

ISSN 2410-1281

**НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ АГРАРНИХ НАУК УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ БІОЕНЕРГЕТИЧНИХ КУЛЬТУР І ЦУКРОВИХ БУРЯКІВ**

**НАУКОВІ ПРАЦІ ІНСТИТУТУ
БІОЕНЕРГЕТИЧНИХ КУЛЬТУР
І ЦУКРОВИХ БУРЯКІВ**

ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ

Випуск 32

КИЇВ – 2024

УДК 633.63:631.52

Наукові праці Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків :
зб. наук. праць / Ін-т біоенергет. культур і цукр. буряків, Нац. акад. аграр. наук
України. Київ, 2024. Вип. 32. 114 с. ISSN 2410-1281.

У збірнику висвітлено результати наукових досліджень, проведених ученими науково-дослідних та навчальних установ аграрного профілю України, з актуальних питань селекції, насінництва та технологій вирощування, перероблення та зберігання продукції рослинництва, а також пов'язаних із ними галузей сільськогосподарського виробництва.

Для наукових працівників, викладачів, аспірантів та студентів ВНЗ аграрного профілю, спеціалістів сільського господарства.

Збірник заснований у 1998 році.

До 2012 р. видання виходило під назвою «Наукові праці Інституту цукрових буряків»

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ:

М. В. Роїк (*головний редактор*), **О. І. Присяжнюк** (*відповідальний секретар*),
М. Я. Гументик, **В. А. Доронін**, **W. Elbersen**, **В. М. Квак**, **D. Lazdiņa**,
В. М. Сінченко, **Л. І. Сторожик**, **Я. Д. Фучило**

Адреса редакційної колегії:

Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН,
вул. Клінічна, 25, м. Київ, 03110, тел. (044) 275-50-00
e-mail: naukovi_praci_ibkcb@ukr.net

Сайт збірника: <http://np.bio.gov.ua>

Рекомендовано до друку Вченою радою
Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН
(протокол № 2 від 27.12.2024)

*Збірник включено до Переліку наукових фахових видань України
наказ МОН України № 157 від 09.02.2021 (с.-г. науки)
Спеціальності: 201 – Агронія, 202 – Захист і карантин рослин*

Свідоцтво про державну реєстрацію серія КВ № 12270-9070ПР від 13.07.2012,
видане Державною реєстраційною службою України

© Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН, 2024

ISSN 2410-1281

**NATIONAL ACADEMY OF AGRICULTURAL SCIENCES OF UKRAINE
INSTITUTE OF BIOENERGY CROPS AND SUGAR BEET**

**SCIENTIFIC PAPERS OF THE INSTITUTE
OF BIOENERGY CROPS
AND SUGAR BEET**

COLLECTION OF SCIENTIFIC PAPERS

Issue 32

KYIV – 2024

З М І С Т

АГРОХІМІЯ ТА ҐРУНТОЗНАВСТВО

Іваніна В. В., Прокон'юк Т. П.

Вплив удобрення та структури сівозмін на вологозабезпеченість ґрунту й використання вологи пшеницею озимою 6

РОСЛИННИЦТВО

Каленська С. М., Новицька Н. В., Мельниченко В. В., Чубко О. П., Фещенко В. В.

Ефективність часткового заміщення макро добрив нанохелатними мікродобривами для підживлення пшениці ярої 14

Бондарець Р. С., Верещагін І. В.

Формування продуктивності соняшнику за вирощування в умовах північно-східного регіону України 29

Любицька Д. М., М'ялковський Р. О.

Фотосинтетична активність ранньостиглих гібридів соняшнику в умовах Лісостепу Західного 37

Присяжнюк О. І., Кононюк Н. О., Половинчук О. Ю., Мусіч В. В., Гончарук О. М., Волошин П. Ю., Маляренко О. А., Шевченко О. П.

Визначення критичних фаз озимих злакових культур на основі міжнародних уніфікованих шкал росту й розвитку 49

Федорченко М. М., Карпук Л. М.

Особливості формування фотосинтетичних показників посівів проса за органічного виробництва у Правобережному Лісостепу України 63

Димань Н. О., Карпук Л. М.

Оцінювання генетичного різноманіття сортів малини за використання RAPD-PCR маркерів 74

Орлов С. Д., Гагін А. О., Синьогуб С. В.

Урожайність зразків горошку посівного (ярого) (*Vicia sativa* L.) у сумісному агроценозі з гірчицею білою 84

Діянова А. О., Кулик М. І.

Формування насінневої продуктивності сої залежно від біометричних показників рослин та умов року вирощування 93

Сухіна Д. В., Новицька Н. В.

Продуктивність сорго зернового залежно від агротехнічних заходів в умовах Північного Степу України 104

CONTENTS

AGROCULTURAL CHEMISTRY AND SOIL SCIENCE

Ivanina V. V., Prokopiuk T. P.

The influence of fertilisation and crop rotation structure on soil moisture availability and water consumption by winter wheat 6

CROP PRODUCTION

Kalenska S. M., Novytska N. V., Melnychenko V. V., Chubko O. P., Feshchenko V. V.

Efficiency of partial replacement of macro fertilisers with nano chelates for spring wheat ... 14

Bondarets R. S., Vereshchahin I. V.

Sunflower productivity formation in the northeastern part of Ukraine 29

Liubyska D. M., Mialkovskiy R. O.

Photosynthetic activity of early-ripening sunflower hybrids in the Western Forest-Steppe 37

Prysiachniuk O. I., Kononiuk N. O., Polovynchuk O. Yu., Musich V. V., Honcharuk O. M., Voloshyn P. Y., Maliarenko O. A., Shevchenko O. P.

Determination of critical phases of winter cereal crops based on international unified growth and development scales 49

Fedorchenko M. M., Karpuk L. M.

Peculiarities of the formation of photosynthetic indicators in proso millet under organic production in the Right-Bank Forest-Steppe of Ukraine 63

Dyman N. O., Karpuk L. M.

Assessment of genetic diversity of raspberry cultivars using RAPD markers 74

Orlov S. D., Hahin, A. O., Syniohub S. V.

Yield of spring vetch (*Vicia sativa* L.) cultivars in mixed crops with white mustard 84

Düanova A. O., Kulyk M. I.

Soybean seed productivity as affected by biometric parameters of plants and cultivation conditions 93

Sukhina D. V., Novytska N. V.

Productivity of Sorghum bicolor as affected by agronomical practices in the Northern Steppe of Ukraine 104

АГРОХІМІЯ ТА ҐРУНТОЗНАВСТВО

УДК 631.452:631.81.86

DOI: <https://doi.org/10.47414/np.32.2024.316114>

Вплив удобрення та структури сівозмін на вологозабезпеченість ґрунту й використання вологи пшеницею озимою

 В. В. Іваніна*,  Т. П. Прокоп'юк

*Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН України, вул. Клінічна, 25, м. Київ, 03110, Україна, *e-mail: v_ivanina@ukr.net*

Мета. Дослідити вплив удобрення та сівозмін на накопичення вологи у ґрунті та використання її посівами пшениці озимої. **Методи.** Довготривалий польовий та аналітичний. **Результати.** Наведено дані досліджень щодо впливу добрив та сівозмін на вологозабезпечення ґрунту та використання вологи пшеницею озимою. Виявлено, що застосування органо-мінеральних систем удобрення у плодозмінній сівозміні створювало найкращі умови для накопичення вологи у ґрунті весною та ефективного її використання посівами пшениці озимої. **Висновки.** Вирощування пшениці озимої у плодозмінній сівозміні обумовило найвищі обсяги накопичення вологи у ґрунті весною. Запаси продуктивної вологи у одно- та півтораметровому шарі чорнозему вилугуваного у весняний період були вищими, ніж у зерно-просапній – на 15–25 мм, просапній – на 9–19 мм. У плодозмінній сівозміні найефективніше вологу ґрунту пшениця озима використовувала за традиційної органо-мінеральної системи удобрення. Внесення $N_{53}P_{42}K_{42}$ + 6,7 т гною на 1 га сівозміни забезпечило використання вологи пшеницею озимою – 282 м³/т, що порівняно з контролем без добрив було меншим на 141 м³/т. Ефективним визначено внесення $N_{53}P_{42}K_{42}$ + побічна продукція на 1 га сівозміни: витрати вологи пшеницею озимою порівняно з контролем без добрив зменшились на 110 м³/т за абсолютного показника – 313 м³/т. У розрізі сівозмін органо-мінеральні системи удобрення зменшили використання вологи порівняно з контролем без добрив у 1,5–1,7 раза.

Ключові слова: чорнозем вилугуваний; добрива; водоспоживання; ефективність.

Вступ

В епоху глобального потепління збільшення обсягів накопичення вологи у ґрунті та ефективне використання її рослинами є заходом до отримання стабільних врожаїв сільськогосподарських культур [1]. Оптимізація системи удобрення та структури сівозмін є найбільш ефективними заходами у досягненні поставлених цілей [2, 3]. Зі зростанням потепління і посушливості клімату, система удобрення стає визначальним чинником, що впливає на водний та поживний режими ґрунту і визначає врожайність сільськогосподарських культур [4, 5].

В умовах помірного клімату внесення мінеральних добрив під сільськогосподарські культури підвищило ефективність використання рослинами вологи у 1,4–1,6 раза, за посушливих умов вирощування у 2–2,4 раза [6]. Пшениця озима за внесення добрив зменшила витрати вологи на формування однієї тони врожаю – на 15 %, ячмінь ярий – на 30 %, просо – на 24 %, при цьому врожайність зерна зросла більш, ніж на 0,5 т/га [7].

