу). Лише тут були виявлені *Batrachium circinatum*, *Glyceria notata*, *Potamogeton compressus*, *Cicuta virosa*, а також представник водних мохів – *Ricciocarpus natans* Corda (родина *Ricciaceae*).

На ділянці річки біля с. Торговиця знайдено 58 видів (46,4% від усього визначеного видового складу), серед яких *Agrostis gigantea*, *Zizania latifolia*, *Myriophyllum verticillatum*, *Scrophularia umbrosa*, що зареєстровані лише в цьому локалітеті. Дещо біднішим видовий склад гідрофільної флори є на ділянці біля с. Нове. Тут виявлений тільки 51 вид.

У межах нижньої течії р. Стир (с. Заболоття (Полонне), с. Бабка, с. Сопачів) водна та прибережно-водна рослинність представлена 87 видами (69,6% від усього визначеного видового складу), серед них *Leersia oryzoides*, *Thalictrum lucidum*, *Echinocystis lobata*, *Epilobium tetragonum*, які виявлені лише на цій досліджуваній території. Варто зауважити, що найвищий показник видового складу гідрофільної флори визначений біля с. Бабка, де налічується 75 видів, а найбіднішою на видове розмаїття є територія біля с. Заболоття (Полонне) (30 видів). Подібною є гідрофільна рослинність на ділянці річки біля скиду промзливових стічних вод Рівненської атомної електростанції.

Найбільше число видів (89, або 71,2% від усього визначеного видового складу) виявлено на ділянці річки між смт Зарічне та с. Іванчиці. Особливо багатою різноманітністю видового складу виділяється ділянка біля с. Іванчиці, де річка утворює старицю. Лише тут були

виявлені такі види: *Nymphaea candida*, *Potamogeton friesii*, *Carex riparia*, *Eleocharis acicularis*, *Schoenoplectus lacustris*, *Juncus tenuis*, *Batrachium rionii*, *Ranunculus flammula*, *Hippuris vulgaris*, *Eupatorium cannabinum*, *Pulicaria vulgaris*. Саме тут був знайдений *Batrachium rionii* (Водяний жовтець Піоні), який є сильновразливим видом, входить до Червоного списку водних макрофітів України та вперше знайдений на Рівненщині (Tolochyk & Volodymyrets, 2018).

Загалом за результатами проведених польових досліджень на обстежених ділянках р. Стир виявлено майже 65% видів від усієї гідрофільної флори Рівненської області. У цьому переліку 8 видів (6,4% від усього визначеного видового складу) є адвентивними рослинами, а саме: *Acorus calamus*, *Bidens frondosa*, *Echinocystis lobata*, *Elodea canadensis*, *Juncus tenuis*, *Salix fragilis*, *Xanthium albinum*, *Zizania latifolia*, решта представляють аборигенну флору Рівненської області (Grohova'ska & Volodymyrets, 2015).

Серед визначеного видового складу водної та прибережно-водної рослинності р. Стир виявлені раритетні види, які підлягають регіональній охороні на території Рівненської області: *Pulicaria vulgaris*, *Hippuris vulgaris*, *Batrachium rionii*, *Nymphaea candida* (стариця р. Стир), *Batrachium circinatum* (с. Вербень), *Potamogeton gramineus* (с. Іванчиці).

Зроблений порівняльний аналіз різних ділянок річки дає можливість оцінити водну та прибережно-водну рослинність р. Стир, виокремити та визначити її унікальність. Встановлено, що формування видового складу гідрофільної флори деякою мірою визначаються екологічним станом заплави річки та прилеглою до неї територією. Навіть на відносно невеликих ділянках річки спостерігається помітна гетерогенність флористичного складу. Більшість виявлених видів у своєму життєвому циклі переважно пов'язані із прибережною та болотною екофазами, лише невелика кількість видів майже цілком приурочені до водного середовища.

Висновки. Дані дослідження дали можливість охарактеризувати флористичне багатство гідроекосистеми р. Стир, порівняти окремі ділянки досліджувані території, виокремити природні ділянки, оцінити ступінь трансформованості рослинного покриву. У складі виділених таксонів флори визначено 125 видів для середньої та нижньої течії р. Стир, серед яких 6 раритетних, 8 адвентивних видів та 7 найбільш поширених родин. Вивчення даних ділянок р. Стир дозволить надалі продовжити її комплексні флористичні дослідження та розробити оптимальні шляхи охорони рідкісних і типових рослин та їх угруповань.

Бібліографічні посилання:

1. An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG IV (2016). *Botanical Journal of the Linnean Society*, 181, 1, 1–20. doi: 10.1111/boj.12385.
2. Baranovsky, B.O., Ivan'ko, I.A., & Zagubizhenko, N.I. (2006). Influence of the illuminance conditions of the Knyaginya Lake flat zone on the composition of macrophyte biogeocoenoses. *Biosystems Diversity*, 14 (2), 12–16. doi: 10.15421/010645.
3. Belyakov, E.A., Shcherbakov, A.V., Lapirov, A.G., & Shilov, M.P. (2017). Morphology and ecological characteristics of *Sparganium × longifolium* (Typhaceae) in the Central part of European Russia. *Biosystems Diversity*, 25(2), 154–161. doi: 10.15421/011723.
4. Brannen, L., & Bielak, A. (ed.) (2004). Threats to water availability in Canada. National Water Research Institute, Environment Canada.

5. Clayton, J., & Edwards, T. (2006). Aquatic plants as environmental indicators of ecological condition in New Zealand lakes. *Hydrobiologia*, 570, 147–151. doi: 10.1007/s10750-006-0174-4.
6. Chambers, P.A., Lacoul, P., Murphy, K.J., & Thomaz, S.M. (2008). Global diversity of aquatic macrophytes in freshwater. *Hydrobiologia*, 595 (1), 9–26. doi: 10.1007/s10750-007-9154-6.
7. Chao, W., Sha-Sha, Z., Pei-Fang, W., & Jin, Q. (2014). Effects of vegetations on the removal of contaminants in aquatic environments: A review. *J. Hydrodynam.* 26 (4), 497–511. doi: 10.1016/s1001-6058(14)60057-3.
8. Costanza, R., Fisher, B., Mulder, K., Liu, S., & Christopher, T. (2007). Biodiversity and ecosystem services: A multi-scale empirical study of the relationship between species richness and net primary production. *Ecol. Econ.* 61, 478–491. doi: 10.1016/j.ecolecon.2006.03.021.
9. Cronin, G., Lewis Jr., W. M., & Schiehser, M.A. (2006). Influence of freshwater macrophytes on the littoral ecosystem structure and function of a young Colorado reservoir. *Aquatic Botany*, 85(1), 37–43. doi: 10.1016/j.aquabot.2006.01.011.
10. Deng, X., Xu, Y., Han, L., Yu, Z., & Yang, M. (2015). Assessment of river health based on an improved entropy-based fuzzy matter-element model in the Taihu Plain China. *Ecol. Indic.* 57, 85–95. doi: 10.1016/j.ecolind.2015.04.020.
11. Dubyna, D.V. (1996). Klasyfikacija vyshhoji vodnoji roslynnosti Ukrainy: stan ta perspektyvy [Classification of higher aquatic vegetation of Ukraine: state and prospects]. *Ukr. fitosoc. zb. Ser. A. Kyiv*, 3, 6–14 (in Ukrainian).
12. Dubyna, D.V. (2006). Vyshcha vodna roslynnist' [Higher aquatic vegetation]. Kyiv (in Ukrainian).
13. Dubyna, D.V., Stoyko, S.M., Sytnik, S.M., Tasenkevich, L.A., Shelyag-Sosonko, Y.V., Geyny, S., Groudova, Z., Gusak, S., Otygelova, G., & Erzhakova, O. (1993). Makrofity – indykatory izmeneniy prirodnoy sredy [Macrophytes indicators of changes of natural environment]. *Naukova Dumka, Kyiv* (in Ukrainian).
14. Egerton, C.J., Kopaska, J.A., & Downing, J.A. (2004). A century of change in macrophyte abundance and composition in response to agricultural eutrophication. *Hydrobiologia*, 524, 145–156. doi: 10.1023/B:HYDR.0000036129.40386.
15. EU Water Framework Directive 2000/60/EC Definitions of Main Terms, (2006). Kyiv (in Ukrainian).
16. Gerenchuk, K.I. (1975). Pryroda Rovenskoji oblasti [Nature of the Rivne region]. *Vyshha shkola, Lviv* (in Ukrainian).
17. Gilvear, D.J., Spray, C.J., & Casas-Mulet, R. (2013). River rehabilitation for the delivery of multiple ecosystem services at the river network scale. *J. Environ. Manage.* 126, 30–43. doi: 10.1016/j.jenvman.2013.03.026.
18. Gryb, J.V., Sondak, V.V., & Volodymyrets, V.O. (2003). Zminy ugrupovan' indykatorynih vydiv vyshhyh vodnyh roslin na Hrinnytskomu vodoshovyshhi pislja povtornogo zatoplennja [Changes of groups of indicator species of higher aquatic plants on the Hrinnytsia reservoir after re-flooding]. *Visnyk UDUVGP*, 2 (21), 3–10 (in Ukrainian).
19. Grohovskaja, Ju.R., & Volodimirc, V.A. (2015). Osobennosti vidovogo sostava gidrofil'noj flory Rovenskoji oblasti Ukrainy [Features of the species composition of hydrophilic flora of the Rivne region of Ukraine]. *Fitoraznoobrazie Vostochnoj Evropy. Tol'jatti*, 9 (2), 32–44 (in Ukrainian).
20. Grohovs'ka, Ju.R., Volodymyrets, V.O., & Kononcov S.V. (2013). Rarytetni vydy ta ugrupovannja vyshhyh vodnyh i pryberezhno-vodnyh roslin Rivnens'koji oblasti [Rare species and groups of higher water and coastal aquatic plants of Rivne region]. *Visnyk NUVGP*, 2 (62), 182–197 (in Ukrainian).
21. Kopylov, A.I., Kosolapov, D.B., Lazareva, V.I., Mineeva, N.M., & Pryanichnikova, E.G. (2018). Structure, biomass and production of the biotic component of the ecosystem of an growing eutrophic reservoir. *Biosystems Diversity*, 26 (2), 117–122. doi: 10.15421/011818.
22. Korotun, I.M., & Korotun, L.K. (1996). Geografija Rivnens'koji oblasti [Geography of Rivne region]. Rivne (in Ukrainian).
23. Kornaš A. (1968) Geograficzno–historyczna klasyfikacija roslin synantropijnych. *Mater. Zakl. Fitosocjol. Stos. U.M.* 125, 33–41.
24. Mäemets, H., Palmik, K., Haldna, M., Sudnitsyna, D., & Melnik, M. (2010). Eutrophication and macrophyte species richness in the large shallow North-European Lake Peipsi. *Aquatic Botany*, 92 (4), 273–280. doi: 10.1016/j.aquabot.2010.01.008.
25. Musienko, M.M., & Ol'hovych O.P. (2004). Metody doslidzhennja vyshhyh vodnyh roslin: navch. posibn [Methods of research of higher aquatic plants: study manual]. Vydavnyctvo poligrafichnyj centr "Kyjivs'kyj universitet", Kyiv (in Ukrainian).
26. Nacional'nyj atlas Ukrainy [National Atlas of Ukraine] (2007). DNVP "Kartografija", Kyiv (in Ukrainian).
27. Pasichnaja, E.A., Gorbatjuk, L.O., Arsan, O.M., Savluchinskaja, M.A., Kuklja, I.G., Platonov, N.A., & Burmistrenko, S.P. (2015). Vlijanie soedinenij fosfora na vodnye rastenija (obzor) [Effect of phosphorus on the aquatic plants (review)]. *Gidrobiologicheskij Zhurnal* 51 (1), 93–108 (in Russian).
28. Papchenkov, V.G. (2003). Produkcija makrofitov vod i metody ee izuchenija [Production of water macrophytes and methods of its study]. *Gidrobotanika: metodologija, metody: mat. shkoly po gidrobotanike. OAO "Rybinskij Dom pečati"*, 137–145 (in Russian).
29. Papchenkov, V.G. (2001). Rastitelnyy pokrov vodoyomov Srednego Povolzhya [Vegetation cover of water bodies and water courses of the Middle Volga region]. CMP MUBiNT, Yaroslavl (in Russian).
30. Prokopchuk, O., & Hrubinko, V. (2016). Experiments on accumulation of phosphorus in the plants *Myosotis palustris*, *Glyceria maxima* and *Nasturtium officinale*. *Biosystems Diversity*, 24(2), 437–443. doi: 10.15421/011659.
31. Pyrina, I.L., & Lyashenko, G.F. (2005). Mnogoletnyaya dinamika produktivnosti fitoplanktona i vysshey vodnoy rastitel'nosti i ikh rol' v produktivnosti organicheskogo veshchestva v zarastayushchem Ivan'kovskom vodokhranilishche [Long-term dynamics of the productivity of phytoplankton and higher aquatic vegetation and their role in the productivity of organic matter in the overgrown Ivankovo reservoir]. *Biologiya Vnutrennikh Vod*, 3, 48–56 (in Russian).
32. Sadchikov, A.P., & Kudrjashov, M.A. (2004). Jekologija priberezhno-vodnoj rastitel'nosti [Ecology of coastal-aquatic vegetation]. NIA-Priroda, REFIA, Moskva (in Russian).
33. The Plant List: a working list of all plant species. URL: <http://www.theplantlist.org/>.

34. Trebilco, R., Baum, J., Salomon, A., & Dulvy, N. (2013). Ecosystem ecology: Size-based constraints on the pyramids of life. *Trends Ecol. Evol.* 28, 423–431. DOI: 10.1016/j.tree.2013.03.008.
35. Toločyk, I.L., & Volodymyrets, V.O. (2018). Vyshhi vodni ta pryberezhno-vodni roslyny okremykh diljanok r. Styr u mezhah Rivnens'koi oblasti [Higher water and coastal aquatic plants of separate plots of the Styr river within Rivnenska oblast]. *Naukovi zapysky Ternopil's'kogo nacional'nogo pedagogichnogo un-tu im. V. Gnatjuka. Ser.: Biol.* 1(72), 30–35 (in Ukrainian).
36. Fedorchyk, I.V. (2003). Fitoindykacijna rol' makrofitiv u kompleksnomu monitoryngu richkovykh system [Phytoindication role of macrophytes in complex monitoring of river systems]. *Rol' pryrodno-zapovidnyh terytorij u pidtrymci bioriznomanittja*, 159–160 (in Ukrainian).
37. Fedorchyk, I.V. (2005). Hidrobotanichni doslidzhennja poverhnevnykh vod – osnova kompleksnogo monitoryngu vodnykh ecosystem [Hydrobotanical research of surface waters – the basis of complex monitoring of aquatic ecosystems]. *Molod' i postup biologii*, 99–100 (in Ukrainian).
38. Chorna G.A. (2001). Roslyny nashykh vodojm (atlas-dovidnyk) [Rosliny our waters]. *Fitosociocentr*, Kyiv (in Ukrainian).
39. Zub L.N. (2000). Jekologo-floristicheskaja klassifikacija soobshhestv makrofitov, slozhennykh razlichnymi jekobiomorfami [Ecological-floristic classification of macrophyte communities composed of different ecobiomorphs]. *Gidrobotanika: metodologija, metody: mat. shkoly po gidrobotanike. OAO "Rybinskij Dom pečati"*, 141–142 (in Russian).

Toločyk I. L., PhD (Biological Sciences), Associate Professor, Rivne State University of Humanities, Rivne, Ukraine
The current state of the flora of the Styr river

The geobotanical studies of aquatic and coastal aquatic vegetation on separate plots of the Styr river have been carried out for the first time. It was established that the species composition of hydrophilic flora is different in different parts of the river, but there are separate species that are characteristic only for a certain study area. According to the results of field studies, among the allocated taxa, 125 species of higher vascular plants from 75 genera and 38 families have been described. In the species composition, the most common 7 families are Poaceae (11 species), Potamogetonaceae (10 species), Asteraceae (9 species), Cyperaceae (8 species), Polygonaceae (8 species), Ranunculaceae (6 species), Salicaceae (6 species). The indicated species of these families is 46,4%. Among the identified genera, the dominant are Potamogeton (9 species), Salix (6 species), Juncus, Rumex and Carex (5 species). 6,4% (8 species) – adventitious plants: Acorus calamus, Bidens frondosa, Echinocystis lobata, Elodea canadensis, Juncus tenuis, Salix fragilis, Xanthium albinum, Zizania latifolia, the rest represent aboriginal flora of Rivnenska oblast. It is established that in the ecosystem of the river a tendency towards the strengthening of transformation processes is observed. The hydrophilic flora was found to be poorer in the four sections of the lower stream. However, a particularly rich variety of species composition of the lower flow is allocated area between urban areas of Zarichne town settlement and Ivanchytsi village. As a result of cenopopulation studies of individual river sections, data were obtained that determine the state of populations of 6 rare species: Pulicaria vulgaris, Hippuris vulgaris, Batrachium rionii, Nymphaea candida (old man); Batrachium circinatum (Verben village); Potamogeton gramineus (Ivanchytsi village). For the first time in Rivnenska oblast there was found a highly destructive species of Batrachium rionii, which is included in the Red List of aquatic macrophytes of Ukraine. The most diverse area is defined, where the river forms the dead arm. A comparative analysis of various sections of the river gives an opportunity to evaluate the hydrophilic flora, to develop optimal ways of protecting rare and typical plants and their groups.

Key words: hydrophilic flora, species composition, aquatic, coastal aquatic vegetation.

Дата надходження до редакції: 10.12.2021 р.

RAPID ELECTROCHEMICAL DETECTION OF CARBENDAZIM IN VEGETABLES BASED ON CARBOXYL FUNCTIONALIZED MULTI-WALLED CARBON NANOTUBES

Li Fang

PhD student

Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine

Henan Institute of Science and Technology, Xinxiang, China

ORCID: 0000-0002-6322-4162

lifangday@163.com

Wang Xinfa

PhD student

Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine,

Henan Institute of Science and Technology, Henan, China

ORCID: 0000-0002-6293-5624

616858308@qq.com

Dubovyk Volodymyr

PhD (Agricultural Sciences), Associate Professor

Sumy National Agronomy University, Sumy, Ukraine

ORCID: 0000-0002-2880-7047

dvi_docent@ukr.net

Liu Runqiang

Doctor (Agricultural Sciences), Associate Professor

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

ORCID: 0000-0002-0766-3582

liurunqiang1983@126.com

At present, the commonly used methods for the detection of benzimidazole fungicides include high performance liquid chromatography (HPLC), liquid chromatography-mass spectrometry (LC-MS), fluorescence spectrometry and so on. These methods have high sensitivity and accurate results, but they have disadvantages such as complicated pretreatment, long time consuming, expensive equipment and professional operators. Electrochemical sensor detection method has the advantages of high sensitivity, simple operation, low cost and easy on-site inspection, etc., which has attracted extensive attention in the field of pesticide residue detection and analysis.

In order to realize the rapid detection of carbendazim content in vegetables, an electrochemical rapid detection method was established by using Carboxyl Functionalized Multi-Walled Carbon Nanotubes (MWCNTs-COOH) modified glassy carbon electrode. In this study, MWCNTs-COOH with special functional groups and large specific surface area were used to modify electrodes to improve the adsorption and enrichment of CBZ on the electrode and amplify the electrochemical signal, aiming to establish a highly sensitive electrochemical rapid detection technology for CBZ.

The results showed that: the modified electrode functionalized with MWCNTs-COOH could significantly improve the electron transfer rate on the electrode surface, which made the detection sensitivity of carbendazim higher. The linear range of detection was 0,3 μM ~20 μM , and the detection limit was determined as low as 0,06 μM .

In this study, MWCNT-COOH with better conductivity, adsorption and stability was used to modify electrode, and constructed the MWCNT-COOH/GCE, which improved the adsorption and accumulation of CBZ, effectively promoted the electron transfer on the surface of the electrode, accelerated the response speed of the electrode and improved the current response, to realize the rapid and sensitive detection of trace CBZ in vegetables. This method had high sensitivity, good anti-interference, and detection stability. It was of great significance to detect carbendazim in vegetables.

Key words: Carbendazim, pesticide residuals, electrochemical sensor, MWCNTs-COOH.

DOI <https://doi.org/10.32845/agrobio.2021.4.11>

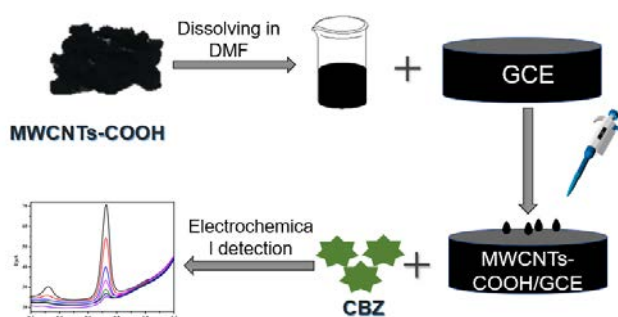
Introduction. Carbendazim (CBZ), as a broad-spectrum fungicide, is widely used for preventing and controlling vegetable diseases and pests (Addrah, 2020; Liu et al., 2021; Ding et al., 2019; Singh et al., 2016). CBZ residues in agricultural products and the environment poses a serious threat to human health due to the stable structure and slow degradation rate of benzimidazole ring (Tao et al., 202).

Therefore, accurate, rapid and convenient CBZ detection and analysis methods in agricultural products are very important to protect human health and environmental safety. At present, the commonly used methods for the detection of benzimidazole fungicides include high performance liquid chromatography (HPLC) (Huang et al., 2020; Li et al., 2020), liquid chromatography-mass spectrometry (LC-MS) (Chu et

al., 2020; Li, et al., 2020), fluorescence spectrometry (Yang et al., 2018; Yu et al., 2017; Yuan, et al., 2020) and so on (Su et al., 2020; Wang et al., 2020; Zhai al., 2021). These methods have high sensitivity and accurate results, but they have disadvantages such as complicated pretreatment, long time consuming, expensive equipment and professional operators. Electrochemical sensor detection method has the advantages of high sensitivity, simple operation, low cost and easy on-site inspection, etc., which has attracted extensive attention in the field of pesticide residue detection and analysis (Ghorbani et al.; Tu et al., 2020 ; Kumar et al., 2015; Zhao et al., 2015; Al-Hamry et al., 2019; Migliorini et al., 2020; Noori et al., 2021; Sakdarat et al., 2019).