Органо-мінеральні системи удобрення є найефективнішим засобом у покращенні ґрунтового комплексу, структури ґрунту, збільшенні запасів та збереженні вологи у ґрунті [8, 9]. За дефіциту гною ефективним заходом у покращенні вологозабезпечення ґрунтів стало

використання на добриво побічної продукції сільськогосподарських культур [10–12]. В умовах нестійкого зволоження вплив структури сівозмін та удобрення на вологозабезпечення пшениці озимої вивчені недостатньо.

Мета досліджень – дослідити вплив удобрення та сівозмін на накопичення вологи у ґрунті та використання її посівами пшениці озимої.

Матеріали та методика досліджень

Дослідження проводили у стаціонарному досліді Білоцерківської дослідно-селекційної станції упродовж 2019–2021 рр. Посівна площа ділянки – 228 м², облікова – 100 м², повторність – триразова.

Ґрунт – чорнозем вилугуваний з вмістом в орному 0–30 см шарі гумусу за Тюрнімом – 3,7–3,9 %, рухомого фосфору та калію за Чиріковим – 150–166 та 64–77 мг/кг ґрунту, гідролітична кислотність за Каппеном – 1,70–1,78 мг-екв/100 г ґрунту.

У 2019 році за вегетаційний період (квітень – жовтень) випало 274 мм зі зменшенням до середнього багаторічного показника на 66 мм, або на 19,4 %. Зменшення кількості опадів спостерігали переважно у другій половині вегетації: у липні – на 38 мм, серпні – на 18 мм, вересні – на 23 мм, жовтні – на 36 мм (рис. 1, 2).

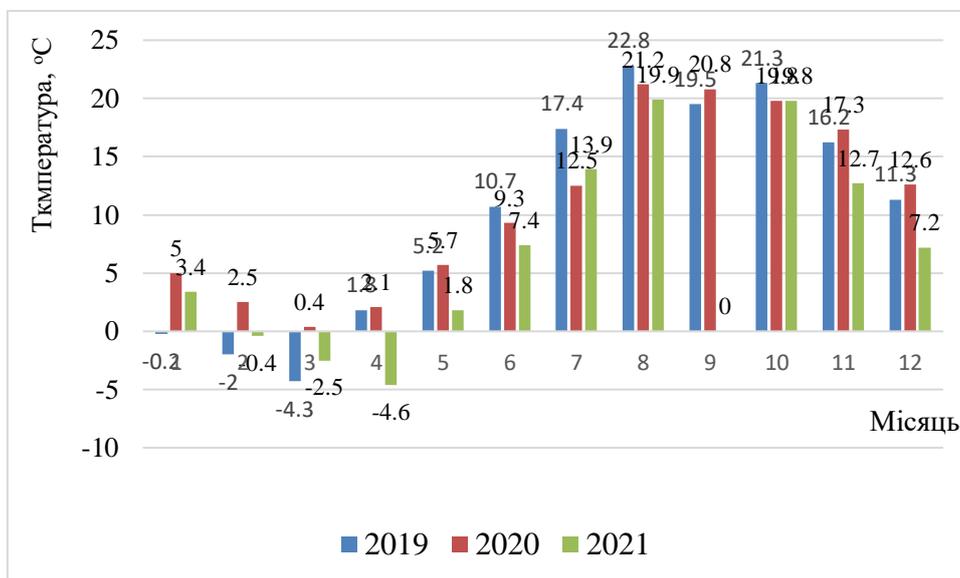


Рис. 1. Середньомісячна температура у роки досліджень в умовах БЦДСС

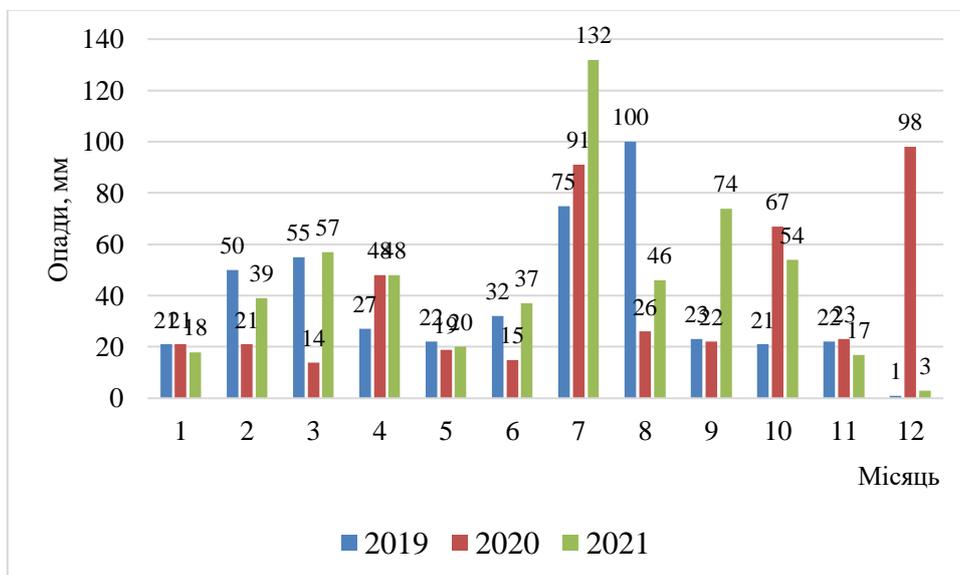


Рис. 2. Середньомісячна кількість опадів у роки досліджень в умовах БЦДСС

Температура у середньому за вегетаційний період становила 17,0 °С, що перевищило середній багаторічний показник на 2,7 °С. За річний термін середній показник температури перевищив середній багаторічний показник на 3,6 °С. Надмірно високі температури спостерігали упродовж усього періоду вегетації за виключенням липня, коли перевищення середнього багаторічного показника становило 0,5 °С. Упродовж решти місяців перевищення середнього багаторічного показника становило 2,3–5,0 °С.

У 2020 році кількість опадів за вегетацію становила 341 мм, що відповідало середній багаторічній нормі. За річний період кількість опадів становила 465 мм, що було меншим від середнього багаторічного показника на 61 мм. Зменшення кількості опадів спостерігали у осінньо-зимовий період, тоді як упродовж вегетації умови зволоження були сприятливими для росту і розвитку рослин. Перша половина вегетації (квітень – липень) відмічалась зменшенням кількості опадів до середнього багаторічного показника на 65 мм, натомість друга половина вегетації була надмірно забезпечена опадами з перевищенням середнього багаторічного показника на 67 мм.

Середня температура упродовж вегетації 2020 року перевищила середній багаторічний показник на 1,9 °С і становила 16,2 °С. За період року середня температура становила 10,8 °С, що було вищим за середній багаторічний показник – на 2,3 °С. Особливо теплими були місяці другої половини вегетації. У липні середня добова температура перевищила середній багаторічний показник на 1,8 °С, серпні – на 1,4 °С, вересні – на 3,5 °С, жовтні – на 4,8 °С.

У 2021 році за період вегетації випало 362 мм опадів, що на 22 мм було більшим, ніж середній багаторічний показник. За річний період кількість опадів становила 544 мм, що перевищило середній багаторічний показник на 18 мм. 2021 рік був найбільш сприятливим за режимом зволоження. Проте у осінній період спостерігався значний дефіцит опадів: у вересні кількість опадів була менша від середнього багаторічного показника на 28 мм, жовтні – на 34 мм.

За температурним режимом 2021 рік був найбільш прохолодним за усі роки досліджень. Середня денна температура за вегетаційний період становила 14,9 °С, що лише на 0,6 °С перевищило середній багаторічний показник. Найбільш теплими були літні місяці: середня добова температура у червні перевищила середній багаторічний показник на 2,1 °С, липні – на 4,0 °С, серпні – на 1,4 °С. Весна і осінь були прохолодними, температура у ці місяці була нижчою від середніх багаторічних значень.

Дослідження проводили у плодозмінній сівозміні, де вирощували вико-овес – пшениця озима – буряки цукрові – ячмінь + конюшина – конюшина – пшениця озима; зерно-просапній: вико-овес – пшениця озима – буряки цукрові – ячмінь – вика яра – пшениця озима; та просапній: вико-овес – пшениця озима – буряки цукрові – ячмінь – соя – соняшник.

Добрива вносили під глибоку оранку осінню: азотні – амонійна селітра, фосфорні – суперфосфат простий гранульований, калійні – калій хлористий. Органічні добрива вносили у формі підстилкового напіврозкладеного ґною та побічної продукції пшениці озимої, ячменю ярого, сої, соняшнику, буряків цукрових. У досліді сіяли сорт пшениці озимої 'Лірика', технологія вирощування загальноприйнята для зони Лісостепу України.

Запаси вологи у ґрунті визначали термостатично-ваговим методом. Зразки ґрунту для визначення запасів продуктивної вологи відбирали на період весняного куцання та збирання врожаю пшениці озимої у шарі 1,5 м з інтервалом 10 см. Визначення проводили термостатно-ваговим методом, після висушування зразків ґрунту за температури 105 °С до постійної ваги.

Врожайність пшениці озимої обліковували методом пробних ділянок з перерахунком на площу 1 га. Ефективність використання вологи рослинами визначали шляхом ділення сумарного водоспоживання на біологічну врожайність. Сумарне водоспоживання – це сума витрат вологи із ґрунту та опадів на формування врожаю пшениці озимої. Експериментальні дані опрацьовували методом дисперсійного аналізу з використанням комп'ютерної програми Statistica, 2010.

Результати досліджень

Результати досліджень показали, що в посівах пшениці озимої у період відновлення весняного кушення в 0–20 см шарі ґрунту містилось 28–31 мм продуктивної вологи, в 0–100 см шарі – 135–164 мм, в 0–150 см шарі – 196–244 мм. Це досить високі запаси продуктивної вологи, які здатні сформувати високу врожайність пшениці озимої (табл. 1).

Накопичення вологи у ґрунті весною істотно залежало від сівозмін та удобрення і така диференціація виразно проявлялась у метровому та півтораметровому шарах ґрунту. На контролі без добрив у плодозмінній сівозміні у шарі 1 м містилось 164 мм вологи, шарі 1,5 м – 244 мм; зерно-просапній сівозміні – 149 та 219, просапній – 155 та 225 мм, відповідно. У плодозмінній сівозміні пшениця озима мала вищу забезпеченість вологою весною порівняно із зерно-просапною в шарі 1 м – на 15 мм, 1,5 м – на 25 мм, просапною – на 9 та 19 мм.

Таблиця 1

Запаси продуктивної вологи в посівах пшениці озимої залежно від структури сівозміни та удобрення, мм (середнє за 2019–2021 рр.)

Шар ґрунту, см	Плодозмінна			Зерно-просапна			Просапна		
	варіанти								
	11	13	4	51	53	49	31	33	26
Весняне кушення									
0–20	28	30	28	31	30	31	31	28	28
0–50	79	78	74	76	79	73	80	69	73
0–100	164	147	157	149	152	149	155	135	136
0–150	244	218	224	219	213	217	225	200	196
Збирання врожаю									
0–20	25	17	16	18	14	13	17	14	15
0–50	47	39	32	39	27	29	39	25	27
0–100	103	65	61	83	58	58	77	54	59
0–150	159	104	95	136	96	92	128	94	94
НІР _{0,05}	7	6	7	7	8	7	7	6	7
Р, %	2,4	2,1	2,6	2,2	2,7	2,3	2,1	2,0	2,2

Примітка. Варіанти 11, 51, 31 – контроль без добрив; варіанти – вносили 13, 53, 33 – N₅₃P₄₂K₄₂ + 6,7 т/га гною; варіанти 4, 49, 26 – N₅₃P₄₂K₄₂ + побічна продукція.

За застосування традиційної органо-мінеральної системи удобрення (N₅₃P₄₂K₄₂ + 6,7 т гною на 1 га сівозміни) запаси вологи у ґрунті весною зменшились порівняно з контролем без добрив у плодозмінній у шарі 1 м – на 17 мм, 1,5 м – на 26 мм; просапній – на 20 та 25 мм; зерно-просапній – зберігались на рівні контролю без добрив. Порівнюючи сівозміни між собою можна зазначити, що за традиційної органо-мінеральної системи удобрення запаси вологи у ґрунті весною у плодозмінній та зерно-просапній сівозмінах були співставними і були менші, ніж у просапній сівозміні у шарі 1,5 м – на 13–18 мм.

За альтернативної органо-мінеральної системи удобрення (N₅₃P₄₂K₄₂ + побічна продукція на 1 га сівозміни) запаси вологи у ґрунті весною були співставні з традиційною органо-мінеральною системою удобрення: у плодозмінній сівозміні у шарі 1 м – 157 мм, 1,5 м – 224 мм; зерно-просапній – 149 та 217; просапній – 136 та 196 мм. Запаси вологи у просапній сівозміні були менші порівняно з плодозмінною та зерно-просапною у шарі 1 м – на 13–21 мм, шарі 1,5 м – на 21–26 мм. Вирощування культур в умовах плодозмінної та зерно-просапної сівозмін збільшувало обсяги накопичення вологи у ґрунті весною в посівах пшениці озимої порівняно з просапною сівозмінною. При цьому запаси вологи у ґрунті в усіх сівозмінах були менші, ніж на контролі без добрив, що може бути спричинено інтенсивним використанням вологи рослинами у зв'язку з вищою їх біологічною продуктивністю.

На завершення вегетації пшениці озимої запаси вологи у 1 м шарі ґрунту на контролі без добрив у плодозмінній сівозміні зменшились порівняно з їх запасами весною у 1,59 раза,

зерно-просапній – у 1,80 раза, просапній – у 2,01 раза; у шарі 1,5 м – відповідно у 1,53; 1,61 та 1,78 раза. З переходом від плодозмінної до зерно-просапної та просапної сівозмін витрати вологи із ґрунту зростали. Це може бути спричинено зростанням частки просапних культур у сівозмінах, які потребували більше вологи, а також зростанням непродуктивних втрат в результаті більш інтенсивних обробітків ґрунту за вирощування просапних культур.

За застосування органо-мінеральних систем удобрення витрати вологи із ґрунту в посівах пшениці озимої істотно зростали. Так, за внесення $N_{53}P_{42}K_{42} + 6,7$ т гною на 1 га сівозміни запаси вологи у ґрунті з початку весняної вегетації до збирання врожаю у плодозмінній сівозміні у шарі 1 м зменшились у 2,26 раза, зерно-просапній – у 2,62 раза, просапній – у 2,50 раза; у шарі 1,5 м – відповідно у 2,10; 2,22 та 2,13 раза. Аналогічна закономірність спостерігалась за альтернативної органо-мінеральної системи удобрення. Значне зростання витрат продуктивної вологи із ґрунту за внесення добрив може бути спричинено зростанням врожайності пшениці озимої, яка потребувала більше вологи.

Отже, за вирощування пшениці озимої у плодозмінній сівозміні у весняний період у 1–1,5 м шарах чорнозему вилугуваного продуктивної вологи накопичувалось більше, ніж у зерно-просапній сівозміні – на 15–25 мм, просапній – на 9–19 мм, що створювало кращі умови водоспоживання. За застосування органо-мінеральних систем удобрення у розрізі усіх сівозмін весняні запаси вологи у ґрунті були менші, ніж на контролі без добрив.

Система удобрення і структура сівозмін істотно впливали на обсяги споживання вологи пшеницею озимою за період вегетації. Так, на контролі без добрив рослини із ґрунту у плодозмінній сівозміні використовували 85 мм вологи, зерно-просапній – 83 мм, просапній – 107 мм, за рахунок опадів 244 мм, що спричинило сумарне водоспоживання у плодозмінній сівозміні – 3290 м³/га, зерно-просапній – 3270, просапній – 3410 м³/га. Обсяги споживання вологи у просапній сівозміні були істотно вищими, що може бути наслідком підвищених непродуктивних втрат (рис. 3).

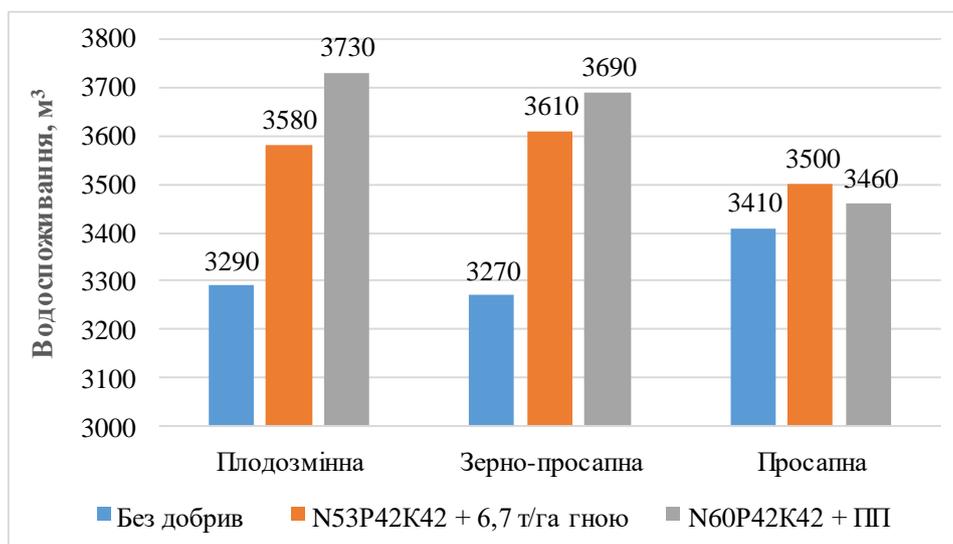


Рис. 3. Сумарне споживання вологи пшеницею озимою за період весняної вегетації (середнє за 2019–2021 рр.)

Примітка. $HP_{0,05}$: фактор А – сівозміни – 86, фактор Б – добрива – 110, А × В – 14

За внесення $N_{53}P_{42}K_{42} + 6,7$ т гною на 1 га сівозміни сумарне водоспоживання у плодозмінній сівозміні становило 3580 м³/га, зерно-просапній – 3610, просапній – 3500 м³/га, що порівняно з контролем без добрив було вищим – відповідно на 290, 340 та 90 м³/га. За застосування $N_{53}P_{42}K_{42} + \text{побічна продукція}$ на 1 га сівозміни сумарне водоспоживання у плодозмінній сівозміні становило 3730 м³/га, зерно-просапній – 3690, просапній – 3460 м³/га, що порівняно з контролем без добрив було вищим – відповідно на 440, 420 та 50 м³/га. Збільшення споживання рослинами вологи є наслідком істотно зростання врожайності пшениці озимої.

Система удобрення і структура сівозмін істотно впливали на ефективність використання вологи рослинами пшениці озимої. Визначення витрат вологи на формування однієї тони біологічного врожаю показало, що на контролі без добрив ці витрати у плодозмінній сівозміні становили 423 м³, зерно-просапній – 485, просапній – 497 м³. З переходом від плодозмінної до зерно-просапної сівозміни витрати вологи на формування однієї тони врожаю пшениці озимої зросли на 62 м³, до просапної – на 74 м³. В умовах плодозмінної сівозміни волога найефективніше використовувалась рослинами пшениці озимої (рис. 4).