Chen (Chen et al., 2021) successfully developed a high-performance nitrogen-doped holey graphene (N-HG) electrochemical sensor for determination of methyl parathion based on a hierarchical macro and nanoporous 3-D architecture. The influence of various N-configurations on electron transfer kinetics and the sensing performance of the N-HG modified electrode was investigated systematically through combined practical and theoretical studies. It was found that N-HG with a high pyrrolic-N content exhibited the largest electron transfer rate and the best sensing performance (ultralow detection limits: 3,5 pg ml⁻¹; wide linear range: 1 ng ml⁻¹–150 µg ml⁻¹). Renganathan (Renganathan et al., 2020) developed a simple strategy for construction of palladium nanoparticles (Pd NPs) adorned on the boron nitride (BN) heterojunction (HJ) for electrochemical detection of paraoxon ethyl (PXL). It is found that the Pd NPs/BN HJ electrocatalyst exhibited an outstanding performance for PXL detection due to the synergetic effect, large surface area, high electrical conductivity, and numerous active sites. The fabricated Pd NPs/BN HJ modified electrode can detect trace level of PXL from 0,01–210 µM with low detection limit of 0,003 µM and sensitivity of 2,23 µA µM⁻¹ cm⁻².

In this study, MWCNTs-COOH with special functional groups and large specific surface area were used to modify electrodes to improve the adsorption and enrichment of CBZ on the electrode and amplify the electrochemical signal, aiming to establish a highly sensitive electrochemical rapid detection technology for CBZ (Karimi-Takallo et al., 2021; Liu et al., 2021; Zeng et al., 2021; Zou et al., 2016). The construction process of the electrochemical sensor is shown in the Scheme 1.



Scheme 1. The fabrication process of the MWCNTs-COOH/GCE sensor for the determination of CBZ

Materials and Methods

Reagents and Instruments. MWCNTs-COOH: Shanghai Aladdin Biochemical Technology Co., Ltd., inner diameter 5–12 nm, outer diameter 30–50, length 10–20 µm; The other reagents used were all analytical grade. The experimental water was secondary distilled water.

Chi 660 E electrochemical workstation: Shanghai Chenhua Instrument Co., Ltd., three electrode system. The working motor is MWCNTs-COOH / GCE or glassy carbon electrode, pair electrode is platinum wire electrode, reference electrode is extremely saturated calomel electrode; CNC ultrasonic cleaning instrument: kunshan ultrasonic instrument co., LTD.

Electrode processing. Surface pretreatment of glassy carbon electrode: The glassy carbon electrode with a diameter of 3mm was polished on the polishing cloth with aluminum oxide powder with a particle size of 1,0, 0,3 and 0,05 µm, followed by ultrasonic cleaning in anhydrous ethanol and deionized water for 2 min successively. After infrared lamp drying, 10 mg MWCNTs-COOH was dissolved in 5 ml DMF and dispersed for 30min with the aid of ultrasonic instrument. A black uniform modified suspension is obtained. Then keep it at room temperature. The MWCNTs-COOH /GCE modified electrode was prepared after the suspension of 5 µL MWCNTs-COOH was dropped on the surface of the dry bare electrode with a pipetting gun and baked with an infrared lamp.

Detection method. A three-electrode system consisting of MWCNTs-COOH/GCE, a saturated calomel electrode and a platinum wire electrode was inserted into the solution containing pesticides. The cyclic voltammetry curves (CV) and differential pulse curves (DPV) of CBZ on the modified electrode under different conditions were recorded.

Results.

Electrochemical properties of MWCNT_s-COOH / GCE. A 5 mM K₃[Fe(CN)₆] solution containing 0,3 M KCl was used as an electrochemical probe to test the alternating current impedance (IMP) in the frequency range of 1~105 Hz. The impedance changes before and after electrode modification were shown in the Fig. 1 (A). The electron transfer resistance of the modified electrode (R_{ct}) was estimated using the diameter of the semicircle. When MWCNTs-COOH was modified to GCE, the diameter of the semicircles was greatly reduced, indicating that MWCNTs-COOH/GCE formed a good electron conduction path between the electrode and electrolyte and had good ionic conductivity, which significantly improved the diffusion of K₃[Fe(CN)₆] to the electrode interface.

In addition, in order to further investigate the electrochemical performance of the modified electrode, cyclic voltammetry experiments were carried out in a 5 mM K₃[Fe(CN)₆] solution containing 0,3 mM KCl. As shown in the Fig. 1 (B), all the modified electrodes have a good pair of reversible REDOX peaks. Compared with the bare electrode, the potential difference between the oxidation peak and the reduction peak on MWCNT_s-COOH / GCE is reduced, and the response current is larger than that on the bare electrode, which may be due to the rapid electron transfer ability of the highly conductive MWCNT_s-COOH.

Electrochemical behavior of CBZ. By comparing CV detection results of GCE and MWCNTs-COOH /GCE (Show as

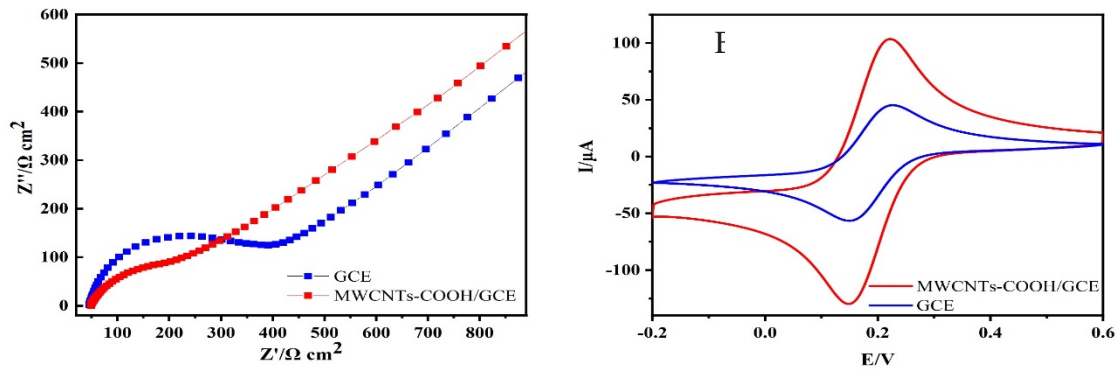


Fig. 1. (A) Electrochemical impedance spectroscopy (EIS) of different electrodes: GCE and MWCNTs-COOH/GCE in 5 mM $K_3[Fe(CN)_6]$ solution containing 0.3 M KCl. (B) CVs of different electrodes: GCE and MWCNTs-COOH/GCE in 5 mM $K_3[Fe(CN)_6]$ solution containing 0.3 M KCl. Scan rate: 50 mV/s

Fig. 2), the oxidation peak current of CBZ at MWCNTs-COOH modified electrode reached 15,92 μA , which was significantly higher than that of GCE, indicating that MWCNTs-COOH had a strong enrichment effect on CBZ, and its large specific surface area could enrich CBZ on the electrode surface to increase the response signal of CBZ. So that the oxidation reaction can be carried out at a lower position, which is consistent with the reports in the literature (Ertan et al., 2016).

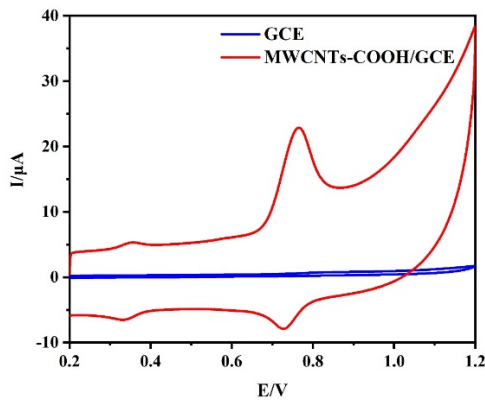


Fig. 2. CVs of 50 μM CBZ in PBS (pH = 7) at GCE and MWCNTs-COOH. Scan rate: 50 mV/s

The results showed that MWCNTs-COOH was successfully modified in GCE, and the sensitivity of the electrode was significantly improved, which was conducive to the rapid detection of low concentration substances. MWCNTs-COOH has a unique molecular structure, high surface volume ratio, good electronic and mechanical properties, as well as good biocompatibility and chemical stability (Saeed & Ibrahim, 2013). It can be used to modify electrodes to construct electrochemical sensors, which can give play to its excellent conductivity, adsorption, and stability (Kumar & Yadav, 2019).

The optimization of detection conditions:

The influence of scanning speed. The control type of electrode reaction can be known by the relation between oxidation peak current and scanning speed. The cyclic voltammograms of 50 μM CBZ at different scanning speeds were recorded respectively (show as Fig. 3.).

The results show that there is a good linear relationship between the oxidation peak current and the reduction peak current when the scanning speed at 60–380 mV/s, and the correlation coefficients are $I_o = 0,2908x + 13,776$ ($R^2 = 0,9958$) and $I_R = -0,2048x + 10,972$ ($R^2 = 0,988$) respectively.

The influence of pH. In this experiment, the variation of CV detection peak current at pH from 5 to 9 in $Na_2HPO_4^-$

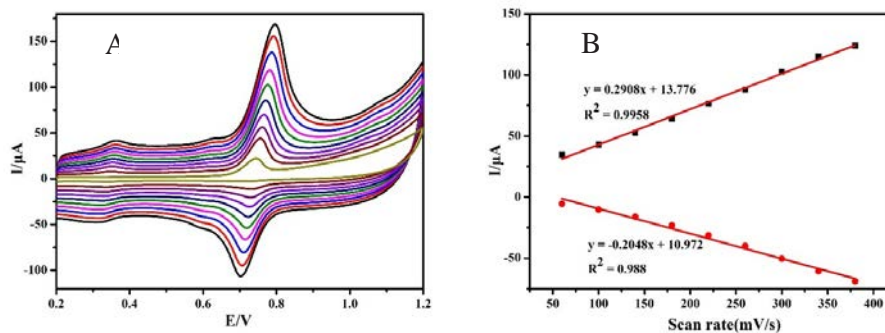


Fig. 3. (A) CVs of 10 μM CBZ at MWCNTs-COOH with different scan rates: 60,100,140,180,220,260,300,340 and 380. (B) The relationship between peak currents and scan rates

NaH₂PO₄ system containing 10 μM CBZ solution was investigated. As can be seen from the Fig. 4, when the pH value is between 5 and 7, the peak current response will increase positively with the constant increase of pH. When pH is 7, the peak current response reaches the maximum value, and then the peak current response decreases with the increase of pH. Therefore, pH = 7,0 was selected as the best pH value for CBZ detection. The relation between the oxidation peak current (I_p) and oxidation peak potential (E_p) and the pH value is shown in the Fig. 4 (A) and (B) respectively. E_p decreases with the increase of pH value. The relation is as follows: E_p (V) = -0,0632x + 1,1784 (R² = 0,9994). The slope of the equation 0,0632 is close to the ideal value of 0,585 V / pH, indicating that the proton and electron transfer numbers are equal in CBZ electrochemical reaction.

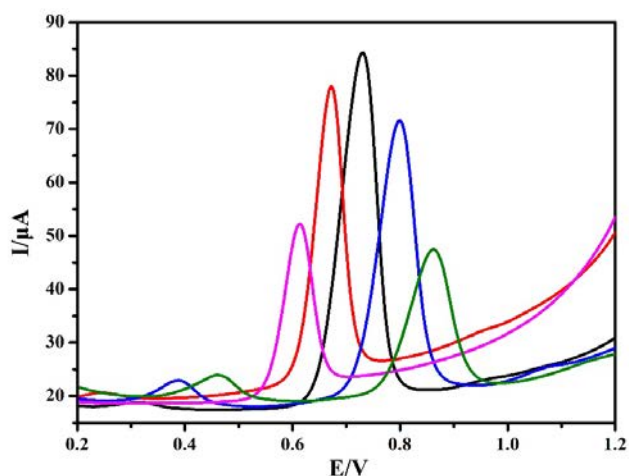


Fig. 4. Effect of pH on the DPV curves of 10 μM CBZ at the MWCNTs-COOH/GCE sensor

Analytical performance of MWCNTs-COOH / GCE sensor. In this study, a series of different concentrations

of CBZ standard solutions were measured using DPV. The prepared CBZ standard solution was diluted into multiple concentrations of CBZ solution with PBS buffer at pH = 7. Under optimal conditions, a series of concentrations of CBZ solutions were detected by MWCNTs-COOH/GCE. The results are shown in Fig. 6.

Reproducibility, stability and selectivity. 5 MWCNTs-COOH/GCE tests were repeated in CBZ standard solution with concentration of 1 μMol, and the relative standard deviation (RSD) of 5 separate tests was 4,81 %, indicating that MWCNTs-COOH/GCE had good reproducibility. CBZ was detected for 10 consecutive times on each modified electrode, and the RSD of the detection results was 3,5%. The results show that MWCNTs-COOH has good stability.

Under the optimal experimental conditions, the selectivity of MWCNTs-COOH/GCE was evaluated by interference experiments. The interference substances were Methyl Parathion, Paraquat, Niclosamide and other inorganic substances with 5 times concentration, respectively. The change of peak current of CBZ was less than 5% (95,2–104,4%), indicating that the modified electrode had a good selectivity.

CBZ detection in vegetable samples. Due to the preparation of MWCNTs-COOH/GCE has good sensitivity, stability and selectivity, and this electrochemical sensor can be used for vegetable sample analysis. Recycling experiments were carried out by adding different amounts of CBZ to different vegetables-Cabbage, Cucumber and Potato. Before testing, the vegetables are weighed, juiced, and centrifuged. The experimental results are shown in the Table 1. The recovery rate is approximately between 93,6% and 104,4%, indicating that the prepared sensor can still be used for the analysis of CBZ residues in vegetable samples without sample purification process. The results show that this method is accurate, appropriate, and effective for the detection of CBZ in actual samples.

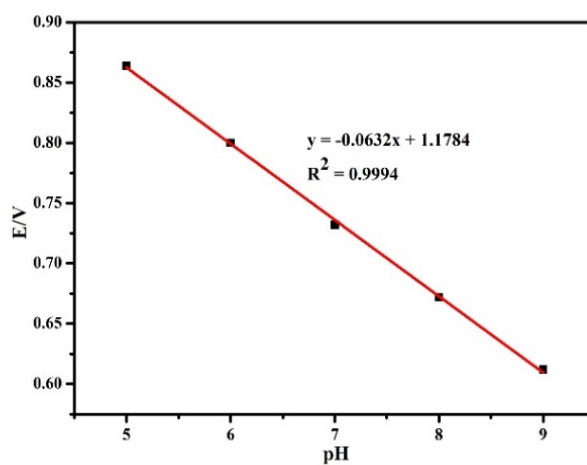
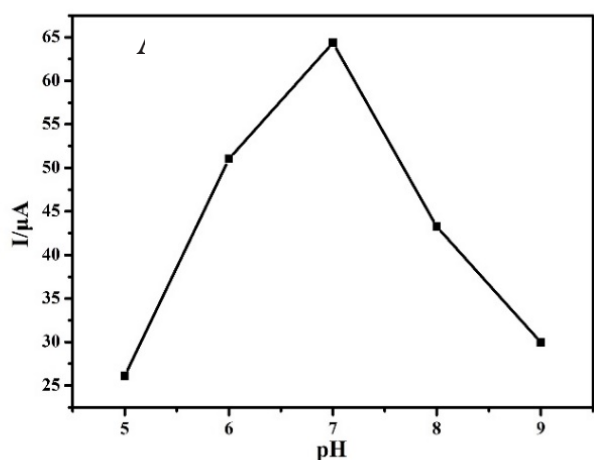


Fig. 5. (A) The relation between the oxidation peak current (I_p) and the pH value. (B) The relation between the oxidation peak potential (E_p) and the pH value

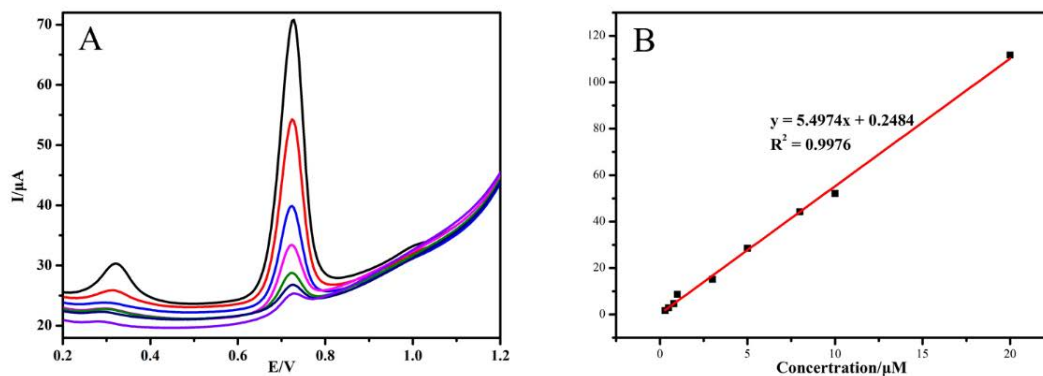


Fig. 6. DPV curves of different concentrations of CBZ at MWCNTS-COOH/GCE. CBZ concentrations (from bottom to top): 0,3, 0,5, 0,8, 1, 3, 5, 8, 10, 20 μM

Table 1
The determination results of CBZ in vegetable samples (n = 3)

Vegetable sample	Added (μM)	Found (μM)	Recovery (%)	RSD (%)
Cabbage	1	1,039	103,9	4,46
	5	5,18	103,6	2,99
	10	9,54	95,4	1,95
Cucumber	1	0,968	96,8	4,78
	5	4,72	94,4	3,21
	10	9,36	93,6	2,39
Potato	1	0,95	95	2,1
	5	5,11	102,2	4,44
	10	10,44	104,4	2,05

Conclusion. In the detection of pesticide residues, the introduction of electrochemical sensors is conducive to the simplification of the previous complex pre-processing, and can achieve convenient, fast, low-cost, qualitative, and quantitative rapid detection. In this study, MWCNT-COOH with better conductivity, adsorption and stability was used to modify electrode, and constructed the MWCNT-COOH/GCE, which improved the adsorption and accumulation of CBZ, effectively promoted the electron transfer on the surface of the electrode, accelerated the response speed of the electrode and improved the current response, to realize the rapid and sensitive detection of trace CBZ in vegetables.

References:

1. Addrah, M.E., Zhang, Y. Y., Zhang, J., Liu, L., Zhou, H. Y., Chen, W. D., & Zhao, J. (2020). Fungicide Treatments to Control Seed-borne Fungi of Sunflower Seeds. *Pathogens*, **9**(1).
2. Liu, Z.Y., Chen, Y., Han, J. H., Chen, D., Yang, G. Q., Lan, T. T., & Zhang, K. K. (2021). Determination, dissipation dynamics, terminal residues and dietary risk assessment of thiophanate-methyl and its metabolite carbendazim in cowpeas collected from different locations in China under field conditions. *Journal of the Science of Food and Agriculture*.
3. Ding, H., Zheng, X. Z., Zhang, J., Zhang, Y. S., Yu, J. H., & Chen, D. L. (2019). Influence of chlorothalonil and carbendazim fungicides on the transformation processes of urea nitrogen and related microbial populations in soil. *Environmental Science and Pollution Research*. **26**(30), 31133–31141.
4. Singh, S., Singh, N., Kumar, V., Datta, S., Wani, A. B., Singh, D. & Singh, J. (2016). Toxicity, monitoring and biodegradation of the fungicide carbendazim. *Environmental Chemistry Letters*, **14**(3). 317–329.
5. Tao, H.P., Bao, Z. W., Jin, C. Y., Miao, W. Y., Fu, Z. W., & Jin, Y. X. (2020). Toxic effects and mechanisms of three commonly used fungicides on the human colon adenocarcinoma cell line Caco-2. *Environmental Pollution*. **263**.
6. Huang, S.M., Hu, Y. F., Chen, Y. L., Li, G. K., & Xia, L. (2020). Magnetic Solid-phase Extraction Coupled with High-Performance Liquid Chromatography for Pesticide Residues Analysis in Citrus Sample. *Chinese Journal of Analytical Chemistry*, **48**(10). 1392–1399.
7. Li, P.L., Sun, P. Y., Dong, X. L., & Li, B. H., Residue analysis and kinetics modeling of thiophanate-methyl, carbendazim, tebuconazole and pyraclostrobin in apple tree bark using QuEChERS/HPLC-VWD. *Biomedical Chromatography*, **2020**. **34**(9).
8. Chu, Y., Tong, Z., Dong, X., Sun, M. N., Gao, T. C., Duan, J. S., & Wang, M. (2020). Simultaneous determination of 98 pesticide residues in strawberries using UPLC-MS/MS and GC-MS/MS. *Microchemical Journal*. **156**.
9. Li, Y.H., Hu, J., Yao, Z. L., Wang, Q., & Zhang, H. (2020). Transfer assessment of carbendazim residues from rapeseed to oil production determined by HPLC-MS/MS. *Journal of Environmental Science and Health Part B-Pesticides Food Contaminants and Agricultural Wastes*, **55**(8), 726–731.
10. Yang, Y.X., Huo, D. Q., Wu, H. X., Wang, X. F., Yang, J. S., Bian, M. H., & Hou, C. J., N, P-doped carbon quantum dots as a fluorescent sensing platform for carbendazim detection based on fluorescence resonance energy transfer. *Sensors and Actuators B-Chemical*, **274**. 296–303.
11. Yu, Q.W., Sun, H., Wang, K., He, H. B., & Feng, Y. Q. (2017). Monitoring of Carbendazim and Thiabendazole in Fruits and Vegetables by SiO₂@NiO-Based Solid-Phase Extraction Coupled to High-Performance Liquid Chromatography-Fluorescence Detector. *Food Analytical Methods*, **10**(8), 2892–2901.