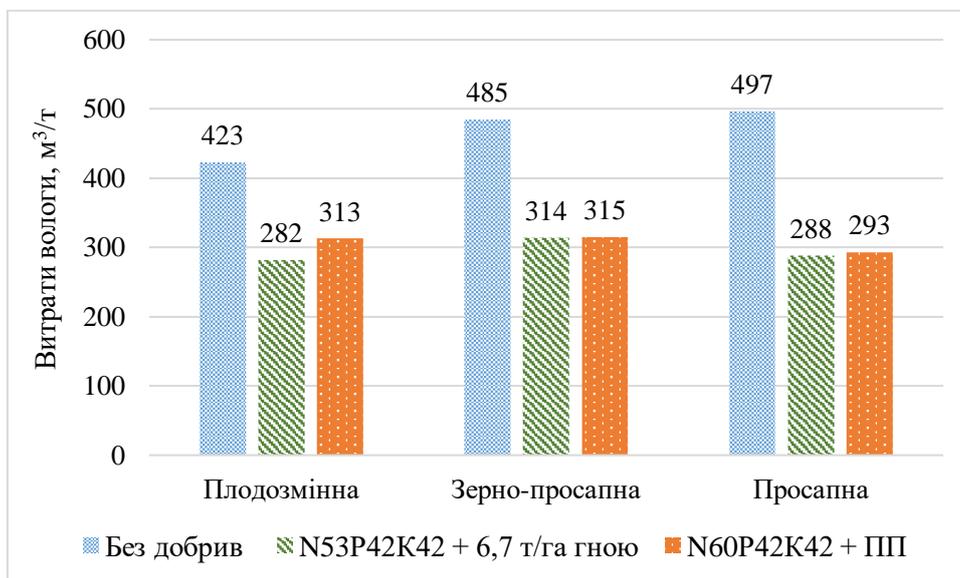


Рис. 4. Використання вологи посівами пшениці озимої залежно від структури сівозмін та удобрення (середнє за 2019–2021 рр.)

Примітка. НР_{0,05}: фактор А – сівозміни – 8, фактор В – добрива – 16, А × В – 2.

Застосування N₅₃P₄₂K₄₂ + 6,7 т гною на 1 га сівозміни зменшило витрати вологи на формування однієї тони врожаю у розрізі сівозмін порівняно з контролем без добрив у 1,5–1,7 раза. У плодозмінній сівозміні витрати вологи на формування однієї тони врожаю пшениці озимої становили 282 м³, зерно-просапній – 314, просапній – 288 м³. За традиційної органо-мінеральної системи удобрення витрати вологи у розрізі сівозмін незначно коливались і були дещо вищими у зерно-просапній сівозміні.

Ефективному водоспоживанню рослин пшениці озимої сприяло застосування альтернативної органо-мінеральної системи удобрення. За внесення N₅₃P₄₂K₄₂ + побічна продукція на 1 га сівозміни витрати вологи на формування однієї тони врожаю пшениці озимої у плодозмінній сівозміні становили 313 м³, зерно-просапній – 315, просапній – 293 м³. Порівняно з контролем без добрив витрати вологи зменшились у плодозмінній сівозміні – на 110 м³, зерно-просапній – на 170, просапній – на 204 м³. Наповнення ґрунту органічною речовиною побічної продукції сільськогосподарських культур істотно зменшило витрати вологи рослинами і така закономірність проявлялась яскравіше у сівозмінах де частка просапних культур була більшою.

Висновки

Вирощування пшениці озимої у плодозмінній сівозміні створювало найкращі умови для накопичення вологи у ґрунті та використання вологи рослинами. Запаси продуктивної вологи у 1–1,5 м шарах чорнозему вилугуваного у весняний період у плодозмінній сівозміні були більшими, ніж у зерно-просапній – на 15–25 мм, просапній – на 9–19 мм.

Найефективніше вологу ґрунту пшениця озима використовувала у плодозмінній сівозміні за традиційної органо-мінеральної системи удобрення. Внесення N₅₃P₄₂K₄₂ + 6,7 т гною на 1 га сівозміни забезпечило використання вологи пшеницею озимою – 282 м³/т, що

порівняно з контролем без добрив було меншим на 141 м³/т. Ефективним визначено внесення N₅₃P₄₂K₄₂ + побічна продукція на 1 га сівозміни: витрати вологи пшеницею озимою порівняно з контролем без добрив зменшились на 110 м³/т за абсолютного показника – 313 м³/т. У розрізі сівозмін органо-мінеральна система удобрення зменшила використання вологи порівняно з контролем без добрив у 1,5–1,7 раза.

Використана література

1. Мірошніченко М. М., Носко Б. С., Гладкіх Є. Ю. та ін. Агрохімічні прийоми адаптації сільськогосподарських культур до екстремальних погодно-кліматичних умов. *Вісник аграрної науки*. 2016. № 3. С. 5–10.
2. Польовий В. М. Оптимізація систем удобрення у сучасному землеробстві. Рівне: Волинські обереги, 2007. 320 с.
3. Blanchet G., Gavazov K., Bragazza L., Sinaj S. Responses of soil properties and crop yields to different inorganic and organic amendments in a Swiss conventional farming system. *Agronomy Ecosystem Environment*. 2016. Vol. 230. P. 116–126. doi: 10.1016/j.agee.2016.05.032
4. Сайко В. Ф. Наукові основи землеробства в контексті змін клімату. *Вісник аграрної науки*. 2008. № 11. С. 5–10.
5. Rezaei E. E., Siebert S., Ewert F. Intensity of heat stress in winter wheat-phenology compensates for the adverse effect of global warming. *Environmental Research Letters*. 2015. Vol. 10. Article 024012. doi: 10.1088/1748-9326/10/2/024012
6. Гангур В. В., Котляр Я. О. Вплив попередників на водоспоживання та продуктивність пшениці озимої в зоні лівобережного лісостепу України. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2021. № 1. С. 122–127. doi: 10.31210/visnyk2021.01.14 11
7. Гангур В. В., Кочерга А. А., Пипко О. С. та ін. Вплив мінеральних добрив на водоспоживання та продуктивність пшениці озимої. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2020. № 3. С. 54–60. doi: 10.31210/visnyk2020.03.06
8. Martyniuk S., Piłkuła D., Kozieł M. Soil properties and productivity in two long-term crop rotations differing with respect to organic matter management on an Albic Luvisol. *Scientific Reports*. 2019. Vol. 9. Article 1878. doi: 10.1038/s41598-018-37087-4
9. Hospodarenko H., Mostoviak I., Karpenko V. et al. Yield and quality of winter durum wheat grain depending on the fertiliser system. *Scientific Horizons*. 2022. Vol. 25, Iss. 3. P. 16–25. doi: 10.48077/scihor.25(3).2022.16-25
10. Demydenko O., Bulygin S., Velychko V. et al. Soil moisture potential of agrocenoses in the Forest-Steppe of Ukraine. *Agricultural Science and Practice*. 2021. Vol. 8, Iss. 2. P. 49–61. doi: 10.15407/agrisp8.02.049
11. Liu D. L., Zeleke K. T., Wang B. et al. Crop residue incorporation can mitigate negative climate change impacts on crop yield and improve water use efficiency in a semiarid environment. *European Journal of Agronomy*. 2017. Vol. 85. P. 51–68. doi: 10.1016/j.eja.2017.02.004
12. Subhan A., Khan Q. U., Mansoor M., Khan M. J. Effect of Organic and Inorganic Fertilizer on the Water Use Efficiency and Yield Attributes of Wheat under Heavy Textured Soil. *Sarhad Journal of Agriculture*. 2017. Vol. 33, Iss. 4. P. 582–590. doi: 10.17582/journal.sja/2017/33.4.582.590

References

1. Miroshnychenko, M. M., Nosko, B. S., Gladkih, E. Yu., Panasenko, E. V., Krupoderya, Yu. O., Artsykh, R. S., & Golota, E. V. (2016). Agrochemical methods of adaptation of agricultural crops to extreme weather and climate conditions. *Bulletin of Agrarian Science*, 3, 5–10. [In Ukrainian]
2. Poliovyi, V. M. (2007). *Optimization of fertilization systems in modern agriculture*. Rivne: Volyn amulets. [In Ukrainian]
3. Blanchet, G., Gavazov, K., Bragazza, L., & Sinaj, S. (2016). Responses of soil properties and crop yields to different inorganic and organic amendments in a Swiss conventional farming system. *Agronomy, Ecosystem & Environment*, 230, 116–126. doi: 10.1016/j.agee.2016.05.032
4. Saiko, V. F. (2008). The scientific basis of agriculture in the context of climate change. *Bulletin of Agrarian Science*, 11, 5–10. [In Ukrainian]
5. Rezaei, E. E., Siebert, S., & Ewert, F. (2015). Intensity of heat stress in winter wheat-phenology compensates for the adverse effect of global warming. *Environmental Research Letters*, 10,

024012. doi: 10.1088/1748-9326/10/2/024012

6. Gangur, V. V., & Kotlyar, Ya. O. (2021). Influence of predecessors on water consumption and productivity of winter wheat in the left-bank forest-steppe zone of Ukraine. *Bulletin of the Poltava State Agrarian Academy*, 1, 122–127. doi: 10.31210/visnyk2021.01.14 [In Ukrainian]

7. Gangur, V. V., Kocherga, A. A., Pypko, O. S., Kabak, Yu. I., & Len, O. I. (2020). Effect of mineral fertilizers on water consumption and productivity of winter wheat. *Bulletin of the Poltava State Agrarian Academy*, 3, 54–60. doi: 10.31210/visnyk2020.03.06 [In Ukrainian]

8. Martyniuk, S., Pikuła, D., & Kozieł, M. (2019). Soil properties and productivity in two long-term crop rotations differing with respect to organic matter management on an Albic Luvisol. *Scientific Reports*, 9, Article 1878. doi: 10.1038/s41598-018-37087-4

9. Hospodarenko, H., Mostoviak, I., Karpenko, V., Liubych, V., & Novikov, V. (2022). Yield and quality of winter durum wheat grain depending on the fertiliser system. *Scientific Horizons*, 25(3), 16–25. doi: 10.48077/scihor.25(3).2022.16-25

10. Demydenko, O., Bulygin, S., Velychko, V., Kaminsky, V., & Tkachenko, M. (2021). Soil moisture potential of agrocenoses in the Forest-Steppe of Ukraine. *Agricultural Science and Practice*, 8(2), 49–61. doi: 10.15407/agrisp8.02.049

11. Liu, D. L., Zeleke, K. T., Wang, B., Macadam, I., Scott, F., & Martin, R. J. (2017). Crop residue incorporation can mitigate negative climate change impacts on crop yield and improve water use efficiency in a semiarid environment. *European Journal of Agronomy*, 85, 51–68. doi: 10.1016/j.eja.2017.02.004

12. Subhan, A., Khan, Q. U., Mansoor, M., & Khan, M. J. (2017). Effect of organic and inorganic fertilizer on the water use efficiency and yield attributes of wheat under heavy textured soil. *Sarhad Journal of Agriculture*, 33(4), 582–590. doi: 10.17582/journal.sja/2017/33.4.582.590

UDC 631.452:631.81.86

Ivanina, V. V.^{*}, & **Prokopiuk, T. P.** (2024). The influence of fertilisation and crop rotation structure on soil moisture availability and water consumption by winter wheat. *Scientific Papers of the Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet*, 32, 6–13. <https://doi.org/10.47414/np.32.2024.316114> [In Ukrainian]

*Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet, NAAS of Ukraine, 25 Klinichna St., Kyiv, 03141, Ukraine, *e-mail: v_ivanina@ukr.net*

Purpose. To investigate the influence of fertilisation and crop rotation on the accumulation of moisture in the soil and water consumption by winter wheat crops. **Methods.** Long-term field and analytical. **Results.** Research data on the effect of fertilisers and crop rotation on soil moisture supply and water consumption by winter wheat is presented. It was found that the use of organic–mineral fertilisation systems in grass and grain crop rotation ensured the best conditions for the accumulation of moisture in the soil in the spring and its effective use by winter wheat crops. **Conclusions.** Cultivation of winter wheat in a grass and grain crop rotation resulted in the highest amount of moisture accumulation in the soil in the spring. The reserves of productive moisture in one- and one-and-a-half-meter layers of leached chernozem in the spring were higher than in grain and row crop rotation by 15–25 mm, and in row crop rotation by 9–19 mm. In grass and grain crop rotation, winter wheat used soil moisture most effectively under the conventional organic–mineral fertilisation system. Applying $N_{53}P_{42}K_{42} + 6.7$ t of manure per 1 ha of crop rotation ensured the water consumption by winter wheat of 282 m³/t, which was 141 m³/t less than in the control without fertilisers. Application of $N_{53}P_{42}K_{42}$ per 1 ha of crop rotation + by-products was determined to be effective: moisture consumption by winter wheat decreased by 110 m³/t compared to the control without fertilisers for an absolute indicator of 313 m³/t. In terms of crop rotation, the organic–mineral fertilisation systems reduced water consumption 1.5–1.7 times compared to the control without fertilisers.

Keywords: moisture; leached chernozem; fertilisers; water consumption; winter wheat.

Надійшла / Received 16.09.2024

Погоджено до друку / Accepted 24.10.2024

РОСЛИННИЦТВО

УДК 631.811:631.417.8-022.513.2

DOI: <https://doi.org/10.47414/nr.32.2024.314608>**Ефективність часткового заміщення макро добрив
нанохелатними мікродобривами для підживлення пшениці ярої**

 С. М. Каленська¹,  Н. В. Новицька^{1*},  В. В. Мельниченко²,
 О. П. Чубко³,  В. В. Фещенко⁴

¹Національний університет біоресурсів і природокористування України, вул. Героїв Оборони, 15, м. Київ, 03041, Україна, *e-mail: novitska@ukr.net

²Natural Fertilizers Limited, 23 Grattan Court, Celbridge, Co. Kildare, Ireland

³ТОВ «Агротехносоюз», вул. Заводська, 2, с. Путрівка, Фастівський р-н, Київська обл., 08623, Україна

⁴ПП «Поділля-Агрохімсервіс», вул. Максима Залізняка, 3, м. Умань, Черкаська обл., 20304, Україна

Мета. Установити вплив часткового заміщення основних макро добрив нанохелатними мікродобривами (НХМ) на продуктивність пшениці ярої. **Методи.** Дослідження проводили у 2019–2020 рр. на базі кафедри рослинництва Національного університету біоресурсів і природокористування України (м. Київ): польові дослідження – у навчально-науковій лабораторії «Демонстраційне колекційне поле сільськогосподарських культур», лабораторні – у лабораторіях «Якості насіння та садивного матеріалу» та «Аналітичні дослідження в рослинництві». Нанохелатні мікродобрива у відповідних до варіанту заміщення пропорціях вносили в підживлення пшениці м'якої ярої згідно з розробленою виробником добрив (Innoparmis Agrosience SRL) схемою заміщення у два етапи: на початку виходу в трубку (ВВСН 30–32) та на початку наливання зерна (ВВСН 71–75). Площа ділянки – 2 м², повторність – шестиразова. **Результати.** Часткове заміщення норми внесення нанохелатними мікродобривами може позитивно вплинути на врожайність пшениці й компенсувати до 30 % норми внесення кожного з макроелементів. У блоці заміщення мінерального азоту нанохелатними мікродобривами найвища достовірна врожайність досягала 3,97 т/га у варіанті N₄₀ + НХМ зі зниженням урожайності відносно контролю 2 на 16,7 %. У блоці заміщення фосфору середня врожайність була нижча й досягала максимального значення на рівні 3,52 т/га у варіантах P₄₀ + НХМ і P₃₀ + НХМ; у блоці заміщення калію зниження врожайності було ще більш суттєвим – вона не перевищувала 3,2 т/га. Відмічено значне зниження – на 3,7–13,1 % маси 1000 насінин у кожному з блоків заміщення макроелементів: 40–41 г за внесення лише N; 37–40 г за внесення лише фосфору або калію. **Висновки.** У системі удобрення зернових колосових культур (на прикладі пшениці) заміщення внесення азотних добрив нанохелатними мікродобривами можливе на 25–30 %, фосфорних і калійних – до 40 % від рекомендованої норми мінеральних добрив, врожайність при цьому становить відповідно 3,97 т/га (N₄₀ + НХМ), 3,52 т/га (P₄₀ + НХМ) і 3,24 т/га (K₄₀ + НХМ).

Ключові слова: нанохелатні мікродобрива; пшениця м'яка яра; підживлення; заміщення макроелементів; урожайність; якість зерна.

Вступ

Питання створення та впровадження нових екологічно безпечних і технологічних препаратів, які стимулюють підвищення ефективності використання рослинами поживних елементів мінеральних добрив і ґрунту, є актуальним для світової аграрної галузі [4, 34, 45]. Завдяки їх впровадженню збільшується врожайність польових культур, якість отриманої продукції та ефективність виробництва загалом [1, 15, 41]. Нанотехнології, зокрема, сьогодні є одними з ключових технологій для вдосконалення традиційних сільськогосподарських практик та тактики управління завдяки зменшенню та збереженню витрат ресурсів [25, 46].

Нанодобрива можуть подолати дефіцит макро- та мікроелементів за рахунок підвищення ефективності використання поживних речовин [31]. Використання нанодобрив має величезний потенціал, оскільки вони створені для регульованого вивільнення поживних речовин залежно від потреб сільськогосподарських культур і цим мінімізують диференціальні втрати. Зокрема, відомо, що азотні добрива характеризуються суттєвими втратами (до 50–70 %) з ґрунту через вимивання чи випаровування, що зрештою знижує їх ефективність і підвищує собівартість продукції [22, 35, 37]. На противагу мінеральним, наноформули азотитних добрив синхронізують «викид» добрива-N з попитом культури запобігаючи небажаним втратам, уникаючи взаємодії поживних речовин із ґрунтом, водою, повітрям та мікроорганізмами [7, 24]. Використання наноматеріалів на основі цеоліту, глини або хітозану суттєво зменшує втрати азоту за рахунок підвищення процесу його засвоєння [1, 23, 24]. Цеоліти, заряджені амонієм, здатні підвищувати розчинність фосфатних мінералів.

Пролонгована доступність усіх легованих поживних речовин для рослини упродовж повного періоду вирощування є вирішальним для сприяння проростанню, росту, цвітіння та плодоношення [19]. Зокрема, азотне добриво з наноматеріалами гідроксиапатиту вивільняє азот повільно та рівномірно упродовж двох місяців, тоді як традиційні азотні мінеральні добрива втрачають азот менш ніж за місяць з нерівномірним вивільненням, що знижує ефективність живлення рослин та негативно впливає на якість урожаю [17].