12. Yuan, Y.Y., Wang, S. T., Liu, S. Y., Cheng, Q., Wang, Z. F., & Kong, D. M. (2020). Green approach for simultaneous determination of multi-pesticide residue in environmental water samples using excitation-emission matrix fluorescence and multivariate calibration. *Spectrochimica Acta Part a-Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 228.
13. Su, L.T., Wang, S., Wang, L. M., Yan, Z. Y., Yi, H. Y., Zhang, D. W., & Ma, Y., Fluorescent aptasensor for carbendazim detection in aqueous samples based on gold nanoparticles quenching Rhodamine B. *Spectrochimica Acta Part a-Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 2020. 225.
14. Wang, S.Y., Shi, X. C., Liu, F. Q., & Laborda, P. (2020). Chromatographic Methods for Detection and Quantification of Carbendazim in Food. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 68(43), 11880–11894.
15. Zhai, Y., T., Wu, Y. P., Guo, X. Y., Ying, Y., Wen, Y., & Yang, H. (2021). Metal-organic-frameworks-enforced surface enhanced Raman scattering chip for elevating detection sensitivity of carbendazim in seawater. *Sensors and Actuators B-Chemical*. 326.
16. Ghorbani, A., Ojani, R., Ganjali, M. R., & Raouf, Direct voltammetric determination of carbendazim by utilizing a nanosized imprinted polymer/MWCNTs-modified electrode. *Journal of the Iranian Chemical Society*.
17. Tu, X.L., Gao, F., Ma, X., Zou, J., Yu, Y. F., Li, M. F., & Lu, L. M. (2020). Mxene/carbon nanohorn/beta-cyclodextrin-Metal-organic frameworks as high-performance electrochemical sensing platform for sensitive detection of carbendazim pesticide. *Journal of Hazardous Materials*, 396.
18. Kumar, P., K.H. Kim, & A. Deep (2015) Recent advancements in sensing techniques based on functional materials for organophosphate pesticides. *Biosensors & Bioelectronics*, 70, 469–481.
19. Zhao, H.Y., Ji, X. P., Wang, B. B., Wang, N., Li, X. R., Ni, R. X., & Ren, J. J. (2015). An ultra-sensitive acetylcholinesterase biosensor based on reduced graphene oxide-Au nanoparticles-beta-cyclodextrin/Prussian blue-chitosan nanocomposites for organophosphorus pesticides detection. *Biosensors & Bioelectronics*, 65, 23–30.
20. Al-Hamry, A., A., Ega, T. K., Pasti, I. A., Bajuk-Bogdanovic, D., Lazarevic-Pasti, T., Rodriguez, R. D., & Kanoun, O. (2019) Electrochemical Sensor based on Reduced Graphene Oxide/PDAC for Dimethoate Pesticide Detection. in 5th International Conference on Nanotechnology for Instrumentation and Measurement (NanofIM). Sfax, TUNISIA.
21. Migliorini, F.L., Sanfelice, R. C., Mercante, L. A., Fature, M. H. M., & Correa, D. S. (2020). Electrochemical sensor based on polyamide 6/polypyrrole electrospun nanofibers coated with reduced graphene oxide for malathion pesticide detection. *Materials Research Express*, 7(1).
22. Noori, J.S., J. Mortensen, & A. Geto (2021). Rapid and Sensitive Quantification of the Pesticide Lindane by Polymer Modified Electrochemical Sensor. *Sensors*, 21(2).
23. Sakdarat, P., Chongsuebsirikul, J., Phongphut, A., Klinthingchai, Y., Prichanont, S., Thanachayanont, C., & Ieee., (2019). Copper Oxide Nanorods Pesticide Sensor For Methyl Parathion Detection. in IEEE 19th International Conference on Nanotechnology (IEEE-NANO). Macau, PEOPLES R CHINA.
24. 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.
25. Renganathan, V., Balaji, R., Chen, S. M., & Kokulnathan, T. (2020). Coherent design of palladium nanostructures adorned on the boron nitride heterojunctions for the unparalleled electrochemical determination of fatal organophosphorus pesticides. *Sensors and Actuators B-Chemical*, 307.
26. Karimi-Takallo, A., S. Dianat, & A. Hatefi-Mehjardi (2021). Fabrication and electrochemical study of K(1,10-(1,4 Butanediyl) dipyridinium)(2) PW11O39Co(H2O) /MWCNTs-COOH nanohybrid immobilized on glassy carbon for electrocatalytic detection of nitrite. *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 886.
27. Liu, Y., Cao, B., Zhang, X., Luo, R., Luo, C. H., Lin, H. C., & Peng, H. (2021). Preparation of alpha-Co(OH)(2)@MWCNTs-COOH nanocomposites and their application for supercapacitors. *Journal of Materials Science-Materials in Electronics*.
28. Zeng, W.J., Li, C., Feng, Y., Zeng, S. H., Fu, B. X., & Zhang, X. L. (2021). Carboxylated multi-walled carbon nanotubes (MWCNTs-COOH)-intercalated graphene oxide membranes for highly efficient treatment of organic wastewater. *Journal of Water Process Engineering*, 40.
29. Zou, N., Yuan, C. H., Liu, S. W., Han, Y. T., Li, Y. J., Zhang, J. L., & Pan, C. P. (2016). Coupling of multi-walled carbon nanotubes/polydimethylsiloxane coated stir bar sorptive extraction with pulse glow discharge-ion mobility spectrometry for analysis of triazine herbicides in water and soil samples. *Journal of Chromatography A*, 1457, 14–21.
30. Ertan, B., Eren, T., Ermis, I., Saral, H., Atar, N., & Yola, M. L., Sensitive analysis of simazine based on platinum nanoparticles on polyoxometalate/multi-walled carbon nanotubes. *Journal of Colloid and Interface Science*, 2016. 470: p. 14–21.
31. Saeed, K. & Ibrahim. (2013). Carbon nanotubes-properties and applications: a review. *Carbon Letters*, 14(3), 131–144.
32. Kumar, U. & B.C. Yadav. (2019). Development of humidity sensor using modified curved MWCNT based thin film with DFT calculations. *Sensors and Actuators B-Chemical*, 288, 399–407.

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

Дубовик Володимир Іванович, кандидат сільськогосподарських наук, доцент, Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна

Ліу Рункіанг, доктор сільськогосподарських наук, доцент, Хенанський інститут науки і технології, м. Хенань, КНР
Швидке електрорімічне визначення карбендазіму в овочах на основі карбоксильних функціоналізованих багатостінних вуглецевих нанотрубок, модифікованих скляним вуглецевим електродом

Нині широко використовуються такі методи виявлення фунгіцидів похідних бензімідазолу, як: високоефективна рідинна хроматографія (ВЕРХ), рідинна хроматографія – мас-спектрометрія (РХ – МС), флуоресцентна спектрометрія. Ці методи мають високу чутливість та результати, але мають і недоліки, як-от складна

попередня підготовка, тривалий час аналізу, дороге обладнання та наявність професійних операторів. Метод виявлення за допомогою електрохімічних датчиків має такі переваги: високу чутливість, простоту експлуатації, низьку вартість робіт, простоту перевірки на місці тощо, що привернуло велику увагу в області виявлення й аналізу залишків пестицидів.

Для швидкого визначення вмісту карбендазиму в овочах створено електрохімічний метод швидкого виявлення за допомогою скловуглецевого електрода, модифікованого скловуглецевим електродом із карбоксильними функціональними багатостінними вуглецевими нанотрубками (MWCNTs-ООН). У цьому дослідженні MWCNT-СООН зі спеціальними функціональними групами та великою питомою поверхнею використані для модифікації електродів, покращення адсорбції та збагачення СВЗ на електроді, посилення електрохімічного сигналу з метою створення високочутливої електрохімічної технології швидкого виявлення СВЗ.

Результати досліджень показали, що: модифікований електрод, функціоналізований MWCNTs-СООН, міг значно покращити швидкість перенесення електронів на поверхні електрода, що підвищило чутливість виявлення карбендазиму. Лінійний діапазон виявлення становив 0,3 мкм ~ 20 мкм, а межа виявлення була визначена на рівні 0,06 мкм.

У цьому дослідженні MWCNT-СООН із кращою провідністю, адсорбцією та стабільністю використовувався для модифікації електрода, був побудований MWCNT-СООН/GCE, який покращив адсорбцію та накопичення СВЗ, ефективно сприяв переносу електронів на поверхні електрода, прискорив швидкість реакції електрода та покращив дію на струм, щоб реалізувати швидке та чутливе виявлення слідів СВЗ в овочах. Цей метод має високу чутливість, хороший захист від перешкод і стабільність виявлення. Велике значення має виявлення карбендазиму в овочах, особливо в тих, які споживаємо у свіжому вигляді.

Ключові слова: карбендазим, залишки пестицидів, електрохімічний датчик, MWCNTs-СООН.

Date of receipt: 10.12.2021.

FIELD CONTROL EFFECT OF 10 INSECTICIDES ON *BEMISIA TABACI* IN GREENHOUSE TOMATOES IN CHINA

Liu Shunxiao

PhD student

Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine,
Henan Institute of Science and Technology, Xinxiang, China

ORCID: 0000-0002-3304-1795

Lshx_07@163.com

Vlasenko Volodymyr

Doctor (Agricultural Sciences), Professor

Sumy National Agronomy University, Sumy, Ukraine

ORCID: 0000-0002-5535-6747

vlasenkova@ukr.net

Bemisia tabaci (tobacco whitefly) is one of the most harmful invasive species in the world. It causes devastating damage to many crops during the invasion process and is an important pest worldwide. *B. tabaci* harms crops mainly by directly feeding on plant juice, affecting plant nutrient metabolism, causing plant leaves to appear yellow spots, yellowing and falling off in severe cases, and abnormal or irregular fruit structure. Adults and nymphs of *B. tabaci* can also secrete honeydew to contaminate plant organs and induce coal pollution. When the density is high, the leaves can turn black, which seriously affects the photosynthesis of plants and reduces the quality of crops. Another important way of *B. tabaci* is to spread plant viruses. Generally, after an outbreak of *B. tabaci*, the virus transmitted by it will occur. These viruses can cause plant leaf curling, plant dwarfing and fruit abortion, causing serious losses. A single foliar spray of 10 pesticides was used in order to screen out high-efficiency pesticides for controlling *B. tabaci* on tomato. Control experiments to carry out at the initial stage of the occurrence of *B. tabaci*, and a survey of the control effect was carried out 1, 3 and 7 days after the treatment. The results showed that the best effect on *B. tabaci* had on F (5% Diprofen) variant 1 day after treatment. It was 41%, which was significantly higher than other test reagents. None of the reagents showed good fast-acting effects. Option C (22,4% Spirotetramat) had the best control effect on *B. tabaci* three days after spraying – 72%. The worst effect (62%) was when treated with pesticides in experimental variants I (50% Flonicamid) and G (10% Cyantraniliprole). Spraying the plants gives the best effect of neutralizing the pest and is 86% on option J (20% Mevpirazone) after 7 days, which is much higher than other test reagents. Phytotoxicity for tomatoes was not detected in three field studies conducted from 13 to 20 October 2020. We can choose in the field control process of pest *B. tabaci* 20% Mevpirazone suspension concentrate, which can be used in combination with 22,4% Spirotetramat suspension concentrate and 5% Diprofen dispersible concentrate to achieve better control effect. This method of pesticides selection will provide effective protection of greenhouse vegetables from the damage impact of pest *B. tabaci*.

Key words: damage, tomato, screening, treatment, prevention and disinfection of vegetables from pests.

DOI <https://doi.org/10.32845/agrobio.2021.4.12>

Introduction

China is a big agricultural country. As one of the important agricultural products, vegetables are very rich in types and variety resources (Fang Wei, 2011), China is the world's largest vegetable consumer country, with the rapid development of the times and the continuous improvement of the people's living standards. In order to meet people's demand for fresh vegetables in different seasons, more and more facility vegetables such as solar greenhouses and plastic greenhouses are being planted (Wu, 2017). The development of the facility vegetable industry has played a key role in the year-round supply of vegetables in the long-existing seasons of lack of vegetables in winter and summer in China. It is of great significance to vegetable production in high latitude areas with short frost-free periods and insufficient light and heat sources (Fang, 2011). The proportion of facility vegetable production in the vegetable planting industry has gradually increased. The large-scale development of facility

vegetable plots has become the main force in vegetable production (Hou, 2011).

B. tabaci belongs to the whitefly genus Hemiptera (Palumbo et al., 2001; Liu et al., 2012; De Barronet et al., 2011; Chu et al., 2005; Zhang et al., 2019). It is an omnivorous insect and mainly damages Solanaceae, Cucurbitaceae, Cruciferae, leguminous vegetables and some flower crops. It has a wide host range, with more than 600 species of host plants, which can transmit more than 15 kinds of viruses and cause more than 40 kinds of plant diseases (Xu et al., 2011; Wang et al., 2016; Pan et al., 2015; Li et al., 2015). The adults, nymphs, and eggs of *B. tabaci* in facility vegetables basically feed on the back of the leaf. The sprayed chemicals are basically covered on the front of the leaf, which is less harmful to pests (Peng et al., 2016). Frequent increase in the frequency of application of pesticides did not significantly reduce the number of pests. This phenomenon is caused by unreasonable chemical control in production that makes pests resistant to commonly used pesticides (Tang et al.,

2016; Wang et al., 2010; Luo et al., 2010; Roditakis et al., 2010). In the process of using pesticides, only 1 % of them are effective, and the remaining 99 % are scattered in the soil, air and water bodies, greatly causing agricultural environmental pollution and ecological damage (Erdogan et al., 2008; Kang et al., 2006; Qin et al., 2011).

At present, there are three main types of conventional chemical insecticides used to control *B. tabaci*: nicotinic insecticides (imidacloprid), synthetic insecticides (pyrethroids) and insect growth regulators (floxacin). Due to the long-term use of these agents to control the *B. tabaci* has developed a certain resistance to these types of drugs, making it difficult to prevent and control pest. We often use the method of rotating chemical agents to slow down the resistance of whitefly. Chemical agents such as 10% imidacloprid, abamectin, 25% Actai (WG) are commonly used to prevent and control the whitefly in the early stage of the occurrence of whitefly. In order to avoid the pests from developing resistance, a variety of agents can be used in rotation (Wang, 2012; Castle, 2005; Watanabe et al., 2018; Turson et al., 2011). The purpose of this experiment is to understand the resistance level and development status of *B. tabaci*, and to provide a basis for the rational use of pesticides and delay the development of *B. tabaci* resistance.

Materials and methods

Test agent

25% Thiamethoxam water dispersible granules (Zhejiang Qianjiang biochemistry Co., Ltd.), 9% Mineral oil emulsifiable concentrate (Shandong Keda Venture Biology Co., Ltd.), 22,4% Spirotetramat suspension concentrate (Bayer Crop Science), 17% Flurpyrone soluble concentrate (Bayer Crop Science), 70% Acetamiprid water dispersible granules (Shaanxi Thompson Biotechnology Co., Ltd.), 5% Diprofen dispersible concentrate (BASF (China) Co., Ltd.), 10% Cyantraniliprole suspension concentrate (FMC (China) Investment Co., Ltd.), 1,8% Abamectin emulsifiable concentrate (Zhejiang Zhongshan Chemical Group Co., Ltd.), 50% Flonicamid water dispersible granule (Shandong Huimin Zhonglian Biotechnology Co., Ltd.), 20% Mevpirazone suspension concentrate (Shanghai Shengnong Biochemical Products Co., Ltd.).

Test materials

The experimental crop was tomato (Zaofen 2) in greenhouse.

Test method

The test plot is located in the solar greenhouse on the east campus of Henan University of Science and Technology. Tomatoes were planted on August 19, 2020, with 667 m² planting 2000 plants. The cultivation conditions (cultivation, fertilization, plant and row spacing, etc.) of the test plots are consistent and conform to local cultivation habits. A total of 10 chemical treatment groups and a clear water control were set up in the experiment: treatment A – 25% Thiamethoxam water dispersible granules (20 g for 667 m²); treatment B – 9% Mineral oil emulsifiable concentrate (500 g for 667 m²); treatment C – 22,4% Spirotetramat suspension concentrate (30 mL for 667 m²); treatment D – 17% Flurpyrone soluble concentrate (40 mL for 667 m²); treatment E – 70% Acetamiprid water dispersible granules (3 g for 667 m²);

treatment F – 5% Diprofen dispersible concentrate (40 mL for 667 m²); treatment G – 10% Cyantraniliprole suspension concentrate (40 mL for 667 m²); treatment H – 1,8% Abamectin emulsifiable concentrate (40 mL for 667 m²); treatment I – 50% Flonicamid water dispersible granule (10 g for 667 m²); treatment J – 20% Mevpirazone suspension concentrate (40 mL for 667 m²). Each treatment was repeated 3 times, a total of 33 test plots, each plot area is about 18 m², arranged in random blocks. The dosage of each test agent is the maximum recommended dosage. The medicament is sprayed with Zhejiang Taizhou Minghui 3WBD-16 electric sprayer, and the water consumption is 30 L per 667 m². The first application will be carried out on October 13, 2020.

Investigation methods

Investigate the number of insect populations before spraying, and at 1, 3, 7 days (October 14, 16 and 20) after spraying, the number of insect populations was determined at designated locations. Each plot adopts a 5-point sampling method, and each spot is marked with 2 tomato plants. Investigate the number of adults in the whole plant when the adults are not active in the morning.

Formula for calculating efficacy: Decline rate of insect population = (number of insects before spraying – number of insects after spraying) / number of insects before spraying times 100 %.

Corrected control effect = 1 – the number of prednisolone in blank control area times the number of insects after chemical treatment / the number of insects after chemical treatment in blank control area times the number of insects before pesticide treatment times 100 %.

Statistical Analysis

DPS software was used to perform statistical analysis on the test data, and Duncan's new multiple range method was used to analyze the variance of different agents against *B. tabaci*.

Results

Control effect of treatment agent on *B. tabaci*

The effect of different treatments on the control of *B. tabaci* was different 1 day after the medicine. The corrected control effect of treatment F on *B. tabaci* is the best 41 %, which is equivalent to the effects of treatments H, A, B and J, which is significantly higher than other test reagents. Treatment C has the worst control effect on *B. tabaci* on tomato by 28 %. None of the treatment reagents showed good quick-acting properties. 3 days after the treatment, although there are differences in the control effects of different treatments on *B. tabaci*, the overall difference is small. Treatment C has the best control effect on *B. tabaci* at 72 %, and treatments I and G have the worst effect at 62 %. 7 days after treatment the best control effect of treatment J was 86 %, which was equivalent to treatment G and D, and treatment B had the worst effect of 52 %, which was significantly higher than other test reagents (Table 1, Figure 1).

Drug safety

In the three field surveys conducted on October 13–20, 2020, the tomato plants were growing well, and there were no symptoms of wilting, yellowing and other phytotoxicity, indicating that each chemical treatment group controlled

smoke powder according to the dosage and concentration of the field trial. Lice are safe for tomato crops.

Discussion

The test results showed that: one day after treatment, treatment F had the best effect on *B. tabaci* by 41%, which was significantly higher than other test reagents. Treatment C had the worst effect on *B. tabaci* control by 28%, none of the treatment reagents shows good quick-acting. Three days after treatment C had the best control effect on *B. tabaci* at 72%, and treatments I and G had the worst effect at 62%. Seven days after the treatment the best control effect of treatment J was 86%, and the worst effect of treatment B was 52%, which was significantly higher than other test reagents. In the three field surveys conducted on October 13–20, 2020, the tomato plants were growing well, and there were no symptoms of wilting, yellowing and other phytotoxicity, which indicated that the control of *B. tabaci* in accordance with the dosage concentration of this field experiment was

safe for tomato crops. In the field control process, you can choose 20% mfenproper suspending agent, which is used together with 22,4% spirotetramat suspending agent and 5% difprofenac dispersible liquid agent.

In order to control *B. tabaci* effectively, comprehensive control measures should be taken in addition to the above chemicals. The first is agricultural control. The field should be cleaned up in time. In the field with serious *B. tabaci* infestation, weeds and leaves should be treated as soon as possible, and the leaves with insect eggs should be removed. Reasonable arrangement of crop rotation, scientific layout, greenhouse cucumber, eggplant and other non-mixed cultivation, can be interplanted with celery, garlic and other crops with strong insect resistance. In winter, timely opening the shed for ventilation can effectively control the overwintering population of *B. tabaci* and reduce the population base of *B. tabaci* (Peng Li et al., 2016; Zheng Huixin et al., 2017).

Table 1

Control effect of tested insecticides on *B. tabaci*

Treatment	Pre-medicine treatment insect population base / head	1 day after medicine			3 days after medicine			7 days after medicine		
		Insect population base / head	Decline rate of population (%)	Control effect (%)	Insect population base / / head	Decline rate of population (%)	Control effect (%)	Insect population base / head	Decline rate of population (%)	Control effect (%)
A	139,3	98,3	0,29	0,39	54,2	0,61	0,72	86	0,38	0,58
B	102,1	75,1	0,26	0,37	43,0	0,58	0,70	72,6	0,29	0,52
C	137,4	115,2	0,16	0,28	53,7	0,61	0,72	92,2	0,33	0,55
D	95,0	76,0	0,20	0,31	49,5	0,48	0,63	23,5	0,75	0,83
E	234,7	195,0	0,17	0,29	105	0,55	0,68	128,1	0,45	0,63
F	187,0	128,5	0,31	0,41	94,2	0,50	0,64	62,0	0,67	0,78
G	155,3	117,2	0,25	0,35	82,1	0,47	0,62	34,2	0,78	0,85
H	124,5	86,2	0,31	0,40	57,2	0,54	0,67	82,3	0,34	0,55
I	144,0	112,0	0,22	0,33	75,3	0,48	0,62	62,3	0,57	0,71
J	172,6	123,5	0,28	0,38	78,0	0,55	0,67	34,6	0,80	0,86
CK	113,5	132,0			157,8			168,5		

Note: The control effect is the average value of each repeat.

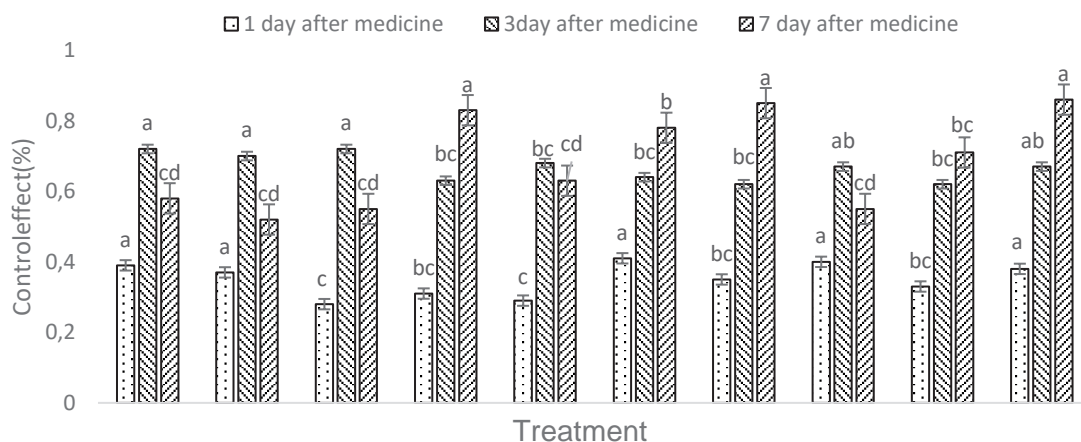


Fig. 1. 10 kinds of pesticides to control *B. tabaci* in different days

Note: The lowercase letters in the table indicate the significance of the difference at the 0.05 level

The second is physical control. The adults of *B. tabaci* have strong yellow tendency and can be trapped by yellow plate. The yellow board is usually suspended 20 cm above the crop, and the height of the yellow board is adjusted with the growth of the crop.

The third is biological control. Studies have shown that the feeding of *B. tabaci* can increase the content of resistant substances in some peppers, which is conducive to the enhancement of insect resistance (Li Chuanming et al., 2017). The experimental results of using different pesticides to control whitefly on cowpea proved that the avermectin biopesticide is more effective than other pesticides. 22% Flonicamid suspension has high control effect on eggs and nymphs, and 10% Flonicamid water dispersible granules have high control effect on adults. When the generation of *B. tabaci* is serious, it can be based on different insect states. The control effect is to choose the mixed use of several pesticides (Chen Jincui et al., 2017).

Chemical fumigation is used to control *B. tabaci*. The fumigation agent is 22% aphid aerosol, and the insecticidal rate can reach more than 95% (Li Yan and Zhao Wanxuan, 2010). Imidacloprid was sprayed and rooted to control *B. tabaci*, and the results showed that root irrigation was better

than spraying (Zong Jianping, 2009; Fariña AE et al., 2019; Zou Chunhua et al., 2014). Using different concentrations of imidacloprid roots to irrigate the method, the control effect on tomato *B. tabaci* showed that imidacloprid root irrigation can effectively prevent and control the harm of *B. tabaci* and promote the growth of tomato plants, which can be popularized in production (Wang Shaoli et al., 2017; Liu Zhongliang, 2017).

Conclisions

Use 10 kinds of insecticides to control *B. tabaci* on tomatoes in greenhouses. One day after treatment, 70% Acetamiprid water dispersible granules have the best effect on *B. tabaci* at 41%; 22,4% Spirotetramat suspension concentrate is effective for *B. tabaci* on tomatoes and the worst control effect is 28%. 3 days after treatment, the 22,4% Spirotetramat suspension concentrate has the best control effect on *B. tabaci* at 72%. 7 days after treatment, the best control effect of 20% Mevpirazone suspension concentrate on *B. tabaci* is 86%. In the reagent production process, we can choose 70% acetamiprid water dispersible granules, 22,4% Spirotetramat suspension concentrate and 20% Mevpirazone suspension concentrate to promote the prevention and control of *B. tabaci* and achieve better prevention effect.

References:

1. Fang Wei, Zhang Qing, Hui Chengzhang, Yang Guang, Lu Jiaojiao & Liu Lei (2011). Problems and countermeasures in the development of facility vegetable industry in Shenyang. *Agricultural Economy*, (01), 18–20. doi: 10.3969/j.issn.1001-6139.2011.01.006.
2. Wu Luofa (2017). Research review on economic hotspots of China's vegetable industry. *Journal of Jiangxi agriculture*, 29 (04), 139–145. doi: 10.19386/j.cnki.jxnyxb.2017.04.29.
3. Hou Jun (2011). The current situation and characteristics of vegetable production in Shenyang. *Liaoning Agricultural Sciences*, (01), 64–66. doi: 0.3969/j.issn.1002-1728.2011.01.016.
4. Palumbo J.C., Horowitz A.R. & Prabhaker N. (2001). Insecticide control and resistance management for Bemisia tabaci. *Crop Protection*, 20 (9), 739–765. doi: 10.1016/S0261-2194(01)00117-X.
5. Liu S.S., Colvin J. & De Barro P.J. (2012). Species concepts as applied to the whitefly Bemisia tabaci systematics: how many species are there? *Journal of Integrative Agriculture*, 11 (2): 176–186. doi: 10.1016/S2095-3119(12)60002-1.
6. De Barro P.J., Liu S.S., Boykin L.M. & Dinsdale A.B. (2011). Bemisia tabaci: A statement of species status. *Annual Review of Entomology*, 56 (1), 1–19. doi: 10.1146/annurev-ento-112408-085504.
7. Chu Dong, Bi Yuping, Zhang Youjun, Lou Yunping (2005). Research progress on Bemisia tabaci biotype. *Acta Ecologica Sinica*, 25 (12): 3398–3405. doi: 10.3321/j.issn:1000-0933.2005.12.040.
8. Zhang Xiuxia, Mao Xiaohong, Gao Qiang, Bai Tingting & Zhang Ansheng (2019). Laboratory toxicity and field efficacy of three biological insecticides against Bemisia tabaci. *Chinese agricultural bulletin*, 35 (20), 99–103. doi: CNKI:SUN:ZNTB.0.2019-20-018.
9. Xu J., Lin K. K. & Liu S.S. (2011). Performance on different host plants of an alien and an indigenous Bemisia tabaci from China. *Journal of Applied Entomology*, 135 (10), 771–779. doi: 10.1111/j.1439-0418.2010.01581.x.
10. Wang Wenlong, Wang Shaoli, Han Guangjie, Du Yuzhou & Wang Jianjun (2016). Lack of cross-resistance between neonicotinoids and sulfoxaflo in field strains of Q-biotype of whitefly, Bemisia tabaci, from eastern China. *Pesticide Biochemistry & Physiology*, 136, 46. doi: 10.1016/j.pestbp.2016.08.005.
11. Pan Huipeng, Preisser E.L., Chu Dong, Wang Shaoli, Wu Qingjun, Carrière Yves, Zhou Xuguo & Zhang Youjun (2015). Insecticides promote viral outbreaks by altering herbivore competition. *Ecological Application*, (6), 1585–1595. doi: 10.1890/14-0752.1.
12. Li Caixin, Zhang Yongqiang, Zhang Bingbing, Wang Dan & Ding Wei (2015). Experiments on 6 insecticides to control Bemisia tabaci in tobacco fields. *Phytosan*, 28 (3), 41–42. doi: 10.13718/j.cnki.zwys.2015.03.025.
13. Tang Qiuling, Ma Kangsheng & Gao Xiwu (2016). The current status of vegetable aphids resistance and resistance management strategies. *Plant Protection*, 42 (06), 11–20. doi: 10.3969/j.issn.05291542.2016.06.002.
14. Wang Zhengyu, Yan Haifei, Yang Yihua & Wu Yidong (2010). Biotype and insecticide resistance status of the Whitefly Bemisia tabaci from China. *Pest Management Science*, 66 (12), 1360–1366. doi: 10.1002/ps.2023.
15. Luo C., Jones C. M., Devine G., Zhang F., Denholm I. & Gorman K. (2010). Insecticide resistance in Bemisia tabaci biotype Q (Homoptera: Aleyrodidae) from China. *Crop Protection*, 29 (5), 429–434. doi: 10.1016/j.cropro.2009.10.001.
16. Roditakis E., Roditakis Nikos E. & Tsagarakou A. (2010). Insecticide resistance in Bemisia tabaci (Homoptera: Aleyrodidae) populations from crete. *Pest Management Science*, 61 (6), 577–582. doi: 10.1002/ps.1029.
17. Erdogan C., Moores G.D., Gurkan M.O., Gorman K.J. & Denholm I. (2008). Insecticide resistance and biotype status of populations of the tobacco whitefly Bemisia tabaci (Homoptera: Aleyrodidae) populations from Turkey. *Crop Protection*, 27 (3/4/5), 600–605. doi: 10.1016/j.cropro.2007.09.002.

18. Kang C.Y., Wu G. & Miyata T. (2006). Synergism of enzyme inhibitors and mechanisms of insecticide resistance in *Bemisia tabaci* (Gennadius) (Hom., Aleyrodidae). *Journal of Applied Entomology*, 130 (6/7), 377–385. doi: 10.1111/j.1439-0418.2006.01075.x.
19. Qin Yue, Zhang Zhongxin, Zhang Huichen, Guo Changjun, Wang Xiaojuan & Li Chao (2011). Study on the application of natural enemy insects in controlling greenhouse vegetable pests. *Modern horticulture*, (17), 49. doi: 10.3969/j.issn.1006-4958.2011.17.038.
20. Wang Wenlu (2012). Discussion on integrated control technology of *Bemisia tabaci* in greenhouse. *Modern horticulture*, (10), 158. doi: CNKI:SUN:JXYA.0.2012-10-136.
21. Castle S.J. (2005). Concentration and management of *Bemisia tabaci* in cantaloupe as a trap crop for cotton. *Crop Prot.*, 12, 1038–1041. doi: 10.1016/j.cropro.2005.08.013.
22. Watanabe L., Bello V.H., De Marchi B.R., Pereira Sartori M.M., Agenor Pavan M. & Krause-Sakate R. (2018). Performance of *Bemisia tabaci* MEAM1 and *Trialeurodes vaporariorum* on tomato chlorosis virus (ToCV) infected plants. *Journal of Applied Entomology*, 142 (10), 1008–1015. doi: 10.1111/jen.12559.
23. Tuerxun, Wu Jing, Guo Wenchao, Guan Zhijian, Li Cuimei, Elken Maimaiti & Zhang Zhenyu (2011). Control effects of greenhouse whitefly, the main pests of vegetables in different chemical control facilities. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 48 (02), 356–359. doi: CNKI:SUN:XJNX.0.2011-02-035.
24. Peng Li, Tao Xiaoxiang & Duan Ruihua (2016). Occurrence regularity and control technology of *Bemisia tabaci*. *Modern agricultural science and technology*, (24), 127–128. doi: 10.3969/j.issn.1007-5739.2016.24.074.
25. Zheng Huixin, Xie Wen, Wang Shaoli, Wu Qingjun, Zhou Xiaomao & Zhang Youjun (2017). Dynamic monitoring (B versus Q) and further resistance status of Q type *Bemisia tabaci* in China. *Crop Protection*, 94, & 115–122. doi: 10.1016/j.cropro.2016.11.035.
26. Li Chuanming, He Jing, Gu Aixiang, Su Honghua, Wu Xiaoxia, Zhang Haibo, Xie Yamei, Wu Yahong & Zhou Fucui (2017). Effects of *Bemisia tabaci* feeding on nutrients and resistant substances of pepper varieties with different insect resistance. *Chinese Journal of ecological agriculture*, 25 (10), 1456–1462. doi: 10.13930/j.cnki.cjea.170372.
27. Chen Jincui (2017). Control effects of Seven Insecticides on Whitefly in greenhouse. *Plant protection*, 43 (4), 228–232. doi: 10.3969/j.issn.0529-1542.2017.04.041.
28. Li Yan, Zhao Wanxuan (2010). Occurrence characteristics and pollution free control technology of whitefly in greenhouse in Xiuyan area. *Liaoning Agricultural Sciences*, (03), 100. doi: CNKI:SUN:LNNY.0.2010-03-033.
29. Zong Jianping, Wei Shujuan, Wang Jingyang & Luo Wanchun. (2009). Distribution of imidacloprid in tomato plants after spraying and root irrigation and its control effect on *Bemisia tabaci*. *Chinese Journal of Pesticide Science*, (02), 219–224. doi: CNKI:SUN:NYXB.0.2009-02-019.
30. Fariña A.E., Rezende J.A.M., Wintermantel W.M. (2019). Expanding knowledge of the host range of tomato chlorosis virus and host plant preference of *Bemisia tabaci* MEAM1. *Plant Disease*, 103 (6), 1132–1137. doi: 10.1094/PDIS-11-18-1941-RE.
31. Zou Chunhua, Li Lin, Dong Tingyan, Zhang Bowen & Hu Qiongbo (2014). Joint action of the entomopathogenic fungus *Isaria fumosorosea* and four chemical insecticides against the whitefly *Bemisia tabaci*. *Biocontrol Science and Technology*, 24 (3), 315–324. doi: 10.1080/09583157.20.
32. Wang Shaoli, Zhang Youjun, Yang Xin, Xie Wen & Wu Qingjun (2017). Resistance Monitoring for Eight Insecticides on the Sweetpotato Whitefly (Hemiptera: Aleyrodidae) in China. *Journal of Economic Entomology*, 110 (2), 660–666. doi: 10.1093/jee/tox040.
33. Liu Zhongliang, Zheng Jianli, Gao Junjie & Tia Changgeng (2017). Adversity shielding effect of imidacloprid on tomato and its control effect on whitefly in greenhouse. *Northern Journal of Agriculture*, 45 (01), 65–69. doi: 10.3969/j.issn.2096-1197.2017.01.13.

Лю Шунсяо, аспірант, Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна, Хенанський інститут науки та технології, м. Хенань, КНР

Власенко Володимир Анатолійович, доктор сільськогосподарських наук, професор, Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна

Польовий контроль впливу 10 інсектицидів на *Bemisia tabaci* за тепличного вирощування помідорів у Китаї
 Комаха *Bemisia tabaci* (білокрилка тютюнова) є одним із найбільш шкідливих інвазивних видів у світі. Вона завдає руйнівної шкоди багатьом сільськогосподарським культурам під час процесу враження рослин і є поширеним шкідником доквілля. *B. tabaci* завдає шкоди культурам, живиться безпосередньо соком рослин, впливає на метаболізм поживних речовин, спричиняє утворення жовтих плям на листках аж до цілковитого пожовтіння й опадання в разі сильного ураження, а також аномальну або неправильну структуру плодів. Дорослі особини та німфи *B. tabaci* також можуть виділяти медяну росу, яка забруднює органи рослин та викликає почорніння. У разі її високої щільності листя може чорніти, що серйозно впливає на фотосинтез рослин і знижує якість урожаю. Інший важливий напрям шкідливості *B. tabaci* – поширення вірусів рослин. Зазвичай після спалаху *B. tabaci* відбувається інфікування рослин вірусами. Ці віруси можуть спричинити скручування листя рослини, карликовість рослин і абортивність плодів, що завдає серйозних збитків. Для відбору високоефективних пестицидів для боротьби з *B. tabaci* на томатах було застосовано обприскування листя одним із 10 пестицидів. Контрольні обліки проводили на початковій стадії появи *B. tabaci*, а обстеження контрольного ефекту проводили через 1, 3 і 7 днів після обробки пестицидами. Результати показали, що найкращий ефект впливу на *B. tabaci* мали на варіанті F (5% Дипрофен) через 1 день після обробки. Він становив 41%, що було значно вищим, ніж в інших досліджуваних реагентів. Жоден із реагентів не показав хороших швидкодійних ефектів. Через три дні після обприскування

найкращий контрольний ефект на *B. tabaci* в 72% мав варіант С (22,4% Спіротетрамат). Обробки пестицидами на дослідних варіантах І (50% Флонікамід) та G (10% Суантраніліпроле) мали найгірший ефект – у 62%. Найкращий контрольний ефект знешкодження шкідника становить 86% через 7 днів після обробки препаратом варіанта J (20% Мевіпріазон), що значно вище, ніж в інших тест-реагентів. У трьох польових дослідженнях, проведених із 13 по 20 жовтня 2020 року, не виявлено фітотоксичності для томатів. У процесі контролю *B. tabaci* ми можемо вибрати для досягнення кращого ефекту і контролю шкідника 20% концентрат суспензії Мевіпріазону, який можна використовувати в поєднанні із 22,4% концентратом суспензії Спіротетрамату та 5% диспергованим концентратом Дипрофену. Такий спосіб підбору пестицидів забезпечить ефективний захист овочів закритого ґрунту від шкідливої дії *B. tabaci*.

Ключові слова: пошкодження, помідор, скринінг, обробка, профілактика та знезараження овочів від шкідників.

Date of receipt: 14.12.2021.

WAYS OF THE CADMIUM ACCUMULATION MONITORING IN SUNFLOWER AND OTHER CROPS: OVERVIEW

Fu Yuanzhi

PhD student

Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine

ORCID: 0000-0002-3301-7410

lilac1210@126.com

Trotsenko Volodymyr

Doctor (Agricultural Sciences), Professor

Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine

ORCID: 0000-0001-8101-0849

vtrosenko@ukr.net

Steady trend of the last salt is an increase in the total concentration of dangerous elements and their compounds in agricultural soils. The consequence of this process is the growth of requirements for crop quality and the intensification of research aimed at forming a theoretical basis and finding practical ways to solve this problem.

With the development of industry, Cd pollution becomes more and more serious, which poses a serious threat to agricultural production and human health. Cadmium (Cd) is an important pollutant in farmland soil. Breeding of low Cd accumulation crops can reduce the risk of heavy metal removing into the human food chains and can solve the problem of food safety production in contaminated soil. Therefore, studies on Cd absorption and accumulation in crops have attracted the attention of researchers all over the world. The possibility of solving this problem (to create varieties with low Cd accumulation) by selection methods in particular, sunflower, rice, wheat, soybean and maize, is considered in the article. From the other hand, the ability of individual crops and varieties to accumulate of high concentrations of harmful elements in the future can be realized as a separate selection and technological direction for the remediation of agricultural land.

This paper reviews and summarizes the physiological characteristics of uptake, transport and antioxidant response of crops to Cd stress. The differences between them indicate that different crop varieties adopt different adaptation strategies to Cd stress. The characteristics of Cd accumulation in several crops such as sunflower are expounded. Methods to reduce Cd uptake in crops and breeding strategies for low Cd are put forward. Finally, the problems and prospects of low Cd breeding are put forward. In order to further promote the breeding of Cd low accumulation crops, the breeding utilization should be strengthened in the future, too. It will provide important theoretical guidance and ideas for reducing Cd uptake in crops and low Cd breeding in the future.

The relevance of the problem of the cadmium controlling migration along the food chain determines the need of experimental studies, primarily in countries with the dominance of sunflower in the crops area structure.

Key words: sunflower, breeding, Cd absorption, Cd transport, Cd distribution, Cd stress.

DOI <https://doi.org/10.32845/agrobio.2021.4.13>

Introduction. Cadmium (Cd) is a ductile gray heavy metal, located in 12-th group of the fifth period of the periodic table, with atomic number 48 and molecular weight of 112,41 (Morrow, 2010). F. Stromeyer and K.S. Hermann discovered Cd in 1817 while purifying zinc oxide compounds. In the natural environment, Cd rarely exists in the form of elemental. It exists in the soil solution primarily as Cd²⁺ but also as Cd-chelates. The content of Cd in the earth's crust is very low. Throughout the world, the content of Cd in soil ranges from 0,01 to 2 mg kg⁻¹, with an average of 0,35 mg kg⁻¹ (Yang et al., 2010). Due to its strong mobility and high phytoavailability in soil, Cd is readily taken up by plant roots (Chen et al., 2018; Huang et al., 2021; Sahito et al., 2022; Shahid et al., 2017; Yu et al., 2020).

Sunflower (*Helianthus annuus* L.) belongs to the family Asteraceae (Frey et al., 2020). The *Helianthus* genus contains 65 different species of which 14 are annual plants. The sunflower that the most people refer to is *H. annuus*, an annual sunflower. The plant has a rough, hairy stem, broad, coarsely toothed, rough leaves a circular heads of flowers. The heads consist of many individual flowers which mature into seeds on a receptacle base. Sunflower

is the world's fourth largest oil-seed crop and its seed are used as food and its dried stalk as fuel. It is already been used as ornamental plant, too (Benavides et al., 2021; Zhao et al., 2011). Sunflower has a large biomass and shows high tolerance to heavy metals and therefore, are used in phytoremediation studies (Bayat et al., 2021; Benavides et al., 2021; Chae et al., 2014; De Andrade et al., 2018; Tang et al., 2003; Watai et al., 2004).

It is helpful for low Cd crop breeding to study the growth, physiological characteristics of Cd accumulation in plants. In the paper, referring to a large number of domestic and foreign literature the research results on the growth and physiological Cd accumulation in sunflower and other crops were summarized and analyzed, and two aspects of external environmental regulation and internal genetic improvement were proposed to reduce Cd accumulation. It is expected to provide reference for the prevention of soil Cd pollution and the breeding of low Cd grains to ensure the safety of food production and human health.

Cadmium pollution and toxicity. Cd content of 280 mg kg⁻¹ was found in contaminated paddy soils in Thailand (Simmons et al., 2005). Cd levels in topsoil in some areas of northern

France are as high as 300 mg kg⁻¹ (Sterckeman et al., 2000). The total land acreage where soil is above the safety threshold level was 16,1% in China, with Cd, nickel and arsenic being the top three inorganic pollutants, with frequencies of soils above the threshold concentrations being 7,0, 4,8 and 2,7%, respectively. Cd pollution is the most serious. Furthermore, Cd pollution in the soil plough layer in China is increasing at an average rate of 0,004 mg kg⁻¹ per year, which is much higher than the rate in Europe (Luo et al., 2009).

Cd is a toxic heavy metal, excessive Cd in plants will affect the normal physiological functions of plants (Cornu et al., 2020; Dias et al., 2013; He et al., 2017; Jaouani et al., 2018; Lv et al., 2019; Rabêlo et al., 2021). Cd poisons plants in two ways:

1) large amount of free Cd²⁺ accumulates in plant cells, which interferes with the original ion balance and redox potential of the cells, resulting in the obstruction of ion absorption and transport in plant cells, the imbalance of cell osmotic pressure, and damaging normal metabolic process;

2) Cd combines with macromolecular substances such as nucleic acids, proteins, enzymes, etc., or replaces the central ions of these macromolecules, denaturates and inactivates them.

Its incorporation in plants has been reported to induce severe phyto-toxic effects such as it restricts the biosynthesis of chlorophyll (Shahabivand et al., 2017), alters water status (Barcelo & Poschenrieder, 1990), reduces growth, particularly roots, interrupts mineral uptake and carbohydrate metabolism (Wang et al., 2008), encourages stomata closure (Zhu et al., 2020), retards the photosynthetic mechanism (Rabêlo et al., 2021), impairs the process of transpiration (Liñero et al., 2016), respiration and nitrogen assimilation (Wang et al., 2008) and consequently lowers biomass production (Ahmad et al., 2015; Fan et al., 2011; Jaouani et al., 2018; Qian et al., 2009; Wang et al., 2008; Zhou & Qiu, 2005).

Most of the Cd absorbed by the human body comes from the enrichment of the food chains, and selectively accumulates in the kidney (Yang et al., 2010) and liver (Qi et al., 2020). Kidney accumulates up to 1/3 of the total amount and is the target organ of Cd poisoning. Excessive Cd enrichment can cause renal function decline (such as renal tubular cell proliferation, necrosis or atrophy, etc.) and metabolism obstruction (such as glycosuria, proteinuria, amino acid urine) (Reyes-Hinojosa et al., 2019; Templeton & Liu, 2010). Among the Cd poisoning incidents, the most influential one was the "Itai-Itai disease" in the 1960's. Local residents had been eating water and rice polluted by Cd, Cd entered the human body and not be decomposable and accumulate for a long time, which led to joint pain, bone deformity and easily broken bones, and finally death (Aoshima, 2012). Since the itaitaka disease incident in Fukuyama prefecture of Japan was identified as the result of soil Cd pollution in the 1960s (Qi et al., 2020), cases of human Cd poisoning caused by Cd pollution have been reported in other parts of the world (Bakulski et al., 2020; Genchi et al., 2020; Reyes-Hinojosa et al., 2019). Therefore, many countries in the world have formulated limit standards of heavy metals in some fertilizers. How to prevent or mitigate

heavy metal soil pollution of cropland and ensure safe food production has become an important issue in modern world.