Контрольовано вивільнені нанодобрива (наночастки) поліпшують ріст і розвиток рослин, сприяють збільшенню врожайності та продуктивності. Добрива з наноструктурою можуть підвищити ефективність використання поживних речовин за допомогою таких механізмів як цільова доставка, повільне або контрольоване вивільнення. Вони можуть точно вивільнити свої активні інгредієнти у відповідь на екологічні тригери та біологічні вимоги [12, 36]. Зміни, які відбуваються в рослинах під впливом нанодобрив, також залежать від сортових особливостей та фази розвитку рослин [11, 27, 32]. Водночас використання нанопрепаратів у технологіях вирощування сільськогосподарських культур може викликати зниження техногенного навантаження на природне середовище [13, 14, 16].

Наночастки впливають на біологічні об'єкти на клітинному рівні, вносячи свою надлишкову енергію, що підвищує ефективність проходження процесів у рослинах, беруть участь у формуванні мікроелементного балансу, тобто є біоактивними. Наноформи таких металів, як залізо, цинк і мідь, на відміну від їх солей, потенційно менш токсичні [6, 18, 32]. Вони витрачаються поступово, генерують за потреби іони та електрони, швидко включаються в біохімічні реакції в момент утворення. Таким чином, досягається пролонгуючий ефект живлення рослин з величезної питомої поверхні (сотні квадратних метрів на один грам речовини), що містить безліч оточених оболонкою іонів. Препарати вносяться в мікродозах і не забруднюють середовище. Вони, беручи участь у процесах переносу електронів, посилюють дію ферментів, перетворюють нітрати в амонійний азот, розширюють можливості впливу на дихання клітин, фотосинтез, синтез ферментів і амінокислот, вуглеводний і азотний обмін, а також безпосередньо впливають на мінеральне живлення рослин. Маючи високу рухливість, взаємодіють один з одним і можуть конгломерувати на поверхні рослин, регулюючи цільові ефекти [28, 33, 35].

Установлено, що наночастки міді, заліза, цинку володіють бактерицидними властивостями й можуть доповнювати і підсилювати традиційні засоби захисту [6, 26]; наночастки заліза прискорюють ріст рослин, магнію – стимулюють фотосинтез рослин [8, 20].

Бактерицидна дія наночасток міді, заліза та цинку пояснюється тим, що в ґрунті вони поступово окислюються і створюють на поверхні насіння середовище, несприятливе для патогенної мікрофлори. При цьому уражаються (на відміну від рослин і живих істот) найменш енергоємні оболонки клітин бактерій, зокрема внаслідок інгібування ферментів дихального ланцюга [3, 20, 24, 29, 42].

Безсумнівні перспективи розвитку і широкого використання нанодобрих полягають у тому, що вони сприяють підвищенню врожайності, валових зборів сільськогосподарських культур та якості продукції; збільшують ефективність використання елементів живлення та їх цільове використання, позитивно позначаються на зниженні токсикологічного навантаження на довкілля завдяки значному зменшенню валових об'ємів внесення добрив та пестицидів [10, 13, 16].

Мета досліджень – установити вплив часткового заміщення основних макродобрих нанохелатними мікродобривами на продуктивність пшениці ярої.

Матеріали та методика досліджень

Польовий дрібноділянковий дослід закладали в навчально-науковій лабораторії «Демонстраційне колекційне поле сільськогосподарських культур» кафедри рослинництва Національного університету біоресурсів і природокористування України (м. Київ). Лабораторні дослідження проводили в лабораторіях кафедри рослинництва НУБіП України «Якості насіння та садивного матеріалу» та «Аналітичні дослідження в рослинництві».

Ґрунти ННВ «Демонстраційне колекційне поле сільськогосподарських культур» кафедри рослинництва переважно сірі лісові грубопилувато-легкосуглинкові за гранулометричним складом. Гумусовий горизонт цих ґрунтів досягає 50–60 см, уміст гумусу в орному шарі – 2,1–3,0 %, реакція ґрунтового розчину слабкокисла (рН = 5,8–6,1), щільність ґрунту – 1,1–1,2 г/см³, повна вологоємність ґрунту – 39–40 %.

За температурним режимом 2019 рік належить до нетипових, оскільки середня температура в період квітень – жовтень перевищувала багаторічне значення на 1,6 °С (16,5 °С). Слід відмітити, що нетиповими були квітень, вересень та серпень, а аномальними умовами характеризувався червень (Кс 2,4). Сумарна кількість опадів за цей період становила 302,5 мм, що на 61,1 мм менше за багаторічне значення, але основна їх частина випала в першій половині вегетації, що позитивно впливало на ріст та формування продуктивності ярих культур. ГТК за період квітень – жовтень становив 0,9, тобто засушливі умови, а в окремі місяці засушливим був лише червень (ГТК = 0,8), тоді як у квітні, травні та липні було достатнє зволоження. Серпень, вересень та жовтень характеризувалися сухими умовами (ГТК = 0,3–0,4), проте це несуттєво обмежувало продуктивність ранньостиглих культур (табл. 1).

Таблиця 1

Особливості погодних умов в роки проведення досліджень

Рік	Місяць							IV–X
	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	
Коефіцієнти суттєвості відхилення опадів*								
2019	0,3	1,1	-0,5	0,0	-0,8	-0,5	-0,9	-0,6
2020	-1,3	-0,8	-1,9	-1,2	-0,7	-0,8	1,5	-2,0
Гідротермічний коефіцієнт (ГТК)**								
2019	2,6	1,6	0,8	1,2	0,3	0,4	0,3	0,9
2020	0,1	0,4	0,2	0,5	0,3	0,1	2,3	0,5

* незафарбовані – типові умови (Кс -1 ... 1); блідо-синій – нетипові холодні умови (Кс -2 ... -1); блідо-оранжевий – нетипово теплі умови (Кс 1 ... 2); темно-оранжевий – аномальні, близькі до рідкісних (Кс > 2);

** ГТК > 1,6 – надмірне зволоження, ГТК 1,3–1,6 – вологі умови, ГТК 1,0–1,3 – слабкопосушливі умови, ГТК 0,7–1,0 – посушливі умови, ГТК 0,4–0,7 – дуже посушливі умови, ГТК < 0,4 – сухі умови.

Температурний режим 2020 р. був теж нетиповим (Кс 1,5), оскільки умови травня були нетипово прохолодними (Кс -1,4), червня – нетипово теплими (Кс 1,5), а вересень та жовтень були аномально жаркими. Сумарна кількість опадів за квітень – жовтень становила 156,6 мм, (на 207 мм менше багаторічного значення), а 45 % від нього випало в жовтні, тобто були непродуктивними для сільськогосподарських культур. За комплексом характеристик умови року були дуже посушливими (ГТК = 0,5), а в період активної вегетації рослин (квітень – вересень) характеризувався сухими умовами (за винятком липня – ГТК = 0,5). Схожі погоднокліматичні умови в роки проведення досліджень дали змогу пшениці ярій сформувати врожайність практично на одному рівні.

Дослідження 2019–2020 рр. були спрямовані на доведення можливості часткового заміщення основних макро добрив нанохелатними мікродобривами в системі удобрення пшениці ярої (табл. 2). У дослідженнях використовували зареєстровані в Україні нанохелатні мікродобрива (НХМ) виробництва Innoparmis Agroscience SRL (Registration Number: BE0799.218.434. Rue Cervantes, 4, 1190 – Forest. Belgium): НХМ Супер Мікро Плюс, НХМ Залізо 10 %, НХМ Фосфор 25 %, НХМ Калій 23 %, НХМ Цинк 20 %, НХМ Магній 25 %, НХМ Марганець 25 %, НХМ Кальцій 25 %, НХМ Мідь 15 %.

Нанохелатні мікродобрива у відповідних до варіанту заміщення пропорціях вносили в підживлення пшениці м'якої ярої згідно з розробленою виробником добрив (Innoparmis Agroscience SRL) схеми заміщення у два етапи: на початку виходу в трубку (ВВСН 30–32) та на початку наливання зерна (ВВСН 71–75).

Таблиця 2

Схема дослідження по частковому заміщенню макро добрив

№	Варіант удобрення	Норми (кг/га д. р.) внесення добрив										
		N	P	K	Супер Мікро Плюс	залізо 10 %	калій 23 %	цинк 20 %	фосфор 25 %	магній 25 %	марганець 25 %	мідь 15 %
0	Контроль 1 (без добрив)	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
1	Контроль 2 (N ₂₀ P ₆₀ K ₆₀ +N ₂₀ +N ₂₀)	60	60	60	–	–	–	–	–	–	–	–
2	N ₅₀ + НХМ	50	–	–	3	1	2	1	–	–	0,2	0,2
3	N ₄₀ + НХМ	40	–	–	3	1	2	1,5	–	–	0,2	0,2
4	N ₃₀ + НХМ	30	–	–	3	1	3	2	–	–	0,2	0,2
5	P ₅₀ + НХМ	–	50	–	4	1	3	2	–	–	0,2	0,2
6	P ₄₀ + НХМ	–	40	–	3	1	2	1	0,5	0,2	0,2	0,2
7	P ₃₀ + НХМ	–	30	–	3	1	2	1	1	0,5	0,2	0,2
8	P ₂₀ + НХМ	–	20	–	4	0,5	2	1	1,5	0,5	0,2	0,2
9	P ₁₀ + НХМ	–	10	–	4,5	–	2,5	1	2	–	0,2	0,2
10	K ₅₀ + НХМ	–	–	50	2	1	3	1	–	–	–	0,2
11	K ₄₀ + НХМ	–	–	40	2	1	3,5	1	–	–	–	0,2
12	K ₃₀ + НХМ	–	–	30	2	1	4	1	–	–	–	0,2
13	K ₂₀ + НХМ	–	–	20	2	1	5	1	–	–	–	0,2
14	K ₁₀ + НХМ	–	–	10	2	0,5	6	1	–	–	–	0,2

Дослідження проводили в посівах сорту пшениці м'якої ярої 'Елегія Миронівська', норма висіву – 5 млн схожих насінин на гектар, ширина міжряддя – 15 см. Мінеральні макро добрива вносили: N₂₀P₆₀K₆₀ – у передпосівну культивуацію + N₂₀ – на початку виходу в трубку (ВВСН 30–32) + N₂₀ – у фазі колосіння (ВВСН 51–59). 'Елегія Миронівська' – один із кращих ранніх сортів пшениці української селекції. Належить до високоврожайних пшениць сильного типу. Придатна для ранньої сівби і формує врожайність до 6,5 т/га. Висота рослин – 90–100 см, маса 1000 зерен – 46,7 г, натура зерна – 740 г/л, вміст «сирої» клейковини – 28 %, білка – 15,7 %, «сила» борошна – 320 о. а.