Physiological characteristics of Cd accumulation in crops. After Cd enters the root cells, part of the Cd is sequestered in vacuoles in the form of a Cd-plant chelate protein complex (Miyadate et al., 2011; Ueno et al., 2010), while the rest is transported to the xylem; separating Cd into vacuoles is considered to be an effective tolerance mechanism, which reduces Cd transport to the grains (Gao et al., 2016; Xin et al., 2018). Plants can also minimize the concentration of free Cd in the cytosol by forming metal chelates or complexes with phytochelatin or metallothioneins (Saraswat & Rai, 2011). J.J. Hart studied the biological processes in durum wheat of root Cd uptake, xylem Cd translocation to shoots and Cd accumulation in wheat grains; excessive Cd accumulation in durum wheat grains was not correlated with either seedling root influx rates or root-to-shoot translocation, but might be related to phloem-mediated transport of Cd to the grains (Hart et al., 1998)

Cadmium accumulation in rice grains was independent of root uptake time and Cd concentration in soil, but was strongly positively correlated with the Cd concentration in the xylem, with the Cd translocation *via* xylem from root to shoot being the major physiological process to determine the Cd concentration accumulated in rice grains (Shimpei et al., 2009).

T. Kensuke studied the contribution of rice phloem to the transfer of Cd to grains, and showed that 91–100% of Cd in grains was deposited in the phloem (Kensuke et al., 2007).

During reproductive growth, Cd is absorbed from the roots and transported to the grains via stems and leaves. It is deposited in the developing grains (Harris & Taylor, 2013), with the nodes being the central organ where xylem-to-phloem transfer takes place and which play a key role in the process by which Cd is transferred from the soil to the grains at the grain-filling stage.

Plants respond to Cd stress though adjusting their own physiological and biochemical processes, of which the accumulation and subsequent detoxification of reactive oxygen species (ROS) caused by heavy metals is one of the important aspects (Abbas et al., 2020; Chen et al., 2010a; Jan et al., 2021; Saidi et al., 2021; Wu et al., 2015a; Zhang et al., 2020). Cd stress disrupts the dynamic balance between production and quenching of ROS in plants (Lv et al., 2017). Excessive ROS accumulation changes enzyme activity (Hu et al., 2019), disrupts the metabolism of proteins, lipids and nucleic acids (Christophe et al., 2017), results in damage to membrane lipids by peroxidation (Dixit et al., 2001), and inhibits plant growth and development. In order to reduce the oxidative damage caused by the excessive ROS induced by Cd stress, plants have evolved antioxidant enzyme and non-enzyme systems during the long-term phylogenetic process (Liu et al., 2022). Antioxidant responses to Cd stress have been studied in many plant species, such as soybean (Li et al., 2012), wheat (Chen et al., 2017), barley (Chen et al., 2010b), rice (Singh et al., 2020), maize (Rehab & Ibrahim, 2020), rapeseed (Wu et al., 2015b) and millet (Han et al., 2018b).

Cadmium accumulation in crops. Sunflowers were subject to six levels of soil contamination (from 2,5 to 15 mg kg⁻¹ Cd in soil) with no Cd control, from the emergence of the cotyledon leaves until the harvest, when sunflowers were at the flower bud stage. An overall increase of Cd concentration was found in all tissues of the plants (roots, stem, young, mature and old leaves) by increasing the Cd contamination in the soil. Regardless of treatments, Cd concentration in roots always exceeded those in the aboveground dry matter with a low translocation from roots to shoots (Alaboudi et al., 2018; Hawrylak-Nowak et al., 2015; Maria et al., 2013; Sadiq et al., 2019). Regarding Cd accumulation in sunflower seeds, the results indicated that Cd is translocated to seeds, and the cotyledons showed the highest concentration (Cd-high group), ranging from 10 to 20 µg g⁻¹. Considering both total concentration and the distribution in the seeds, Cd uptake is responsible to the homeostasis misbalance of micronutrients (Pessôa et al., 2017). When sunflower was grown hydroponically in greenhouse, being exposed to low concentrations of Cd, there were no significant effects on the partitioning of recent Cd, most of the recent Cd was recovered in roots (60%) and only 2,8% were found in seeds (0,8% for the husk and 2,0% for the almonds) (Liñero et al., 2016).

At present, various crops such as rice (Huang et al., 2021; Pan et al., 2020; Yan et al., 2021), maize (Dakak & Hassan, 2020; El-Hassanin et al., 2020; He et al., 2017), wheat (Ali et al., 2021; Khanboluki et al., 2018; Wang et al., 2020) and cotton (Zhu et al., 2020) have been studied for their Cd tolerance mechanism and low-Cd material screening.

Different crops or cultivars have different Cd accumulation ability in grains. A study showed that *indica* was easier to accumulate Cd than *japonica*, and the Cd content in grains of *indica* rice was 1,84–4,14 times higher than japonica (Kun et al., 2019). The Cd content of *indica* varieties may be higher than the national Cd limit under medium and low Cd contaminated soil conditions (Huiru et al., 2019).

Cd accumulation capacity is different in different organs of the same plant. According to the absorption and transport characteristics of Cd, most of the research results revealed that the order of Cd distribution in organs was basically root > stem > leaf > grain (He et al., 2017; Jun et al., 2020; Zhou & Qiu, 2005). Wen Zhiqi et al. (Wen Zhiqi et al., 2015) studied the characteristics of Cd accumulation in vegetative organs of 10 indica varieties, the results showed that the content of Cd in roots was the highest, was 4–13 times that of leaves, 8–10 times that of cob, and 20–40 times that of grains; During grain-filling, a large amount of Cd in leaves was exported to grains, so there was a high correlation between leaves and grains with a correlation coefficient of 0,769. For different rice varieties, the difference of Cd accumulation in grains mainly occurs in the reproductive stage (Kun et al., 2019), combining with the measures reducing Cd at the early stage of crop growth, carrying out appropriate agronomic measures which reduce the Cd availability in the soil and control the Cd uptake and transport to the grains can effectively reduce the Cd content in grains at the grain-filling stage. Yan et al. (2019) studied the allocation of Cd in wheat organs by isotopic tracer during flowering and grain

maturation stage, and found that when the Cd concentration was high, the proportion of Cd transferred from root to stem and aboveground Cd distributed to grains was also high, and the Cd migrating at the flowering stage accounted for 40–45% of Cd accumulation in grains on average.

Measures of reducing crop Cd accumulation. Appropriate use of traditional agricultural planting methods in Cd-contaminated farmland can not only make use of Cd-overaccumulated plants to remediate the soil, but also produce crops, which meet the national Cd limit standard (El-Hassanin et al., 2020; Kang et al., 2020; Li et al., 2017; Liu et al., 2016; Song et al., 2013; Yan et al., 2021). By properly managing soil moisture and nutrients, and by controlling soil pH and redox potential, farmers can reduce Cd migration from soil to root, helping to decrease Cd accumulation in grains (Hussain et al., 2021; Yuan et al., 2020). Water and fertilizer management has shown some positive effects in reducing the availability of heavy metals in soils (Belhaj et al., 2016; Grant et al., 2013; Murtaza et al., 2015; Zhu et al., 2020); flooding can reduce Cd accumulation in rice, while adding lime can have a similar effect (Han et al., 2018a), although it has been reported that flooding may increase the accumulation of as in crops (Hu et al., 2013; Wang et al., 2015). Showed that film mulch technology could reduce Cd content in rice by 50% compared with the control; when combined with other measures (biochar + silica foliar fertilizer), Cd content in grains could be reduced even further. At present, the effects of factors, applied singly or in combination, on the control of Cd pollution are being studied (Monu et al., 2008; Tang et al., 2020; Zhou et al., 2020), but such studies have not been sufficiently systematic. Due to the complexity and diversity of crop Cd pollution sources, further research still needs to be carried out.

Low Cd breeding. Sunflower is an important cash crop in Ukraine, however, for conditions of Ukraine with average dose of phosphorus fertilizers 60 kg in the soil is introduced annually 30–35 g hectare⁻¹ of Cd. This is the factor that determines a rather high average concentration of Cd in the arable lands of Ukraine, about 0,15 mg kg⁻¹ of soil. But according to EU standards, sunflower Cd accumulation should not be more than 0,05 mg kg⁻¹, therefore, the study on resistance to Cd and low Cd materials selection for sunflower is very important.

Cd accumulation in cereal grains is a serious threat to food safety and human health. Cultivating low-Cd crop varieties is one of the most effective ways to reduce Cd toxicity (Grant et al., 2008a, 2008b; Ishikawa, 2020; Liu et al., 2020; Sun et al., 2015; Zaidlmdad et al., 2018). But there are few reports on the breeding of varieties with low Cd in sunflower. Li Yinming et al. (Li et al., 1995) screened 200 germplasm sunflower resources, and selected two varieties with low Cd accumulation, Primrose and HA290, and two maintain lines, HA323 and RHA324 with medium content of Cd. Two new low Cd varieties HA448 and HA449 were selected by screening the later generation of HA323/HA290. RHA324/Primrose was selected as RHA450 recovery line. The average Cd content of HA448/RHA450 and HA449/RHA450 hybrids was reduced by more than 50% in the three-year experiment from 2000 to 2002 (Miller JF et

al., 2005). Then, he investigated variability of grain Cd levels on sunflower by field experiment, and to seek an efficient screening method for future breeding. The result showed the kite there were large variations in leaf Cd concentration among 200 sunflower lines. The positive correlation between R5 leaf Cd and kernel Cd level was obtained from nonoil-seed hybrid. Indicates that an efficient and low-cost screening method can be developed for genotype selection, but plants must be grown to the R5 stage.

Breeding low Cd accumulation sunflower cultivars is the fundamental method to solve the problem of low Cd intake—the breeding process is long and complicated. The breeding process probably includes:

- Finding materials with low Cd genes;
- Finding materials with high yield, stable yield, resistance to disease and insect pests, wide adaptability and other high quality materials except low Cd characteristics, this materials should be the main cultivars, taking into account other excellent characteristics such as herbicide tolerance, drought and flood resistance, maturity period and so on;
- to understand the genetic characteristics of Cd gene, and to formulate the low Cd hybridization breeding strategy assisted by modern biotechnology;
- evaluate and select hybrid offspring materials, and select new cultivars (lines) with low Cd, high quality and good comprehensive characteristics;
- experimental adaptive planting of new cultivars (lines), observation and evaluation of traits stability.

Except the above problems, there are the following situations. Are the excellent characteristics of the new breeding materials, such as low grain Cd concentration,

stable and acceptable in the move from the laboratory to the test plot and then to the field? Is there an optimal planting region for the low Cd cultivars identified by trialing throughout the growing regions? As a consequence, gene manipulation techniques (e.g., transformation or gene editing) and their application to new cultivar development should be treated with caution and evaluated comprehensively and systematically. Whether such new low Cd cultivars can be successfully developed by breeders, and would have the characteristics allowing them to be widely adopted by farmers, has yet to be confirmed.

Conclusions. Cd pollution affects the growth and reduces the yield and quality of crops, and poses a threat to human health, which have aroused widespread concerns all over the world. In order to reduce the Cd concentration in cereal grains and to ensure safe food production and avoid human health risks, scientists have carried out extensive and in-depth research into the problem of Cd contamination of food crops. Researchers have studied the uptake, transport and accumulation of Cd in crops, analyzed the physiological and metabolic mechanisms operating under Cd stress, and proposed a number of measures to control and prevent Cd accumulation in crops. At present, although the Cd concentrations in the grains of most crops produced in most parts of the world are within the safe tolerable range for human consumption, Cd pollution will become increasingly serious if steps to control Cd pollution are not strictly enacted. Therefore, the need to reduce Cd pollution is urgent, and the basic researches, and its practical applications, related to reducing Cd accumulation in the edible parts of crops, need to be undertaken urgently.

References:

1. Abbas, S., Javed, M.T., Shahid, M., Hussain, I., Haider, M.Z., Chaudhary, H.J., Tanwir, K., & Maqsood, A. (2020). *Acinetobacter* sp. SG-5 inoculation alleviates cadmium toxicity in differentially Cd tolerant maize cultivars as deciphered by improved physio-biochemical attributes, antioxidants and nutrient physiology. *Plant Physiol Biochem*, 155, 815–827.
2. Ahmad, P., Sarwat, M., Bhat, N.A., Wani, M.R., Kazi, A.G., & Tran, L.S. (2015). Alleviation of cadmium toxicity in *Brassica juncea* L. (Czern. & Coss.) by calcium application involves various physiological and biochemical strategies. *PLoS One*, 10 (1), e0114571. doi: 10.1371/journal.pone.0114571.
3. Alaboudi, K.A., Ahmed, B., & Brodie, G. (2018). Phytoremediation of Pb and Cd contaminated soils by using sunflower (*Helianthus annuus*) plant. *Annals of Agricultural Sciences*.
4. Ali, Z., Mohammad, A., Riaz, Y., Shakeel, A., Khan, K.Y., Quraishi, U.M., & Malik, R.N. (2021). Heavy metal phyto-accumulation, biochemical responses and non-carcinogenic human health risks of genetically diverse wheat genotypes cultivated with sewage of municipal origin. *Int J Phytoremediation*, 23(6), 619–631. doi: 10.1080/15226514.2020.1847033.
5. Aoshima, K. (2012). Itai-itai disease: cadmium-induced renal tubular osteomalacia. *Nihon eiseigaku zasshi. Japanese journal of hygiene*, 67 (4).
6. Bakulski, K.M., Seo, Y.A., Hickman, R.C., Brandt, D., Vadari, H.S., Hu, H., & Park, S.K. (2020). Heavy metals exposure and alzheimer's disease and related dementias. *J Alzheimers Dis*, 76 (4), 1215–1242.
7. Barcelo, J., & Poschenrieder, C. (1990). Plant water relations as affected by heavy metal stress: A review. *Journal of Plant Nutrition*, 13 (1).
8. Bayat, M., Faramarzi, A., Ajalli, J., Abdi, M., & Nourafcan, H. (2021). Bioremediation of potentially toxic elements of sewage sludge using sunflower (*Heliantus annus* L.) in greenhouse and field conditions. *Environ Geochem Health*. doi: 10.1007/s10653-021-01018-6.
9. Belhaj, D., Elloumi, N., Jerbi, B., Zouari, M., Abdallah, F.B., Ayadi, H., & Kallel, M. (2016). Effects of sewage sludge fertilizer on heavy metal accumulation and consequent responses of sunflower (*Helianthus annuus*). *Environ Sci Pollut Res Int*, 23 (20), 20168–20177.
10. Benavides, B.J., Drohan, P.J., Spargo, J.T., Maximova, S.N., Guiltinan, M.J., & Miller, D.A. (2021). Cadmium phytoextraction by *Helianthus annuus* (sunflower), *Brassica napus* cv Wichita (rapeseed), and *Chrysopogon zizanioides* (vetiver). *Chemosphere*, 265, 129086.
11. Chae, M.J., Jung, G.B., Kang, S.S., Kong, M.S., Kim, Y.H., & Lee, D.B. (2014). Evaluation of the Feasibility of Phytoremediation of Soils Contaminated with Cd, Pb and Zn using Sunflower, Corn and Castor plants. *Korean journal of soil science and fertilizer*.

12. Chen, F., Wang, F., Wu, F., Mao, W., Zhang, G., & Zhou, M. (2010a). Modulation of exogenous glutathione in antioxidant defense system against Cd stress in the two barley genotypes differing in Cd tolerance. *Plant Physiol Biochem*, 48 (8), 663–672. doi: 10.1016/j.plaphy.2010.05.001.
13. Chen, F., Wang, F., Wu, F.B., Mao, W.H., Zhang, G.P., & Zhou, M.X. (2010b). Modulation of exogenous glutathione in antioxidant defense system against Cd stress in the two barley genotypes differing in Cd tolerance. *Plant Physiology and Biochemistry*, 48 (8), 663–672. doi: 10.1016/j.plaphy.2010.05.001.
14. Chen H., Yang Y., Ye Y., Tao L., Fu X., Liu B., Wu Y. (2019). Differences in cadmium accumulation between indica and japonica rice cultivars in the reproductive stage. *Ecotoxicology and environmental safety*, 186: 109795.
15. Chen, H., Zhang, W., Yang, X., Wang, P., McGrath, S.P., & Zhao, F.J. (2018). Effective methods to reduce cadmium accumulation in rice grain. *Chemosphere*, 207, 699–707. doi: 10.1016/j.chemosphere.2018.05.143.
16. Chen, Y.P., Chen, D., & Liu, Q. (2017). Exposure to a magnetic field or laser radiation ameliorates effects of Pb and Cd on physiology and growth of young wheat seedlings. *Journal of photochemistry and photobiology*, 169, 171–177. doi: 10.1016/j.jphotobiol.2017.03.012.
17. Christophe, L., Michiel, H., Jaco, V., Marijke, G., Els, K., & Ann, C. (2017). Reciprocal interactions between cadmium-induced cell wall responses and oxidative stress in plants. *Frontiers in plant science*, 8, 1867.
18. Cornu, J.Y., Bussi re, S., Coriou, C., Robert, T., Maucourt, M., Deborde, C., Moing, A., & Nguyen, C. (2020). Changes in plant growth, Cd partitioning and xylem sap composition in two sunflower cultivars exposed to low Cd concentrations in hydroponics. *Ecotoxicol Environ Saf*, 205, 111145.
19. Dakak, R.A.E., & Hassan, I.A. (2020). The alleviative effects of salicylic acid on physiological indices and defense mechanisms of maize (*Zea Mays* L. Giza 2) stressed with cadmium. *Environmental Processes: An International Journal*, 7 (3).
20. De Andrade, L.C., Andrezza, R., & de Oliveira Camargo, F.A. (2018). Cultivation of sorghum and sunflower in soils with amendment of sludge from industrial landfill. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*.
21. Dias, M.C., Monteiro, C., Moutinho-Pereira, J., Correia, C., Goncalves, B., & Santos, Concei o. (2013). Cadmium toxicity affects photosynthesis and plant growth at different levels. *Acta Physiologiae Plantarum*, 35 (4).
22. Dixit, V., Pandey, V., & Shyam, R. (2001). Differential antioxidative responses to cadmium in roots and leaves of pea (*Pisum sativum* L. cv. Azad). *J Exp Bot*, 52(358), 1101–1109. doi: 10.1093/jexbot/52.358.1101.
23. El-Hassanin, A.S., Samak, M.R., Abdel-Rahman, G.N., Abu-Sree, Y.H., & Saleh, E.M. (2020). Risk assessment of human exposure to lead and cadmium in maize grains cultivated in soils irrigated either with low-quality water or freshwater. *Toxicol Rep*, 7, 10–15. doi: 10.1016/j.toxrep.2019.11.018.
24. Fan, J.L., Wei, X.Z., Wan, L.C., Zhang, L.Y., Zhao, X.Q., Liu, W.Z., Hao, H.Q., & Zhang, H.Y. (2011). Disarrangement of actin filaments and Ca²⁺ gradient by CdCl₂ alters cell wall construction in *Arabidopsis thaliana* root hairs by inhibiting vesicular trafficking. *J Plant Physiol*, 168 (11), 1157–1167.
25. Frey, M., Klaiber, I., Conrad, J., & Spring, O. (2020). *CYP71BL9*, the missing link in costunolide synthesis of sunflower. *Phytochemistry*, 177, 112430.
26. Gao, L., Chang, J.D., Chen, R.J., Li, H.B., Lu, H.F., Tao, L.X., & Xiong, J. (2016). Comparison on cellular mechanisms of iron and cadmium accumulation in rice: prospects for cultivating Fe-rich but Cd-free rice. *Rice (NY)*, 9 (1), 39. doi: 10.1186/s12284-016-0112-7.
27. Genchi, G., Sinicropi, M.S., Lauria, G., Carocci, A., & Catalano, A. (2020). The Effects of Cadmium Toxicity. *Int J Environ Res Public Health*, 17 (11).
28. Grant, C., Flaten, D., Tenuta, M., Malhi, S., & Akinremi, W. (2013). The effect of rate and Cd concentration of repeated phosphate fertilizer applications on seed Cd concentration varies with crop type and environment. *Plant and Soil*, 372 (1–2), 221–233.
29. Grant, C.A., Clarke, J.M., Duguid, S., & Chaney, R.L. (2008a). Selection and breeding of plant cultivars to minimize cadmium accumulation. *Sci Total Environ*, 390 (2–3), 301–310. doi: 10.1016/j.scitotenv.2007.10.038.
30. Grant, C.A., Clarke, J.M., Duguid, S., & Chaney, R.L. (2008b). Selection and breeding of plant cultivars to minimize cadmium accumulation. *The Science of the total environment*, 390 (2–3), 301–310.
31. Han, X.Q., Xiao, X.Y., Guo, Z.H., Xie, Y.H., Zhu, H.W., Peng, C., & Qin, L.Y. (2018a). Release of cadmium in contaminated paddy soil amended with NPK fertilizer and lime under water management. *Ecotoxicol Environ Saf*, 159, 38–45. doi: 10.1016/j.ecoenv.2018.04.049.
32. Han, Y.S., Wu, M.Y., Hao, L.H., & Yi, H.L. (2018b). Sulfur dioxide derivatives alleviate cadmium toxicity by enhancing antioxidant defence and reducing Cd²⁺ uptake and translocation in foxtail millet seedlings. *Ecotoxicol Environ Saf*, 157. doi: 10.1016/j.ecoenv.2018.03.084.
33. Harris, N.S., & Taylor, G.J. (2013). Cadmium uptake and partitioning in durum wheat during grain filling. *BMC Plant Biol*, 13, 103.
34. Hart, J.J., Welch, R.M., Norvell, W.A., Sullivan, L.A., & Kochian, L.V. (1998). Characterization of cadmium binding, uptake, and translocation in intact seedlings of bread and durum wheat cultivars. *Plant Physiol*, 116 (4), 1413–1420.
35. Hawrylak-Nowak, B., Dresler, S., & Matraszek, R. (2015). Exogenous malic and acetic acids reduce cadmium phytotoxicity and enhance cadmium accumulation in roots of sunflower plants. *Plant Physiol Biochem*, 94, 225–234.
36. He, Y., Yang, Z., Li, M., Jiang, M., Zhan, F., Zu, Y., Li, T., & Zhao, Z. (2017). Effects of a dark septate endophyte (DSE) on growth, cadmium content, and physiology in maize under cadmium stress. *Environ Sci Pollut Res Int*, 24 (22), 18494–18504. doi: 10.1007/s11356-017-9459-6.
37. Hu, P.J., Huang, J.X., Ouyang, Y.N., Wu, L.H., Song, J., Wang, S.F., Li, Z., Han, C.L., Zhou, L.Q., Huang, Y.J., Luo, Y.M., & Christie, P. (2013). Water management affects arsenic and cadmium accumulation in different rice cultivars. *Environmental Geochemistry and Health*, 35 (6), 767–778.

38. Hu, Y., Lu, L.L., Tian, S.K., Li, S.M., Liu, X.X., Gao, X.Y., Zhou, W.W., & Lin, X.Y. (2019). Cadmium-induced nitric oxide burst enhances Cd tolerance at early stage in roots of a hyperaccumulator *Sedum alfredii* partially by altering glutathione metabolism. *Science of the Total Environment*, 650 (P2), 2761–2770. doi: 10.1016/j.scitotenv.2018.09.269.
39. Huang, B.Y., Zhao, F.J., & Wang, P. (2021). The relative contributions of root uptake and remobilization to the loading of Cd and As into rice grains: Implications in simultaneously controlling grain Cd and As accumulation using a segmented water management strategy. *Environ Pollut*, 293, 118497.
40. Hussain, B., Umer Muhammad, J., Li, J.M., Ma, Y.B., Abbas, Y., Ashraf Muhammad, N., Tahir, N., Ullah, A., Gogoi, N., & Farooq, M. (2021). Strategies for reducing cadmium accumulation in rice grains. *Journal of Cleaner Production*, 286. doi: 10.1016/J.JCLEPRO.2020.125557.
41. Ishikawa, S. (2020). Mechanisms of cadmium accumulation in rice grains and molecular breeding for its reduction. *Soil Science and Plant Nutrition*, 66 (1), 28–33. doi: 10.1080/00380768.2020.1719806.
42. Jan, A.U., Hadi, F., Shah, A., Ditta, A., Nawaz, M.A., & Tariq, M. (2021). Plant growth regulators and EDTA improve phytoremediation potential and antioxidant response of *Dysphania ambrosioides* (L.) Mosyakin & Clemants in a Cd-spiked soil. *Environ Sci Pollut Res Int*, 28 (32), 43417–43430.
43. Jaouani, K., Karmous, I., Ostrowski, M., Ferjani, E. E., Jakubowska, A., & Chaoui, A. (2018). Cadmium effects on embryo growth of pea seeds during germination: Investigation of the mechanisms of interference of the heavy metal with protein mobilization-related factors. *J Plant Physiol*, 226, 64–76.
44. Jun, L., Wei, H., Aili, M., Juan, N., Hongyan, X., Jingsong, H., Yunhua, Z., & Cuiying, P. (2020). Effect of lychee biochar on the remediation of heavy metal-contaminated soil using sunflower: A field experiment. *Environmental Research*, 188.
45. Kang, Z.M., Zhang, W.Y., Qin, J.H., Li, S., Yang, X., Wei, X., & Li, H.S. (2020). Yield advantage and cadmium decreasing of rice in intercropping with water spinach under moisture management. *Ecotoxicol Environ Saf*, 190 (c), 110102. doi: 10.1016/j.ecoenv.2019.110102.
46. Kensuke, T., Shu, F., Toru, F., Tadakatsu, Y., & Hiroaki, H. (2007). Quantitative estimation of the contribution of the phloem in cadmium transport to grains in rice plants (*Oryza sativa* L.). *Soil Science and Plant Nutrition*, 53 (1), 72–77. doi: 10.1111/j.1747-0765.2007.00116.x.
47. Khanboluki, G., Hosseini, H. M., Holford, P., Moteshare Zadeh, B., & Milham, P.J. (2018). Effect of elevated atmospheric CO₂ concentration on growth and physiology of wheat and sorghum under cadmium stress. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 49 (22), 1–16.
48. Kun, L., Chenliang, C., Yibing, M., Dechun, S., & Jumei, L. (2019). Identification of cadmium bioaccumulation in rice (*Oryza sativa* L.) by the soil-plant transfer model and species sensitivity distribution. *Science of the Total Environment*, 692.
49. Li, H., Luo, N., Li, Y.W., Cai, Q.Y., Li, H.Y., Mo, C.H., & Wong, M.H. (2017). Cadmium in rice: Transport mechanisms, influencing factors, and minimizing measures. *Environmental Pollution*, 224, 622–630.
50. Li, X.M., Zhang, L.H., Li, Y.Y., Ma, L.J., Bu, N., & Ma, C.Y. (2012). Changes in photosynthesis, antioxidant enzymes and lipid peroxidation in soybean seedlings exposed to UV-B radiation and/or Cd. *Plant and Soil*, 352 (1–2), 377–387. doi: 10.1007/s11104-011-1003-8.
51. Li, Y.M., Chaney, R.L., Schneiter, A.A., & Miller, J.F. (1995). Genotype variation in kernel cadmium concentration in sunflower germplasm under varying soil conditions. *Crop Science*, 35 (1).
52. Liñero, O., Cornu, J.Y., Candaudap, F., Pokrovsky, O.S., Bussièrè, S., Coriou, C., Humann-Guillemintot, T., Robert, T., Thunot, S., & Diego, A.D. (2016). Short-term partitioning of Cd recently taken up between sunflowers organs (*Helianthus annuus*) at flowering and grain filling stages: effect of plant transpiration and allometry. *Plant & Soil*, 408 (1–2), 1–19.
53. Liu, C.L., Ding, S.L., Zhang, A.P., Hong, K., Jiang, H.Z., Yang, S.L., Ruan, B.P., Zhang, B., Dong, G.J., Guo, L.B., Zeng, D., Qian, Q., & Gao, Z.Y. (2020). Development of nutritious rice with high zinc/selenium and low cadmium in grains through QTL pyramiding. *Journal of Integrative Plant Biology*, 62 (3), 349–359.
54. Liu, D., Zheng, K., Wang, Y., Zhang, Y., Lao, R., Qin, Z., Li, T., & Zhao, Z. (2022). Harnessing an arbuscular mycorrhizal fungus to improve the adaptability of a facultative metallophytic poplar (*Populus yunnanensis*) to cadmium stress: Physiological and molecular responses. *J Hazard Mater*, 424 (Pt B), 127430.
55. Liu, Y., Liu, K., Li, Y., Yang, W.Q., Wu, F.Z., Zhu, P., Zhang, J., Chen, L.H., Gao, S., & Zhang, L. (2016). Cadmium contamination of soil and crops is affected by intercropping and rotation systems in the lower reaches of the Minjiang River in south-western China. *Environmental Geochemistry and Health*, 38 (3), 811–820.
56. Luo, L., Ma, Y., Zhang, S., Wei, D., & Zhu, Y. G. (2009). An inventory of trace element inputs to agricultural soils in China. *J Environ Manage*, 90 (8), 2524–2530.
57. Lv, W.J., Yang, L.F., Xu, C.F., Shi, Z. q., Shao, J. s., Xian, M., & Chen, J. (2017). Cadmium disrupts the balance between hydrogen peroxide and superoxide radical by regulating endogenous hydrogen sulfide in the root tip of *Brassica rapa*. *Frontiers in Plant Science*, 8, 232. doi: 10.3389/fpls.2017.00232.
58. Lv, X., Fang, Y., Zhang, L., Zhang, W., & Xue, D. (2019). Effects of melatonin on growth, physiology and gene expression in rice seedlings under cadmium stress. *Phyton*, 88 (2), 91–100.
59. Maria, S.D., Puschenreiter, M., & Rivelli, A.R. (2013). Cadmium accumulation and physiological response of sunflower plants to Cd during the vegetative growing cycle. *Plant, Soil and Environment (Czech Republic)*, 59 (6), 254–261.
60. Miyadate, H., Adachi, S., Hiraizumi, A., Tezuka, K., Nakazawa, N., Kawamoto, T., Katou, K., Kodama, I., Sakurai, K., Takahashi, H., Satoh-Nagasawa, N., Watanabe, A., Fujimura, T., & Akagi, H. (2011). OsHMA3, a P1B-type of ATPase affects root-to-shoot cadmium translocation in rice by mediating efflux into vacuoles. *New Phytol*, 189 (1), 190–199.
61. Monu, Arora, Bala, Kiran, Shweta, Rani, Anchal, Rani, Barinder, & Kaur. (2008). Heavy metal accumulation in vegetables irrigated with water from different sources. *Food Chemistry*, 111 (4), 811–815.
62. Morrow, H. (2010). Cadmium and Cadmium Alloys. *Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology*. John Wiley & Sons. pp. 1–36. doi: 10.1002/0471238961.0301041303011818.a01.pub.

63. Murtaza, G., Javed, W., Hussain, A., Wahid, A., Murtaza, B., & Owens, G. (2015). Metal uptake via phosphate fertilizer and city sewage in cereal and legume crops in Pakistan. *Environmental Science and Pollution Research*, 22 (12).
64. Pan, X., Li, Y., Liu, W., Liu, S., Min, J., Xiong, H., Dong, Z., Duan, Y., Yu, Y., & Li, X. (2020). QTL mapping and candidate gene analysis of cadmium accumulation in polished rice by genome-wide association study. *Sci Rep*, 10 (1), 11791.
65. Pessôa, G.S., Lopes Júnior, C.A., Madrid, K.C., & Arruda, M.A.Z. (2017). A quantitative approach for Cd, Cu, Fe and Mn through laser ablation imaging for evaluating the translocation and accumulation of metals in sunflower seeds. *Talanta*, 167, 317–324. doi: 10.1016/j.talanta.2017.02.029.
66. Qi, K., Ren, L., Bai, Z., Yan, J., Deng, X., Zhang, J., Peng, Y., & Li, X. (2020). Detecting cadmium during ultrastructural characterization of hepatotoxicity. *J Trace Elem Med Biol*, 62, 126644.
67. Qian, H., Li, J., Sun, L., Chen, W., Sheng, G.D., Liu, W., & Fu, Z. (2009). Combined effect of copper and cadmium on *Chlorella vulgaris* growth and photosynthesis-related gene transcription. *Aquat Toxicol*, 94 (1), 56–61.
68. Rabêlo, F.H.S., Lavres, J., Pinto, F. A., & Alleoni, L.R.F. (2021). Photosynthetic parameters and growth of rice, lettuce, sunflower and tomato in an entisol as affected by soil acidity and bioaccumulation of Ba, Cd, Cu, Ni, and Zn. *Arch Environ Contam Toxicol*, 81 (1), 91–106.
69. Rehab, A.E.D., & Ibrahim, A.H. (2020). The Alleviative Effects of Salicylic Acid on Physiological Indices and Defense Mechanisms of Maize (*Zea Mays* L. Giza 2) Stressed with Cadmium. *Environmental Processes: An International Journal*, 7 (3), 873–884. doi: 10.1007/s40710-020-00448-1.
70. Reyes-Hinojosa, D., Lozada-Pérez, C.A., Zamudio Cuevas, Y., López-Reyes, A., Martínez-Nava, G., Fernández-Torres, J., Olivos-Meza, A., Landa-Solis, C., Gutiérrez-Ruiz, M.C., Rojas Del Castillo, E., & Martínez-Flores, K. (2019). Toxicity of cadmium in musculoskeletal diseases. *Environ Toxicol Pharmacol*, 72, 103219. doi: 10.1016/j.etap.2019.103219.
71. Sadiq, R., Maqbool, N., Bader-Un-Nisa, ensp, Parveen, K., & Hussain, M. (2019). Vulnerability of sunflower germination and metal translocation under heavy metals contamination. *American Journal of Plant Sciences*, 10 (5).
72. Sahito, Z.A., Zehra, A., Chen, S., Yu, S., Tang, L., Ali, Z., Hamza, S., Irfan, M., Abbas, T., He, Z., & Yang, X. (2022). Rhizobium rhizogenes-mediated root proliferation in Cd/Zn hyperaccumulator *Sedum alfredii* and its effects on plant growth promotion, root exudates and metal uptake efficiency. *J Hazard Mater*, 424 (Pt B), 127442. doi: 10.1016/j.jhazmat.2021.127442.
73. Saidi, I., Guesmi, F., Kharbech, O., Hfaiedh, N., & Djebali, W. (2021). Gallic acid improves the antioxidant ability against cadmium toxicity: Impact on leaf lipid composition of sunflower (*Helianthus annuus*) seedlings. *Ecotoxicol Environ Saf*, 210, 111906. doi: 10.1016/j.ecoenv.2021.111906.
74. Saraswat, S., & Rai, J.P.N. (2011). Complexation and detoxification of Zn and Cd in metal accumulating plants. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 10 (4), 327–339. doi: 10.1007/s11157-011-9250-y.
75. Shahabivand, S., Parvaneh, A., & Aliloo, A.A. (2017). Root endophytic fungus *Piriformospora indica* affected growth, cadmium partitioning and chlorophyll fluorescence of sunflower under cadmium toxicity. *Ecotoxicol Environ Saf*, 145.
76. Shahid, M., Dumat, C., Khalid, S., Niazi, N. K., & Antunes, P.M.C. (2017). Cadmium bioavailability, uptake, toxicity and detoxification in soil-plant system. *rev environ contam toxicol*, 241, 73–137. doi: 10.1007/398_2016_8.
77. Shimpei, U., Shinsuke, M., Masato, K., Akira, K., Tomohito, A., & Satoru, I. (2009). Root-to-shoot Cd translocation via the xylem is the major process determining shoot and grain cadmium accumulation in rice. *Journal of Experimental Botany*, 60 (9).
78. Simmons, R.W., Pongsakul, P., Saiyasitpanich, D., & Klinphoklap, S. (2005). Elevated levels of cadmium and zinc in paddy soils and elevated levels of cadmium in rice grain downstream of a zinc mineralized area in Thailand: implications for public health. *Environ Geochem Health*, 27 (5–6), 501–511.
79. Singh, P., Singh, I., & Shah, K. (2020). Alterations in antioxidative machinery and growth parameters upon application of nitric oxide donor that reduces detrimental effects of cadmium in rice seedlings with increasing days of growth. *South African Journal of Botany*, 131 (c), 283–294.
80. Song, W., Chen, B. M., & Liu, L. (2013). Soil heavy metal pollution of cultivated land in China. *Research of Soil and Water Conservation*.
81. Sterckeman, T., Douay, F., Proix, N., & Fourrier, H. (2000). Vertical distribution of Cd, Pb and Zn in soils near smelters in the North of France. *Environ Pollut*, 107 (3), 377–389. doi: 10.1016/s0269-7491(99)00165-7.
82. Sun, H., Chen, Z. H., Chen, F., Xie, L., Zhang, G., Vincze, E., & Wu, F. (2015). DNA microarray revealed and RNAi plants confirmed key genes conferring low Cd accumulation in barley grains. *BMC Plant Biol*, 15, 259.
83. Tang, L., Hamid, Y., Zehra, A., Shohag, M.J.I., He, Z.L., & Yang, X.E. (2020). Endophytic inoculation coupled with soil amendment and foliar inhibitor ensure phytoremediation and argo-production in cadmium contaminated soil under oilseed rape-rice rotation system. *Science of the Total Environment*, 748.
84. Tang, S., Xi, L., Zheng, J., & Li, H. (2003). Response to elevated CO₂ of Indian mustard and sunflower growing on copper contaminated soil. *Bull Environ Contam Toxicol*, 71 (5), 988–997. doi: 10.1007/s00128-003-0224-9.
85. Templeton, D.M., & Liu, Y. (2010). Multiple roles of cadmium in cell death and survival. *Chem Biol Interact*, 188 (2), 267–275.
86. Ueno, D., Yamaji, N., Kono, I., Huang, C.F., Ando, T., Yano, M., & Ma, J.F. (2010). Gene limiting cadmium accumulation in rice. *Proc Natl Acad Sci USA*, 107 (38), 16500–16505. doi: 10.1073/pnas.1005396107.
87. Wang, C., Zhang, Y., Liu, Y., Xu, H., Zhang, T., Hu, Z., Lou, L., & Cai, Q. (2020). Ectopic expression of wheat aquaglyceroporin *TaNIP2;1* alters arsenic accumulation and tolerance in *Arabidopsis thaliana*. *Ecotoxicol Environ Saf*, 205.
88. Wang, L., Zhou, Q., Ding, L., & Sun, Y. (2008). Effect of cadmium toxicity on nitrogen metabolism in leaves of *Solanum nigrum* L. as a newly found cadmium hyperaccumulator. *J Hazard Mater*, 154 (1–3), 818–825.
89. Wang, M.E., Peng, C., & Chen, W.P. (2015). Effects of rice cultivar and typical soil improvement measures on the uptake of Cd in rice grains. *Environmental Science and Pollution Research*, 36 (11), 4283–4290.

90. Watai, H., Miyazaki, T., Fujikawa, T., & Mizoguchi, M. (2004). Phytoremediation of soils contaminated by cadmium. *Masui the Japanese Journal of Anesthesiology*.
91. Wu, Z., Zhao, X., Sun, X., Tan, Q., Tang, Y., Nie, Z., Qu, C., Chen, Z., & Hu, C. (2015a). Antioxidant enzyme systems and the ascorbate-glutathione cycle as contributing factors to cadmium accumulation and tolerance in two oilseed rape cultivars (*Brassica napus* L.) under moderate cadmium stress. *Chemosphere*, 138, 526–536. *Chemosphere*, 2015.06.080.
92. Wu, Z.C., Zhao, X.H., Sun, X.C., Tan, Q.L., Tang, Y.F., Nie, Z.J., Qu, C.J., Chen, Z.X., & Hu, C.X. (2015b). Antioxidant enzyme systems and the ascorbate -glutathione cycle as contributing factors to cadmium accumulation and tolerance in two oilseed rape cultivars (*Brassica napus* L.) under moderate cadmium stress. *Chemosphere*, 138, 526–536.
93. Xin, J.P., Zhang, Y., & Tian, R.N. (2018). Tolerance mechanism of *Triarrhena sacchariflora* (Maxim.) Nakai. seedlings to lead and cadmium: Translocation, subcellular distribution, chemical forms and variations in leaf ultrastructure. *Ecotoxicol Environ Saf*, 165, 611–621.
94. Yan B.F., Nguyen C., Pokrovsky O.S., Candaudap F., Coriou C., Bussi re S., Robert T., Cornu J.Y. (2019): Cadmium allocation to grains in durum wheat exposed to low Cd concentrations in hydroponics. *Ecotoxicology and environmental safety*, 184: 109592.
95. Yan, Y., Sun, Q., Yang, J., Zhang, X., & Guo, B. (2021). Source attributions of Cadmium contamination in rice grains by Cadmium isotope composition analysis: A field study. *Ecotoxicol Environ Saf*, 210, 111865.
96. Yang, J., Guo, H., Ma, Y., Wang, L., Wei, D., & Hua, L. (2010). Genotypic variations in the accumulation of Cd exhibited by different vegetables. *J Environ Sci (China)*, 22 (8), 1246–1252. doi: 10.1016/s1001-0742(09)60245-x.
97. Yu, H., Wu, Y., Huang, H., Zhan, J., Wang, K., & Li, T. (2020). The predominant role of pectin in binding Cd in the root cell wall of a high Cd accumulating rice line (*Oryza sativa* L.). *Ecotoxicol Environ Saf*, 206, 111210.
98. Yuan, K., Wang, C. R., Zhang, C.B., Huang, Y.C., Wang, P.P., & Liu, Z.Q. (2020). Rice grains alleviate cadmium toxicity by expending glutamate and increasing manganese in the cadmium contaminated farmland. *Environmental Pollution*, 262, 114236. doi: 10.1016/j.envpol.2020.114236.
99. ZaidImdad, U., Zheng, X., & Li, X.F. (2018). Breeding Low-Cadmium Wheat: Progress and Perspectives. *Agronomy*, 8 (11), 249–249.
100. Zhang, F.G., Xiao, X., & Wu, X.M. (2020). Physiological and molecular mechanism of cadmium (Cd) tolerance at initial growth stage in rapeseed (*Brassica napus* L.). *Ecotoxicol Environ Saf*, 197 (c), 110613.
101. Zhao, G., Zhong, P., Chen, X., Liu, L., Li, J., & Zhao, C. (2011). Recent Progress and the Development Strategy of Sunflower in China. *Agricultural Engineering*.
102. Zhou, W., & Qiu, B. (2005). Effects of cadmium hyperaccumulation on physiological characteristics of *Sedum alfredii* Hance (Crassulaceae). *Plant Science*, 169 (4).
103. Zhou, Y.M., Long, S.S., Li, B.Y., Huang, Y.Y., Li, Y.J., Yu, J.Y., Du, H.H., Khan, S., & Lei, M. (2020). Enrichment of cadmium in rice (*Oryza sativa* L.) grown under different exogenous pollution sources. *Environ Sci Pollut Res Int*, 27 (35), 44249–44256. doi: 10.1007/s11356-020-10282-5.
104. Zhu, Y., Wang, H., Lv, X., Zhang, Y., & Wang, W. (2020). Effects of biochar and biofertilizer on cadmium-contaminated cotton growth and the antioxidative defense system. *Sci Rep*, 10 (1), 20112.

Фу Юаньчжи, аспірант, Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна

Троценко Володимир Іванович, доктор сільськогосподарських наук, професор, Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна

Шляхи контролю накопичення кадмію в соняшнику й інших культурах: огляд

Стійким трендом останнього століття є збільшення загальної концентрації небезпечних для здоров'я елементів та їх сполук у землях сільськогосподарського використання. Наслідок цього процесу – зростання вимог до якості врожаю й активізація досліджень, спрямованих на формування теоретичного базису та пошук практичних шляхів вирішення цієї проблеми.

Розвиток промисловості та збільшення виробництва синтетичних добрив зумовлюють зростання ризиків, пов'язаних з отриманням неякісних продуктів харчування, їхнього впливу на здоров'я людей. Кадмій є одним з основних елементів, що викликають забруднення сільськогосподарських угідь. Одним із шляхів зменшення негативного впливу цього важкого металу у трофічних ланцюгах є створення сортів із низьким рівнем накопичення кадмію. Широкий спектр досліджень, пов'язаних із контролем розповсюдження металу, пояснюється стійкою тенденцією до розширення площі забруднених земель та зростання середнього показника вмісту кадмію в орних ґрунтах. Можливість селекційного вирішення цієї проблеми нині розглядається для таких культур, як соняшник, рис, пшениця, соя, низки інших. На противагу цьому, здатність окремих культур і сортів до накопичення високих концентрацій шкідливих елементів у перспективі може бути реалізована як окремий селекційний та технологічний напрям для ремедіації орних земель.

У статті розглянуті особливості поглинання, транспортування й інших фізіологічних процесів, пов'язаних із накопиченням кадмію в сільськогосподарській продукції. Проаналізовано відмінності у стратегії адаптації рослин до кадмієвого стресу. На прикладі соняшнику наведено характеристики шляхів надходження та накопичення кадмію в окремих органах рослин. З метою подальшого сприяння вирощуванню культур із низькою здатністю до поглинання металу в майбутньому варто посилити використання можливостей селекційного процесу. Важливо розробити теоретичну основу й окреслити практичні шляхи щодо зменшення поглинання кадмію сільськогосподарськими культурами, успішної селекції на здатність до низької акумуляції цього металу. Запропоновано методи зниження поглинання цього елемента культурами, проаналізовано стратегії селекції на здатність рослин до низької акумуляції кадмію. Висвітлено селекційні перспективи створення сортів із низьким рівнем накопичення кадмію.