Дослідження проводили відповідно до методик проведення польових дослідів [40]. Розміщення ділянок систематичне. Польові дослідження проводили дрібноділянковим методом. Площа облікової ділянки – 5 м², за шестиразового повторення. Визначення врожайності основної та побічної продукції проводили поділяночно, методом суцільного обліку з використанням ручного комбайну Minibatt. Отриману масу зерна пшениці ярої перераховували на урожай з 1 га з урахуванням засміченості та вологості в перерахунку на 14 % (ДСТУ 7011:2009). Перед обмолочуванням відбирали «пробний сніп» з кожного варіанту з 1 м. п. для встановлення структури врожаю.

Якість зерна визначали в лабораторії «Аналітичні дослідження в рослинництві» з використанням методу інфрачервоної спектрометрії на приладі «ІНХМratec 1241 FOSS».

Статистично результати досліджень обробляли методом дисперсійного аналізу з використанням прикладної програми Statistica 10 [44].

Результати досліджень

Рослинний організм не може нормально функціонувати в умовах дефіциту або нестачі поживних речовин, адже вони регулюють ріст вегетативної маси та активізують ріст кореневої системи, приймають участь в утворенні органічних сполук та процесах фотосинтезу й синтезу хлорофілу, підвищують зимостійкість, стійкість до хвороб, шкідників та стресових умов, допомагають регулювати водний баланс, забезпечують транспорт цукрів та інших поживних речовин [39]. Зважаючи на проведені дослідження (табл. 3), жоден з макроелементів не здатен самостійно забезпечити нормальне протікання усіх важливих процесів в рослинах пшениці ярої. Водночас виключення будь-якого макроелемента із загального комплексу удобрення культури призводить до «просідання» того чи іншого життєво необхідного для рослини процесу, і як наслідок, негативно впливає на врожайність.

Таблиця 3

Урожайність пшениці ярої 'Елегія Миронівська' за заміщення макрообрив нанохелатними мікродобривами (2019–2020 рр.)

Варіант удобрення	2019	2020	Середнє	± до контролю 1		± до контролю 2		
				т/га	%	т/га	%	
0	Контроль 1 (без добрив)	2,35	2,15	2,25	–	–	–2,51	–52,7
1	Контроль 2 (N ₂₀ P ₆₀ K ₆₀ +N ₂₀ +N ₂₀)	4,94	4,57	4,76	+2,51	+211,6	–	–
2	N ₅₀ + НХМ	4,04	3,78	3,91	+1,66	+173,8	–0,85	–17,9
3	N ₄₀ + НХМ	4,08	3,85	3,97	+1,72	+176,4	–0,80	–16,7
4	N ₃₀ + НХМ	3,69	3,55	3,62	+1,37	+160,9	–1,14	–23,9
5	P ₅₀ + НХМ	3,42	3,31	3,37	+1,12	+149,8	–1,40	–29,3
6	P ₄₀ + НХМ	3,53	3,51	3,52	+1,27	+156,4	–1,24	–26,1
7	P ₃₀ + НХМ	3,54	3,49	3,52	+1,27	+156,4	–1,24	–26,2
8	P ₂₀ + НХМ	3,23	3,20	3,22	+0,97	+143,1	–1,55	–32,5
9	P ₁₀ + НХМ	2,87	2,83	2,85	+0,60	+126,7	–1,91	–40,1
10	K ₅₀ + НХМ	3,28	3,15	3,22	+0,97	+143,1	–1,55	–32,5
11	K ₄₀ + НХМ	3,29	3,18	3,24	+0,99	+144,0	–1,53	–32,0
12	K ₃₀ + НХМ	3,24	3,16	3,20	+0,95	+142,2	–1,56	–32,8
13	K ₂₀ + НХМ	2,86	2,82	2,84	+0,59	+126,2	–1,92	–40,3
14	K ₁₀ + НХМ	2,82	2,74	2,78	+0,53	+123,6	–1,98	–41,6
	HP _{0,05}	0,11	0,08	0,15	–	–	–	–

Зокрема, у варіанті досліді без добрив урожайність пшениці ярої становила лише 2,25 т/га, тобто зниження врожайності за відсутності внесення всієї норми мінеральних добрив досягло 53 %. Пшениця належить до азотозалежних польових культур і більш суттєво реагує

на відсутність мінерального азоту в системі удобрення, ніж фосфору і калію. Відсутність у системі живлення пшениці фосфорно-калійних мінеральних добрив (2–4 варіанти досліду) менш знижувала врожайність, лише на 16–24 %. Проте однокомпонентне мінеральне фосфорне або калійне живлення без азотних добрив знижувало врожайність більш суттєво – на 30–40 %.

Нанодобрива підтвердили свою високу фізіологічну активність шляхом швидшого включення в обмінні процеси в рослинах, проте врожайність пшениці ярої в блоках заміщення окремих макроелементів була менша на 20–30 %, ніж за внесення повної норми NPK через неповну реалізацію генетичного потенціалу продуктивності та нижчі параметри ряду інших ознак, які прямо впливають на врожайність – густина стояння посівів, площа листкової поверхні, виживання. Це пояснюється тим, що всі макро- і мікроелементи рівнозначні у фізіологічному відношенні і роль їх у формуванні врожаю різна залежно від ступеня задоволення потреб рослин. Рівень урожаю найбільше залежить від того фактора, якого рослині найбільше не вистачає, тобто від фактора, що знаходиться у найбільш глибокому мінімумі (закон Лібіха). Тому врожайність пшениці ярої, вирощеної за однокомпонентного удобрення нижча, ніж за комплексної норми NPK, оскільки елемент, який повністю відсутній або не знаходиться в потрібній кількості, заважає іншим поживним сполукам проявляти їх ефект або, принаймні, зменшує їх позитивну дію.

Як показали наші дослідження, часткове заміщення норми внесення макродобрив нанохелатними мікродобривами може позитивно вплинути на врожайність пшениці і компенсувати до 30 % норми внесення кожного з макроелементів. У блоці заміщення мінерального азоту нанохелатними мікродобривами (2–4 варіанти) найвища достовірна врожайність досягала 3,97 т/га на варіанті N₄₀+НХМ зі зниженням врожайності відносно контролю 2 на 16,7 %. У блоці заміщення фосфору середня врожайність була нижча і досягала максимального значення на рівні 3,52 т/га на варіантах P₄₀+НХМ і P₃₀+НХМ; в блоці заміщення калію зниження врожайності було ще більш суттєвим, урожайність пшениці не перевищувала 3,2 т/га (рис. 1).



Рис. 1. Середня за 2019–2020 рр. врожайність пшениці ярої ‘Елегія Миронівська’ в досліді із заміщенням макродобрив нанохелатними мікродобривами

На графічному зображенні (рис. 1) середньої за роки проведення досліджень урожайності пшениці ярої чітко прослідковується загальна для заміщення NPK

нанохелатними мікродобривами залежність, яка проявляється у деякому підвищенні (до певної межі) врожайності культури при зменшенні норми внесення макро добрив. Зокрема, врожайність у блоці заміщення азотних добрив врожайність зростає до заміщення нанодобривами 30 % рекомендованої норми, у блоці фосфорних і калійних в середньому до 45 % норми і становить відповідно 3,97 т/га ($N_{40} + НХМ$), 3,52 т/га ($P_{40} + НХМ$) і 3,24 т/га ($K_{40} + НХМ$) при врожайності на контролі 4,76 т/га. Таку суттєву частку заміщення мінеральних добрив нанодобривами можна пояснити позакореневим внесенням останніх безпосередньо на листя, що призводить до скорочення часової затримки між внесенням і поглинанням рослиною, а також високою ефективністю і швидкістю негайного використання поживних речовин, необхідних рослині в даний період часу для максимального росту та врожаю. Подібні результати досліджень відмічені в працях Hasan і Saad [9], які вказують про можливість 50 % заміщення мінеральних добрив добривами з наночастками, що зменшує надмірне використання мінеральних добрив і знижує токсичність ґрунту. Заміщення нанохелатними мікродобривами більше 50 % рекомендованої норми внесення мінеральних добрив є недоцільним через суттєве зниження врожайності культури.