Актуальність проблеми контролю міграції кадмію за харчовим ланцюгом зумовлює необхідність проведення експериментальних досліджень, насамперед у країнах з домінуванням культури соняшнику у структурі посівних площ.

Ключові слова: соняшник, селекція, поглинання кадмію, транспорт кадмію, розподіл кадмію, кадмієвий стрес.

Date of receipt: 08.12.2021.

SOIL CHEMICAL PROPERTIES AND PHYTODIVERSITY OF RIPARIAN FOREST LAND NEAR NANWAN LAKE

Yan Tengfei

PhD Student

Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine,
Henan institute of science and technology, Xinxiang, Henan, China,
Xinyang agriculture and forest university, Xinyang, Henan, China
ORCID: 0000-0002-8360-3776
yantengfei@xyafu.edu.cn

Kremenetska Yevheniia Oleksiivna

PhD (Agricultural Sciences), Associate Professor

Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine

ORCID: 0000-0001-5581-7868

e.kremenetska@gmail.com

Wan Shibin

Bachelor, Deputy Senior Engineer

Nanwan national forest farm, Xinyang, Henan, China

ORCID: 0000-0003-1513-9876

wanshibin@163.com

Hu Qiang

Master degree, Teaching-Assistant

Xinyang agriculture and forest university, Xinyang, Henan, China

ORCID: 0000-0001-9842-866X

371164191@qq.com

He Songlin

Doctorial Tutor, Professor

Henan institute of science and technology, Xinxiang, Henan, China

ORCID: 0000-0001-6196-3626

hsl213@yeah.net

The riparian zone of reservoir is a spatially fluctuating ecotone (between terrestrial and aquatic ecosystems) and is an important area for nutrients' circulation and materials' flow. Riparian forest plays an important role in the stability of riparian habitat. As yet, the relationship between soil chemical properties and biodiversity of riparian forest near reservoir has not been thoroughly elaborated. In this study, we analyzed the soil chemical properties (total nitrogen and carbon, available phosphorous and kalium) and community structure characteristics of trees (diameter at breast height, tree height, canopy width), shrubs and herbaceous (Shannon diversity index, Simpson dominance index, species richness index, Pielou uniformity index) in the riparian forest land at the tail section that is a part of Nanwan lake reservoir in China. Results showed that the structure of riparian forest near reservoir of Nanwan lake represents a stable community. There was no significant difference in soil chemical properties and vegetation biodiversity between the type of centre's island and the type of peninsula. The range of the nutrients' content in forest land (near Nanwan lake reservoir), respectively, is: total carbon (TC) – 7,8–19,5 g/kg, total nitrogen (TN) – 0,72–1,49 g/kg, available phosphorous (AP) – 1,89–3,83 mg/kg, available kalium (AK) – 48,0–100,5 mg/kg. The soil pH value of the riparian forest land near Nanwan Lake reservoir is low due to strong acid reaction, so the toxic effects of aluminum should be considered. In the RDA analysis, the first axis is explained 73,16% of the biodiversity factors of trees, shrubs and herbaceous, and the second axis – 6,48%. The reflection of the presence of shrub-herbaceous layer in the values of the chemical properties of soil is significant: this layer is an important source of soil organic matter in the coastal zone and has a positive effect on soil quality. Therefore, attention should be paid to maintaining the stability of community structure in understory shrub-herbaceous layer.

Key words: Nanwan Lake reservoir, riparian habitat, community structure, Redundancy analysis (RDA).

DOI <https://doi.org/10.32845/agrobio.2021.4.14>

Introduction. Riparian zone is a spatially fluctuating ecotone (between terrestrial and aquatic ecosystems), which has important ecological functions due to specific geographical conditions and seasonal environmental

changes. Reservoir, as an important part of riparian ecosystem, provides important service functions for regional climate stability and ecological benefits, and is also an important place to aquatic tourism (Liu et al., 2018).

As an indispensable part of riparian microenvironment, riparian forest can affect the distribution of light, the input of sediment to the river, the temperature and water quality, and maintain a stable ecological environment (Ring et al., 2018). The periodic impoundment of the reservoir changes the original habitat of the riparian zone, erodes the soil and poses a great threat to the stability of the riparian habitat (Nakamura et al., 1997).

Hydrological environment is the key controlling factor for the formation of riparian habitats. The frequency and intensity of hydraulic erosion have important effects on the configuration of riparian vegetation community structure (Acker et al., 2003). Meanwhile, the fluctuation of water level will affect the structure characteristics of soil aggregates, and ultimately affect the soil nutritional status. E.g. the fluctuation of water level during the flood season will increase the accumulation of soil nutrients, while during the water season will increase the loss of soil nutrients (Fournier et al., 2013).

The coupling relationship between climate-vegetation-soil in different ecosystems has always been the focus of ecological research. Nevertheless, the relationship between forest vegetation structure and soil chemical properties is very complex (Li et al., 2013; Sarah & Rodeh, 2004).

Soil properties and vegetation community structure are interdependent and mutually antagonistic (Gao et al., 2004). At present, it is generally believed that the interaction between vegetation and soil is realized through metabolites such as roots and litters, the dominant species in a floristic composition often determines the development direction of the whole community and the influence of the community on the environmental quality (Cybill et al., 2020).

Vegetation provides soil with organic matter and other nutrient elements through the decomposition of litters, the stoichiometric characteristics and physical properties of soil nutrient elements, such as C/N ratio in turn regulate the decomposition rate and quality of litters (Jiao et al., 2014).

The dry-wet alternate water environment is the main external driving force affecting the characteristics of vegetation community structure and soil properties in riparian zone (Lite et al., 2005). Dramatic changes in the water environment have resulted in a mosaic riparian ecosystem. Vegetation community structure and soil chemical properties show strong heterogeneity, which is also one of the main factors of uncertainty in the study of riparian ecosystem (Liu et al., 2018; Zhang et al., 2021).

At the same time, the structure of riparian forest, the age of forest, the coverage of understory and the succession stage all affect the soil chemical properties, the migration and distribution of nutrient elements (de Souza et al., 2013). Studies have shown that the soil structure of riparian mixed forest has a stronger ability to resist heavy rainfall and runoff (Zhang et al., 2019). The understory vegetation community structure is also a key factor affecting soil organic matter in riparian forest and promoting the stability of forest ecosystem.

Researchers (Nilsson & Wardle, 2005) proposed that boreal forests in Sweden showed that undergrowth is the main driving force of the ecosystem, which affects the composition of forest species in the short term, and the main driving factor

of soil fertility in the long term, affecting nutrient availability and plant growth.

Soil factors had a greater influence on understory vegetation distribution than climate in European beech forests (Weigel et al., 2019). With the development of modern sequencing methods, the individual effects of phytodiversity on soil factors can be quantitatively studied (Ran et al., 2020). However, soil factors that restrict biodiversity may be different in diverse regions. Therefore, revealing the relationship between soil drivers and vegetation biodiversity in riparian forests at a regional scale is of great significance for understanding the structure and function of riparian zone ecosystems.

Nanwan Lake reservoir is a national 4A scenic spot in China. After years of protection and restoration, the riparian zone in this region has formed a stable ecosystem structure. Large-scale afforestation movement in this area was mainly concentrated in the 1960's and 1970's, and the main afforestation species were *Pinus massoniana* Lamb. After a long period of regeneration and succession, the local suitable species of *Quercus dentata* Thunb. and *Quercus acutissima* Carruth. have gradually replaced the dominant position of *P. massoniana*. The upper layer of forest was formed with the main dominant tree species – *Q. dentata* and *P. massoniana*, accompanied by the potential replacement tree species such as *Q. acutissima* and *Pistacia chinensis* Bunge. The understory vegetation was mainly dominated by *Vitex negundo* Linn., *P. chinensis*, *Lindera glauca* (Sieb. et Zucc.) and *Carex breviculmis* R. Br.

With the development of ecological civilization project in China, the riparian forest land of Nanwan Lake reservoir is in the critical period of renewal and succession after many years of enclosure. *P. massoniana* gradually tends to be inferior in the competition, and appears the phenomenon of poor growth and even death. The coupling relationship between biodiversity indices driven by vegetation succession and soil properties dominated by riparian habitats is an important factor that determines the future ecological stability in this region.

The main object of this study was to: 1) Biodiversity characteristics of arbor and shrub-herbaceous community structure and basic state of soil chemical properties in riparian forest land of Nanwan Lake reservoir; 2) Coupling relationship between arbor, shrub-herbaceous biodiversity index and soil chemical properties? Which is the key vegetation factors driving soil properties of riparian zone?

These problems can provide theoretical basis for the stable and scientific management and decision-making of the riparian ecosystem of Nanwan Lake reservoir.

Materials and methods. 1 *Site description.* The study site was located in the vicinity of Nanwan Lake Reservoir (E 114°08', N 32°13') in Xinyang City, in the southern part of Henan Province, China. Xinyang is a transitional region from subtropical zone to warm temperate zone, located at the boundary line of Qinling and Huai River.

The topography is higher in the south than north, with an altitude of 75–300 m. Xinyang has sufficient sunshine, with an average annual sunshine duration of 1900–2100 hours. The annual average temperature is 15.3–15.8°C, and the annual average precipitation ranges from 993 to 1 294 mm.

The relative humidity is 74–78% annually. There are many rivers in this region, belonging to the Yangtze River and the Huai

River, of which the area of the Huai River basin accounts for 98,2% of the city's total area. Xinyang is located on the upper reaches of the Huai River, which traverses the whole territory from west to east.

Due to the influence of special geographical location and climate, the spatial and temporal distribution of rainfall is uneven, and the precipitation varies greatly within and between years. The precipitation mainly concentrates in June to August of the main flood season, and the difference between rich and dry years can be up to 2–3 times.

The region's main forest species community is *P. massoniana*, *Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook., *Q. acutissima*, *Q. dentata*, *P. chinensis*, etc., formed a pure forest or mosaic distribution of these species.

2. Experiment design:

2.1. Vegetation investigation. The experiment was conducted in August 2020, when the canopy leaves of each plant in riparian forest land were fully expanded. In the tail section of Nanwan Lake reservoir, 9 sample plots of arbor forest land near the water area were randomly selected. GPS was used to record the location of the sample plots, and the area of the sample plots was set at 20 m × 15 m. Tree species, DBH (diameter at breast height, > 5cm), tree height, canopy width and other factors were mainly recorded by measuring all trees in the sample plots. Shrub quadrates (5 m × 5 m) were set in the four corners and the center of the plots to record the shrub species name, number of vegetation, shrub high and coverage degree in the quadrat. Herbaceous quadrates (1 m × 1 m) set in the four corners and the center of the plots to record the species name, number of vegetation, average height and coverage in the quadrates. In order to facilitate the analysis, the calculated biodiversity index of shrub quadrates was combined with herbage quadrates.

2.2. Soil sampling. Removed the surface covering of the soil in the four corners and center of the arbor sample plots, used a soil sampler to take the soil samples at a depth of 10 cm, mix the 5 points thoroughly, put them into a self-sealing bag, and take them back to the laboratory for natural air drying in a cool place. After being air-dried, the roots, stones and animal and plant residues were removed, crushed with wooden sticks, and then screened by a 0,25 mm sieve for the determination of soil properties.

Field site on Nanwan Lake reservoir is presented on fig. 1.

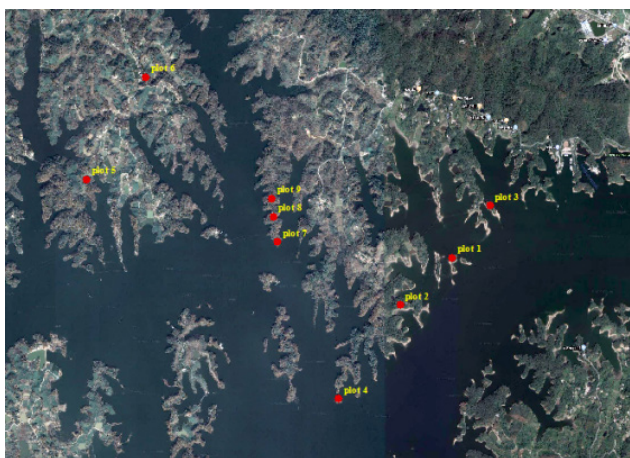


Fig. 1. Field site on Nanwan Lake reservoir

3. Analysis methods:

3.1. Biodiversity index. Biodiversity indicators are mainly reflected by the following indices (Alatalo, 1981; Magurran, 1988):

Simpson dominance index (Simpson): $Simpson = \frac{1}{\sum_{i=1}^S P_i \cdot \ln(P_i)}$.

Shannon size diversity index (Shannon): $Shannon = 1 - \sum_{i=1}^S P_i^2$.

Species richness index: $S = \text{Number of species in sample} / \text{Sample area}$

Pielou uniformity index: $J = Simpson / \ln S$.

$P_i = Ni/N$, where Ni is the number of individuals of the i -th species in the sample, and N is the total number of individuals in the sample.

3.2. Determination of soil chemical properties. The main soil chemical indexes were pH value, total nitrogen (TN), total carbon (TC), available phosphorus (AP) and total kalium (TK). PH value using pH acidity meter method; Soil total carbon (TC) was determined by potassium dichromate oxidation and external heating method. Total nitrogen (TN) was determined by Semi-trace Kjeldahl method. The available phosphorus (AP) was extracted by $NaHCO_3 - Mo - Sb$ anti-colorimetric method. Total kalium (TK) was measured using a flame photometer.

3.3. Data analysis. Cluster analysis was conducted on the data of 9 sample plots (Fig. 2). The clustering results classified sample plots 5, 6, 7 and 9 into one category, and sample plots 1, 2, 3, 4 and 8 into one category. According to the location of the sample plots and the distance from the water area, the results can be classified into two types: central island (plot 1, 2, 3, 4, 8) and peninsula type (plot 5, 6, 7, 9).

In this study, these two categories are used as the basis of data analysis. All data were did Shapiro-Wilk normal distribution test and the logarithmic transformation was used if the data did not meet the normal distribution; used Spearman rank sum test to analyze the correlation between soil chemical properties and vegetation biodiversity; used RDA redundancy analysis to analyze the effects of biodiversity factors on soil chemical properties. Before the RDA analysis, the data was first checked. The Axis length of the first Axis of RDA analysis was 0,2607, which was less than 3, indicating that the data was suitable for linear sorting RDA analysis.

Arbor factors (DBH, height, canopy) and shrub-herbaceous factors (Shannon index, Simpson index) were taken as environmental factors and analyzed the relationship between with soil chemical properties, to determine the explanatory degree of arbor and shrub-herbaceous layer to the soil. All data analysis and mapping were completed using R 4.0.3.

Biodiversity index and RDA analysis were completed using Vegan module in R package.

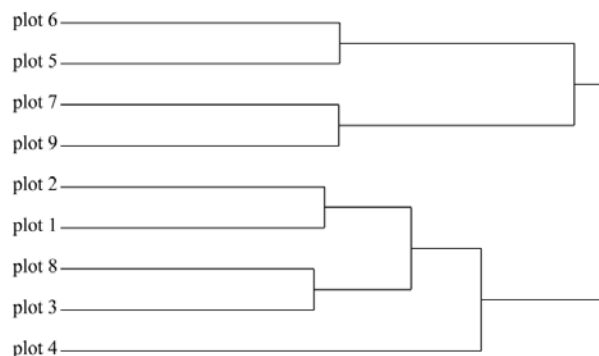


Fig. 2. Cluster analysis results of riparian forest land sample plots in Nanwan Lake reservoir

Results. There was no significant difference in soil chemical properties and phytodiversity (arbor and shrub-herbaceous layers) index between different types of riparian forest land in Nanwan Lake reservoir (Fig. 3, Table 1).

Abbreviations of soil parameters and vegetation biodiversity: RDA (Redundancy analysis), TN (total nitrogen), TC (total carbon), AP (available phosphorus), AK (available kalium), C/N (C/N ratio), DBH (diameter at breast height), Height (tree height), Canopy (crown width), Shannon (Shannon size diversity index), Simpson (Simpson dominance index) (tre1 – central island; tre2 – peninsula type).

Table 1
Soil chemical properties and phytodiversity (arbor and shrub-herbaceous layers) index of riparian forest land of Nanwan Lake reservoir

Indicator	Peninsula type	Central island
TN (g/kg)	0,862 ± 0,051	1,136 ± 0,143
TC (g/kg)	10,16 ± 1,08	14,79 ± 2,22
AP (mg/kg)	3,389 ± 0,368	2,776 ± 0,334
AK (mg/kg)	70,875 ± 8,464	72,900 ± 8,674
PH	3,985 ± 0,099	3,972 ± 0,098
C/N (%)	11,695 ± 0,611	12,839 ± 0,602
DBH (cm)	14,117 ± 2,071	14,174 ± 1,157
Height (m)	11,333 ± 0,638	10,982 ± 0,969
Canopy (m)	2,403 ± 0,411	2,214 ± 0,124
Shannon	2,289 ± 0,120	2,156 ± 0,222
Simpson	0,884 ± 0,014	0,860 ± 0,030
S	11,25 ± 1,315	10,60 ± 2,111
J	0,954 ± 0,005	0,959 ± 0,012

In terms of value, TN, AK and TC content of arbor forest land in the central island were higher than those in the peninsula type (1,14 g/kg, 72,90 mg/kg, and 14,79 g/kg, respectively), which were 1,31, 1,02, 1,46 and 1,46 times of those in the peninsula type.

The values of AP and pH of arbor forest land in the central island were lower than those of the peninsula type (2,78 mg/g and 3,98, respectively), which were 0,92 and 0,99 times of those in the peninsula type.

The DBH of the arbor forest land in the central island was larger than that of the peninsula type, and was 14,17 cm. The values of height and canopy of arbor forest land in the central island were lower than those of the peninsula type (10,98 m and 2,21 m, respectively), which were 0,96 and 0,92 times of those in the peninsula type. Shannon index, Simpson index and S index of arboreal forest in the central island were lower than those of peninsular type (2,156, 0,86 and 10,6, respectively), which were 0,94, 0,97 and 0,94 times of those in the peninsula type.

Simpson index was extremely significant positively correlate with Shannon index and S index (Fig. 4).

In the riparian zone of Nanwan lake Reservoir, soil TN was extremely significantly positively correlated with TC ($P < 0,01$), significantly positively correlated with C/N ratio ($P < 0,5$). Soil AK was significantly positively correlated with Height and DBH ($P < 0,5$). Soil pH was extremely significantly positively correlated with Height ($P < 0,01$), significantly positively correlated with Canopy and DBH ($P < 0,05$). DBH was extremely significantly positively correlated with Height ($P < 0,01$).

In the RDA analysis, the first axis explained 73,16% of the biodiversity factors of arbor and shrub-herbaceous, and the second axis explained 6,48% of the biodiversity factors of arbor and shrub-herbaceous. From the first axis, Canopy, Height and DBH all had strong negative correlation with soil chemical properties (not include AK). From the second axis, Shannon index, Simpson index has a strong negative correlation with Canopy and Height. Canopy, Height and DBH had a strong degree of explanation for the change of soil AK. Shannon index, Simpson index have a strong degree of explanation for the changes of soil AP, TC and TN.

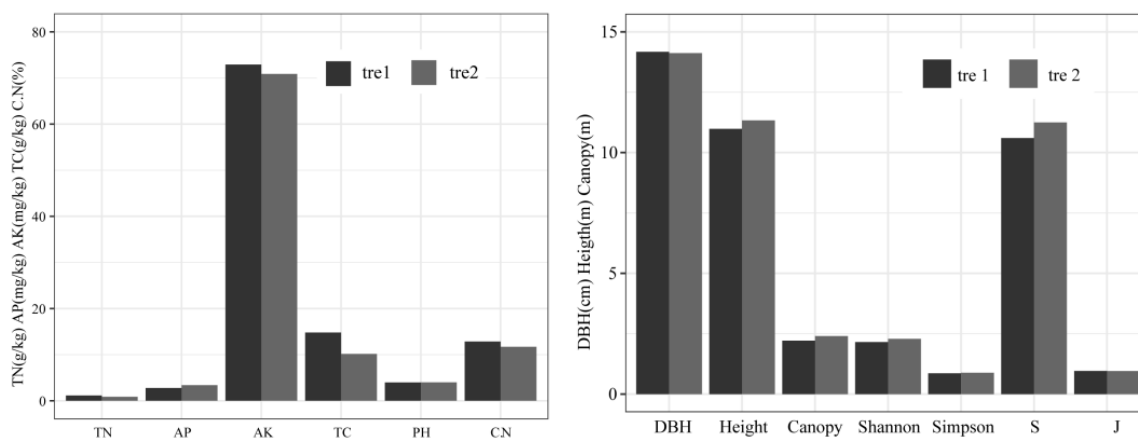


Fig. 3. Soil chemical properties and phytodiversity (arbor and shrub-herbaceous layers) index of riparian forest land of Nanwan Lake reservoir (tre1 – central island; tre2 – peninsula type)

	PH	TN	TC	AP	AK	C.N	DBH	Height	Conpy	Shannon	Simpson	S	J
PH		-0.51	-0.5	-0.44	0.61	-0.37	0.77 *	0.91 **	0.72 *	0.15	0.12	0.16	0.22
TN	-0.51		0.97 **	0.4	-0.21	0.69 *	-0.23	-0.55	-0.52	0.2	0.23	0.17	-0.56
TC	-0.5	0.97 **		0.38	-0.35	0.83 **	-0.27	-0.55	-0.55	0.27	0.28	0.28	-0.62
AP	-0.44	0.4	0.38		-0.36	0.31	-0.03	-0.34	-0.31	0.45	0.52	0.37	-0.46
AK	0.61	-0.21	-0.35	-0.36		-0.61	0.7 *	0.7 *	0.45	0.1	0.14	-0.01	0.33
C.N	-0.37	0.69 *	0.83 **	0.31	-0.61		-0.29	-0.39	-0.59	0.42	0.36	0.51	-0.61
DBH	0.77 *	-0.23	-0.27	-0.03	0.7 *	-0.29		0.8 **	0.65	0.45	0.44	0.41	0.26
Height	0.91 **	-0.55	-0.55	-0.34	0.7 *	-0.39	0.8 **		0.51	0.31	0.29	0.3	0.28
Conpy	0.72 *	-0.52	-0.55	-0.31	0.45	-0.59	0.65	0.51		-0.1	-0.11	-0.12	0.37
Shannon	0.15	0.2	0.27	0.45	0.1	0.42	0.45	0.31	-0.1		0.99 **	0.98 **	-0.53
Simpson	0.12	0.23	0.28	0.52	0.14	0.36	0.44	0.29	-0.11	0.99 **		0.94 **	-0.56
S	0.16	0.17	0.28	0.37	-0.01	0.51	0.41	0.3	-0.12	0.98 **	0.94 **		-0.5
J	0.22	-0.56	-0.62	-0.46	0.33	-0.61	0.26	0.28	0.37	-0.53	-0.56	-0.5	

Fig. 4. Correlation between soil properties and arbor and shrub-herbaceous biodiversity index in Nanwan lake Reservoir

Discussion. 4.1. Soil chemical properties of the riparian forest. Soil properties, as a key ecological factor controlling plant growth and development, are the basic properties and essential characteristics of soil and an important index determining soil fertility and soil quality (Hale et al., 2014; Soares et al., 2020). Soil organic matter (SOM) is the dynamic balance value of ecosystem under specific conditions, which mainly comes from plants, animals, microbial residues and their excretions and secretions, and is in the dynamic process of decomposition and synthesis (Jacobs & Gilliam, 1985).

There is a strong coupling relationship between carbon and nitrogen, and organic matter is the main energy source to drive nitrogen cycling microorganisms (Batlle-Aguilar et al., 2011; Gärdenäs et al., 2011). The C/N ratio of normal decomposition of organic matter by microorganisms is about 25:1, and the organic matter with high C/N ratio is difficult to decompose and mineralize or the speed is slow. In this study, total carbon (TC) content in riparian forest land of Nanwan Lake reservoir was higher than that of grassland and woodland in riparian zone of newly built reservoirs such as Three Gorges reservoir (de Sosa et al., 2018; Ye et al., 2019), this is mainly because the riparian forest land of Nanwan Lake reservoir is a stable ecosystem, and the root turnover and decomposition of surface vegetation and litter have accumulated for a long time, which has stored a large amount of organic matter for the riparian zone.

The content of organic matter in the central island is higher than that in the peninsula type, which may be mainly because the riparian arbor forest land in the central island is less affected by human activities and has accumulated more organic matter. The higher organic matter content can also explain the higher C/N ratio in the riparian arbor forest land of the central island, because the higher organic matter content can promote the activity of microorganisms and promote the mineralization of nitrogen.

At a regional scale, nitrogen deposition has become the main driver of soil acidification. Despite the strong

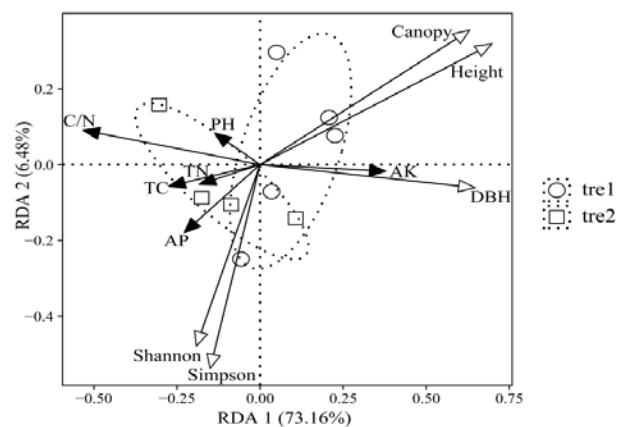


Fig. 5. RDA biplot representing the relationship between phytodiversity (in the riparian arbor forest land near of Nanwan Lake reservoir) and soil chemical properties

buffering capacity of soil, long-term soil acidification will have irreversible effects on the ecosystem. Studies have shown that when the soil pH is lower than 4, a large amount of Al^{3+} will be released to cause aluminum toxicity (Lu et al., 2014; Lu et al., 2015). In this study, the pH values of riparian forest land of Nanwan Lake reservoir is lower than that of other types of riparian zone (Fan et al., 2014; Tripathi & Singh, 2009), and it is strongly acidic soil.

On the one hand, the local background soil is acidic red brown soil. It is mainly due to long-term NO_3^- leaching in riparian arbor forest land, NO_3^- will enter water body along with the surface runoff, resulting in serious acidification of soil. This is also in line with the soil characteristics of long-term stable riparian forest land (Bicalho et al., 2010).

Meanwhile, the long-term nitrogen deposition has also brought serious effects on the local forest soil, and the contribution of this aspect remains to be further studied. It is worth noting that the riparian forest soil

acidification of Nanwan Lake is very serious, the occurrence of aluminum toxicity should be vigilant.

Phosphorus is one of the essential nutrient elements for plant growth and development, and available phosphorus refers to the phosphorus that can be absorbed and utilized by vegetation in the current season. However, a large amount of phosphorus fertilizer will not only lead to the waste of phosphorus fertilizer resources, but also increase the concentration of phosphorus in farmland runoff, and eventually lead to the eutrophication of water bodies (Young & Ross, 2016).

In this study, the available phosphorus (AP) content of peninsula type is higher than that of the central island, which may be mainly because the peninsula type riparian arbor forest land is more affected by human production and livelihood. In the process of phosphorus input from land to water, the peninsula type riparian forest land acted as an effective barrier and absorbed a large amount of phosphorus.

4.2. Structural characteristics of vegetation in riparian zone. Understory vegetation composition is a basic characteristic of the community, and vegetation diversity is an important characteristic of wetland ecosystem, high biodiversity can support a relatively stable ecosystem (Liu et al., 2011; Tripathi & Singh, 2009).

The configuration of forest community structure is the main mechanism driving biodiversity and forest primary productivity in subtropical forest [40] (Zheng et al., 2019). The role of arbor layer in ecological restoration and stability has been widely concerned, and is considered as a restoration approach to maintain the role of riparian ecosystem.

However, the importance of understory shrub-herbaceous vegetation has been widely emphasized in recent years (McClain et al., 2011). Studies have shown that the nutrient elements in herbaceous vegetation are significantly higher than those in woody plants.

Herbaceous layer provides available nitrogen pool for arbor layer, which can effectively compensate for the loss of nitrogen in forest system (Borisade, 2020; Gilliam, 2007). In this study, different types of riparian arbor forest land have no obvious differences in the community structure of arbor layer and shrub-herbaceous layer, which indicates that the riparian zones of Nanwan Lake reservoir are in a relatively stable ecological structure.

4.3. Relationship between soil chemical properties and vegetation biodiversity in riparian forest land. Soil factors are closely related to plant vegetation. Through

the decomposition and release of litter, vegetation can improve the content of soil organic matter, activate the soil, and promote the circulation and absorption of nutrient elements. Meanwhile, soil nutrient elements also determine the succession, and growth of suitable vegetation on the site (Mikkelsen & Vesho, 2000). For example, riparian vegetation influences soil denitrification through both physical and biochemical pathways.

Researchers found that in the study of soil denitrification potential of different vegetation types in Danjiangkou reservoir that planting vegetation with high biomass could effectively improve soil organic matter and denitrification rate (Liu et al., 2011). It is not vegetation biodiversity but vegetation species that determines the change of soil chemical properties (Bouchard et al., 2007). Inhibition of soil biological nitrification also shows distinct promoting and inhibiting performances in different tree species (Laffite et al., 2020).

In this study, shrub-herbaceous layer explained most of the variation of soil chemical properties, and this explanation was mainly contributed by soil organic matter. This indicated that the shrub-herbaceous layer was the main driving force for soil organic matter storage, which may be mainly due to the higher rate of litter decomposition and root turnover in shrub-herbaceous layer, which provided most of the organic matter for soil. The arbor layer mainly contributed more to available potassium (AK).

Conclusions. The vegetation community structure and soil chemical properties in the riparian forest land of Nanwan Lake reservoir are relatively uniform, which is a stable riparian system. There was no significant difference in soil properties and vegetation biodiversity between the central island and peninsula type. It should be noted that the soil pH value in the riparian arbor forest land is generally low, so be alert to the occurrence of aluminum toxicity, which will affect the growth and development of the community in the riparian zone. The contribution of understory shrub-herbaceous layer to soil chemical properties is greater. The shrub-herbaceous layer is an important source of soil organic matter and drives the virtuous cycle of soil system in riparian zone. Therefore, attention should be paid to maintaining the stability of community structure in understory shrub-herbaceous layer.

Acknowledgments:

Funding has been provided by Xinyang Agricultural and Forestry University Science and Technology Innovation Team project (CXTD-201904). We appreciate the assistance provided by Nanwan National Forest Farm.

References:

1. Acker, S.A., Gregory, S.V., Lienkaemper, G., McKee, W.A., Swanson, F., J. & Miller, S.D. (2003). Composition, complexity, and tree mortality in riparian forests in the central Western Cascades of Oregon. *Forest Ecology and Management*, 173 (1–3), 293–308. doi: 10.1016/S0378-1127(02)00005-1.
2. Alatalo, R.V. (1981). Problems in the measurement of evenness in ecology. *Oikos*, 37 (2), 199–204. doi: 10.2307/3544465.
3. Battle-Aguilar, J., Brovelli, A., Porporato, A. & Barry, D.A. (2011). Modelling soil carbon and nitrogen cycles during land use change. *Sustainable Agriculture Volume 2*, Springer, Dordrecht. DOI: 10.1007/978-94-007-0394-0_23.
4. Bicalho, S.T.T., Langenbach, T., Rodrigues, R.R., Correia, F.V., Hagler, A.N., Matallo, M.B. & Luchini, L.C. (2010). Herbicide distribution in soils of a riparian forest and neighboring sugar cane field. *Geoderma*, 158 (3–4), 392–397. doi: 10.1016/j.geoderma.2010.06.008.

5. Borisade, T.V. (2020). Nutrient status in herbaceous layer of riparian forests in Southwestern, Nigeria. *Tropical Ecology*, 61, 589–593. Doi: 10.1007/s42965-020-00105-6.
6. Bouchard, V., Frey, S.D., Gilbert, J.M. & Reed, S.E. (2007). Effects of macrophyte functional group richness on emergent freshwater wetland functions. *Ecology*, 88 (11), 2903–2914. Doi: 10.1890/06-1144.1.
7. Cybill, S., Soraya, R., Jean-Nicolas, B., Laurent, H., Nicolas, P. & Isabelle, C. (2020). Ecological implications of the replacement of native plant species in riparian systems: unexpected effects of *Reynoutria japonica* Houtt. leaf litter. *Biological Invasions*, 22, 1917–1930. Doi: 10.1007/s10530-020-02231-7.
8. de Sosa, L. L., Glanville, H.C., Marshall, M.R., Williams, A.P. & Jones, D.L. (2018). Quantifying the contribution of riparian soils to the provision of ecosystem services. *Science of The Total Environment*, 624, 807–819. Doi: 10.1016/j.scitotenv.2017.12.179.
9. de Souza, A.L.T., Fonseca, D.G., Libório, R.A. & Tanaka, M.O. (2013). Influence of riparian vegetation and forest structure on the water quality of rural low-order streams in SE Brazil. *Forest Ecology and Management*, 298, 12–18. Doi: 10.1016/j.foreco.2013.02.022.
10. Fan, J., Wang, J.Y., Hu, X.F. & Chen, F.S. (2014). Seasonal dynamics of soil nitrogen availability and phosphorus fractions under urban forest remnants of different vegetation communities in Southern China. *Urban Forestry & Urban Greening*, 13 (3), 576–585. Doi: 10.1016/j.ufug.2014.03.002.
11. Fournier, B., Guenat, C., Bullinger-Weber, G. & Mitchell, E.A.D. (2013). Spatio-temporal heterogeneity of riparian soil morphology in a restored floodplain. *Hydrology and Earth System Sciences*, 17 (10), 4031–4042. Doi: 10.5194/hess-17-4031-2013.
12. Gårdenäs, A.I., Ågren, G.I., Bird, J.A., Clarholm, M., Hallin, S., Ineson, P., Kätterer, T., Knicker, H., Nilsson, S.I., Näsholm, T., Ogle, S., Paustian, K., Persson, T. & Stendahl, J. (2011). Knowledge gaps in soil carbon and nitrogen interactions—From molecular to global scale. *Soil Biology and Biochemistry*, 43 (4), 702–717. Doi: 10.1016/j.soilbio.2010.04.006.
13. Gao, Y.Z., Wang S.P., Han, X.G., Chen, Q.S., Wang, Y.F., Zhou, Z.Y., Zhang, S.M. & Yang, J. (2004). Soil nitrogen regime and the relationship between aboveground green phytobiomass and soil nitrogen fractions at different stocking rates in the Xilin river basin, Inner Mongolia. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 28 (3), 285–294. Doi: 10.17521/cjpe.2004.0042.
14. Gilliam, F.S. (2007). The ecological significance of the herbaceous layer in temperate forest ecosystems. *Bioscience*, 57 (10), 845–858. Doi: 10.1641/B571007.
15. Hale, R., Reich, P., Daniel, T., Lake, P.S. & Cavagnaro, T.R. (2014). Scales that matter: guiding effective monitoring of soil properties in restored riparian zones. *Geoderma*, 228–229, 173–181. Doi: 10.1016/j.geoderma.2013.09.019.
16. Jacobs, T.C. & Gilliam, J.W. (1985). Riparian losses of nitrate from agricultural drainage waters. *Journal of Environmental Quality*, 14 (4), 472–478. Doi: 10.2134/jeq1985.00472425001400040004x.
17. Jiao, S.Y., Zhang, M., Wang, Y.M., Liu, J.Q. & Li, Y.Q. (2014). Variation of soil nutrients and particle size under different vegetation types in the Yellow River Delta. *Acta Ecologica Sinica*, 34 (3), 148–153. Doi: 10.1016/j.chnaes.2014.03.003.
18. Laffite, A., Florio, A., Andrianarisoa, K.S., des Chatelliers, C.C., Schloter-Hai, B., Ndaw, S.M., Periot, C., Schloter, M., Zeller, B., Poly, F. & Le Roux, X. (2020). Biological inhibition of soil nitrification by forest tree species affects *Nitrobacter* populations. *Environmental microbiology* 22 (3): 1141–1153. Doi: 10.1111/1462-2920.14905.
19. Li, H., Shen, W., Zou, C., Jiang, J., Fu, L. & She, G. (2013). Spatio-temporal variability of soil moisture and its effect on vegetation in a desertified aeolian riparian ecotone on the Tibetan Plateau, China. *Journal of Hydrology*, 479, 215–225. Doi: 10.1016/j.jhydrol.2012.12.002.
20. Lite, S., Bagstad, K.J. & Stromberg, J.C. (2005). Riparian plant species richness along lateral and longitudinal gradients of water stress and flood disturbance, San Pedro River, Arizona, USA. *Journal of Arid Environments*, 63 (4), 785–813. Doi: 10.1016/j.jaridenv.2005.03.026.
21. Liu, D.S., Zhao, J., Chen, X.B., Li, Y.Y., Weiyan, S.P. & Feng, M. (2018). Dynamic processes of hyporheic exchange and temperature distribution in the riparian zone in response to dam-induced water fluctuations. *Geosciences Journal*, 22 (3), 1–11. Doi: 10.1007/s12303-017-0065-x.
22. Liu, W.Z., Liu, G.H. & Zhang, Q.F. (2011). Influence of vegetation characteristics on soil denitrification in shoreline wetlands of the Danjiangkou Reservoir in China. *Clean – Soil, Air, Water*, 39 (20), 109–115. Doi: 10.1002/clen.200900212.
23. Lu, X.K., Mao, Q.G., Gilliam, F.S., Luo, Y.Q. & Mo, J.M. (2014). Nitrogen deposition contributes to soil acidification in tropical ecosystems. *Global Change Biology*, 20 (12): 3790–3801. Doi: 10.1111/gcb.12665.
24. Lu, X.K., Mao, Q.G., Mo, J.M., Gilliam, F.S., Zhou, G.Y., Luo, Y.Q., Zhang, W. & Huang, J. (2015). Divergent responses of soil buffering capacity to long-term N deposition in three typical tropical forests with different land-use history. *Environmental science & technology*, 49 (7), 4072–4080. Doi: 10.1021/es5047233.
25. Magurran, A.E. (1988). *Ecological diversity and its measurement*. Princeton university press.
26. McClain, C.D., Holl, K.D. & Wood, D.M. (2011). Successional models as guides for restoration of riparian forest understory. *Restoration Ecology*, 19 (2), 280–289. Doi: 10.1111/j.1526-100X.2009.00616.x.
27. Mikkelsen, K. & Vesho, I. (2000). Riparian soils: A literature review.
28. Nakamura, F., Yajima, T. & Kikuchi, S.I. (1997). Structure and composition of riparian forests with special reference to geomorphic site conditions along the Tokachi River, northern Japan. *Plant Ecology*, 133, 209–219. Doi: 10.1023/A:1009787614455.
29. Nilsson, M.C. & Wardle, D.A. (2005). Understory vegetation as a forest ecosystem driver: evidence from the northern Swedish boreal forest. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 3 (8), 421–428. Doi: 10.1890/1540-9295(2005)003[0421:UVAAFE]2.0.CO;2.
30. Ran, Y.G., Ma, M.H., Liu, Y., Zhu, K., Yi, X.M., Wang, X.X., Wu, S.J. & Huang, P. (2020). Physicochemical determinants in stabilizing soil aggregates along a hydrological stress gradient on reservoir riparian habitats: Implications to soil restoration. *Ecological Engineering*, 143, 105664. Doi: 10.1016/j.ecoleng.2019.105664.

31. Ring, E., Widenfalk, O., Jansson, G., Holmström, H., Högbom, L. & Sonesson, J. (2018). Riparian forests along small streams on managed forest land in Sweden. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 33 (2), 133–146. Doi: 10.1080/02827581.2017.1338750.
32. Sarah, P. & Rodeh, Y. (2004). Soil structure variations under manipulations of water and vegetation. *Journal of Arid Environments*, 58 (1), 43–57. Doi: 10.1016/S0140-1963(03)00126-5.
33. Soares, J.A.H., de Souza, A.L.T, de Abreu Pestana, L.F. & Tanaka, M.O. (2020). Combined effects of soil fertility and vegetation structure on early decomposition of organic matter in a tropical riparian zone. *Ecological Engineering*, 152, 105899. Doi: 10.1016/j.ecoleng.2020.105899.
34. Tripathi, N. & Singh, R.S. (2009). Influence of different land uses on soil nitrogen transformations after conversion from an Indian dry tropical forest. *Catena*, 77 (3), 216–223. Doi 10.1016/j.catena.2009.01.002.
35. Weigel, R., Gilles, J., Klisz, M., Manthey, M. & Kreyling, J. (2019). Forest understory vegetation is more related to soil than to climate towards the cold distribution margin of European beech. *Journal of Vegetation Science*, 30 (4), 746–755. Doi: 10.1111/jvs.12759.
36. Ye, C., Chen, C.R., Butler, O.M., Rashti, M.R, Esfandbod, M., Du, M. & Zhang, Q.F. (2019). Spatial and temporal dynamics of nutrients in riparian soils after nine years of operation of the Three Gorges Reservoir, China. *Science of The Total Environment*, 664, 841–850. Doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.02.036.
37. Young, E.O. & Ross, D.S. (2016). Total and labile phosphorus concentrations as influenced by riparian buffer soil properties. *Journal of Environmental Quality*, 45 (1), 294–304. Doi: 10.2134/jeq2015.07.0345.
38. Zhang, B.B., Xu, Q., Gao, D.Q., Jiang, C.W., Liu, F.T., Jiang, J. & Ma, Y.B. (2019). Higher soil capacity of intercepting heavy rainfall in mixed stands than in pure stands in riparian forests. *Science of The Total Environment*, 658, 1514–1522. Doi: 10.1016/j.scitotenv.2018.12.171.
39. Zhang, M.Y., O'Connor, P.J., Zhang, J.Y. & Ye, X.X. (2021). Linking soil nutrient cycling and microbial community with vegetation cover in riparian zone. *Geoderma*, 384, 114801. Doi: 10.1016/j.geoderma.2020.114801.
40. Zheng, L.T., Chen, H.Y.H. & Yan, E.R. (2019). Tree species diversity promotes litterfall productivity through crown complementarity in subtropical forests. *Journal of Ecology*, 107 (4), 1852–1861. Doi: 10.1111/1365-2745.13142.

Янь Тенфей, аспірант, Хенанський інститут науки та техніки, Сінсян, м. Хенань, КНР; Сіньянський університет сільськогосподарства та лісу, м. Сіньян, Хенань, КНР; Сумський національний аграрний університет, Суми, Україна
Кременецька Євгенія Олексіївна, кандидат сільськогосподарських наук, доцент, Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна

Ван Шибін, заступник старшого інженера, Національна лісова ферма Наньван, м. Сіньян, Хенань, КНР

Ху Цян, асистент, Сіньянський університет сільськогосподарства та лісу, м. Сіньян, Хенань, КНР

Він Сонглінь, викладач докторантури, професор, Хенанський інститут науки та техніки, м. Сінсян, Хенань, КНР

Хімічні властивості ґрунту та фіторізноманіття на прибережній лісовій території озера Наньван

Прибережна зона водойми є екотонном, який змінюється у просторі (між наземною та водною екосистемами) і є важливою зоною для циркуляції елементів живлення і потоку матеріалів. Прибережний ліс відіграє важливу роль у стабільності прибережного середовища існування. Поки що зв'язок між хімічними властивостями ґрунту та біорізноманіттям прибережного лісу поблизу водойми не є досить вивченим. У цьому дослідженні ми проаналізували хімічні властивості ґрунту (загальний азот та вуглець, доступний фосфор та калій) і особливості структури угруповань деревних (діаметр на висоті грудей, висота дерева, ширина крони), чагарникових та трав'янистих рослин (індекс різноманіття Шеннона, індекс домінування Сімпсона, індекс видового багатства, індекс однорідності Піелу) у прибережній лісовій землі на хвостовій частині водосховища, що є частиною озера Наньван у Китаї. Результати показали, що структура прибережного лісу поблизу водосховища озера Наньван являє собою стабільне угруповання. Не було зазначено суттєвої різниці в хімічних властивостях ґрунту та біорізноманітті рослинності між типом центру острова та типом півострова. Діапазон вмісту елементів живлення в лісовому ґрунті (поблизу водосховища озера Наньван) такий: загальної вуглецю (TC) – 7,8–19,5 г/кг, загальної азоту (TN) – 0,72–1,49 г/кг, доступного фосфору (AP) – 1,89–3,83 мг/кг, діапазон доступного калію у ґрунті (AK) становить 48,0–100,5 мг/кг. Значення рН ґрунту прибережної лісової землі поблизу водосховища озера Наньван є низьким внаслідок сильної кислої реакції, тому варто враховувати наслідки щодо токсичної дії алюмінію. У RDA-аналізі перша вісь пояснювала 73,16% факторів біорозмаїття дерев, чагарників та трав'янистих рослин, а друга вісь – 6,48%. Відображення наявності чагарничково-трав'янистого ярусу у величинах хімічних властивостей ґрунту є значимим: цей ярус є важливим джерелом органічної речовини ґрунту у прибережній зоні та позитивно впливає на якість ґрунту. Тому варто звернути увагу на збереження стійкості структури угруповання в підлісковому чагарничково-трав'янистому ярусі.

Ключові слова: водосховище озера Наньва,; прибережне середовище проживання, структура угруповання, аналіз RDA.

Date of receipt: 10.12.2021.