Разом з цим варто відмітити досить високий загальний рівень урожайності (3–4 т/га) за вирощування пшениці ярої на понижених нормах внесення NPK. Компенсація NPK нанохелатними мікродобривами виробництва InnoFarmis Agrosience SRL, які у своєму складі містять наночастки фізіологічно важливих металів (мідь, залізо, магній та ін.) з високою біодоступністю, швидкістю поглинання рослинними клітинами та мінімальними втратами поживних речовин підтвердила високу ефективність. Наночастки мають велику площу поверхні, високу сорбційну здатність та кінетику з контрольованим вивільненням у цільових місцях, що робить їх «розумною» системою доставки. Тобто, перевага заміщення NPK нанохелатними мікродобривами по-перше в їх комплексному складі і по-друге – позакореневому внесенню, яке сприяє швидкому включенню в метаболічні процеси рослини без втрат і забруднення навколишнього середовища.

В оглядовій статті Alhasan [2] вказується, що позакореневе внесення нанодобрив безпосередньо призводить до скорочення часової затримки між внесенням і поглинанням рослиною під час фази швидкого росту, а також може покращити ефективність і швидкість негайного використання поживної речовини, необхідні рослині для максимального росту та врожаю. Застосування нанодобрив збільшило довжину колоса, кількість колосів, кількість насінин в колосі, масу насіння та кількість днів до повної стиглості. Загалом застосування нанобіологічних добрив збільшило ріст культур і покращило врожайність і компоненти врожайності завдяки подовженню періоду вирощування.

Внесення азоту в підживлення в кінці кушення – на початку виходу в трубку (III е. о.) та у фазі колосіння (VII е. о.) призводить до збільшення довжини, озерненості колоса і маси 1000 насінин, вповненості зерна і т. д., тому прийнято вважати, що замінити в повній мірі макроелемент азот на ряд мікроелементів неможливо. У наших дослідях аналіз показників індивідуальної продуктивності пшениці якої (табл. 4) засвідчив, що заміщення внесення азотних добрив нанохелатними мікродобривами можливе в незначних, на 20–30 %, нормах зменшення азоту, тоді як фосфорних і калійних – не вище 40–50 %. Зокрема, маса 1000 насінин пшениці ярої в блоках заміщення N, P і K нанодобривами перевищувала навіть показник 42,8 г на контролі з внесенням $N_{60}P_{60}K_{60}$ і досягала відповідно 41,2 г ($N_{40} + НХМ$), 40,5 г ($P_{30} + НХМ$) і 40,2 г ($K_{30} + НХМ$). Загалом слід відзначити значно нижчі – на 3,7–13,1 % відносно контролю показники маси 1000 насінин в кожному з блоків заміщення: 40–41 г за внесення лише N; 37–40 г за внесення лише фосфору або калію. За вирощування пшениці без добрив маса 1000 насінин становила лише 31,2 г, нижче контролю на 27 %.

По окремих варіантах заміщення мікроелементів нанохелатними мікродобривами – $N_{40} + НХМ$ та $K_{50-30} + НХМ$ відмічено також перевищення показників кількості зерен у колосі та маси зерна з колоса. Отримані результати співзвучні з результатами Hasan і Saad [9], Mardalipour та ін. [21], які у своїх дослідженнях теж показали перевагу обробки посівів пшениці нанодобривами над мінеральними добривами за площею листя, кількістю колосків,

кількістю зерен, масою 1000 зерен і врожайністю культури загалом. Joshi та ін. [14] відмічали збільшену вдвічі кількість зерен у колосі пшениці за обробки насіння перед сівбою нанодобривами.

Таблиця 4

Індивідуальна продуктивність рослин пшениці ярої ‘Елегія Миронівська’ залежно від заміщення макроелементів нанохелатними мікродобривами (середнє за 2019–2020 рр.)

Варіант удобрення	Висота рослин, см	Довжина колоса, см	Кількість зерен у колосі, шт.	Маса зерна з колоса, г	Маса 1000 насінин		
					г	% відносно контролю 2	
0	Контроль 1 (без добрив)	84,5	10,4	17,2	0,54	31,2	-27,1
1	Контроль 2 (N ₂₀ P ₆₀ K ₆₀ +N ₂₀ +N ₂₀)	85,7	11,8	26,5	1,13	42,8	-
2	N ₅₀ + НХМ	80,2	11,7	23,0	0,93	40,4	-5,6
3	N ₄₀ + НХМ	80,1	11,6	22,9	0,95	41,2	-3,7
4	N ₃₀ + НХМ	87,2	11,7	21,4	0,86	40,2	-6,1
5	P ₅₀ + НХМ	87,2	11,5	20,5	0,80	39,2	-8,4
6	P ₄₀ + НХМ	82,1	11,6	20,8	0,84	40,2	-6,1
7	P ₃₀ + НХМ	86,6	11,3	20,7	0,84	40,5	-5,4
8	P ₂₀ + НХМ	83,8	11,4	19,4	0,77	39,5	-7,7
9	P ₁₀ + НХМ	82,8	11,2	18,1	0,68	37,4	-12,6
10	K ₅₀ + НХМ	87,3	11,8	19,2	0,77	40,0	-6,5
11	K ₄₀ + НХМ	88,4	11,2	19,2	0,77	40,1	-6,3
12	K ₃₀ + НХМ	85,1	11,1	19,0	0,76	40,2	-6,1
13	K ₂₀ + НХМ	83,4	11,3	17,4	0,68	38,9	-9,1
14	K ₁₀ + НХМ	82,4	11,2	17,8	0,66	37,2	-13,1
HP _{0,05}		2,2	2,2	0,4	1,5	0,08	

Якісні показники зерна пшениці обумовлюються всім комплексом технологічних факторів, але визначальним є забезпечення рослин елементами живлення. Доведена можливість (табл. 5) підвищення якості зерна пшениці шляхом заміщення в технології вирощування мінеральних добрив нанохелатними мікродобривами. Внесення базових добрив N₆₀P₆₀K₆₀ під пшеницю озиму сприяло підвищенню синтезу білка в зерні – з 11,4 у варіанті без добрив до 14,8 %. За застосування НХМ у блоці заміщення азотних добрив (вар. 2–4) уміст білка в зерні збільшувався на 0,3–1,1 % відносно контрольного варіанту – від 15,1 до 15,9 %. Уміст білка в зерні зростав до 15,3–15,8 % за збільшення до 76 % частки заміщення мінеральних РК добрив нанодобривами – P_{10–20} + НХМ і K_{10–20} + НХМ. За підживлення посівів нанодобривами K_{50–30} + НХМ та P₅₀ + НХМ тенденція щодо збільшення вмісту білка в зерні зберігалася, але показники були дещо нижчими.

Подібні результати отримали також дослідники Sheoran та ін. [30], Zhang та ін. [38], які спостерігали за впливом позакореневого внесення нанодобрив цинку на ріст рослин пшениці і виявили перевищення більш ніж 20 % вмісту білка в зерні та значне збільшення фотосинтетичних пігментів порівняно зі звичайним позакореневим внесенням мінерального цинковмісного добрива. Також результати дворічного експерименту Behboudi та ін. [5] засвідчили збільшення вмісту білка в зерні за рахунок нанодобрив порівняно з контролем, як за умов повного зрошення, так і за умов посухи. Приріст був найвищим в умовах дефіциту води при обробці нано-Zn, дещо нижчим – нано-Si, внаслідок зниження врожайності в умовах посухи та збільшення вмісту азоту в зерні.

Таблиця 5

Якість зерна пшениці ярої 'Елегія Миронівська' залежно від заміщення макроелементів нанохелатними мікродобривами (середнє за 2019–2020 рр.)

Варіант удобрення	Вологість, %	Уміст білка, %	Натура зерна, г/л
0 Контроль 1 (без добрив)	11,0	11,4	680
1 Контроль 2 (N ₂₀ P ₆₀ K ₆₀ +N ₂₀ +N ₂₀)	11,1	14,8	717
2 N ₅₀ + НХМ	11,1	15,9	690
3 N ₄₀ + НХМ	11,1	15,1	655
4 N ₃₀ + НХМ	11,4	15,6	712
5 P ₅₀ + НХМ	11,5	14,3	667
6 P ₄₀ + НХМ	11,6	14,5	716
7 P ₃₀ + НХМ	11,6	15,1	720
8 P ₂₀ + НХМ	11,4	15,5	705
9 P ₁₀ + НХМ	11,8	15,3	709
10 K ₅₀ + НХМ	12,1	15,1	684
11 K ₄₀ + НХМ	12,0	15,0	666
12 K ₃₀ + НХМ	12,1	15,6	709
13 K ₂₀ + НХМ	12,3	15,8	671
14 K ₁₀ + НХМ	12,1	15,8	676
HP _{0,05}	1,2	0,6	28

Розрахунок кореляційної залежності ознак засвідчив (табл. 6), що заміщення основних макроелементів нанохелатними мікродобривами прямо впливає на формування урожайності пшениці, при цьому найбільше впливають азотні добрива ($r = 0,99$), дещо менше фосфорні ($r = 0,97$) та калійні ($r = 0,94$). Доведено чітку тісну пряму залежність умісту білка в зерні та частки нанохелатних мікродобрив – у блоці з внесенням азоту $r = 0,99$, у блоці з внесенням фосфору $r = 0,79$ та у блоці з внесенням калію $r = 0,69$.

Таблиця 6

Кореляція між різними ознаками пшениці залежно від заміщення нанодобривами (лінійна кореляція Пірсона)

Варіант	Вміст білка	Маса 1000 насінин	Натура	Урожайність
У блоці з внесенням азоту				
Удобрення	0,99**	-0,36*	-0,39*	0,99**
Вміст білка	–	0,06 ^{ns}	0,03 ^{ns}	0,93**
Маса 1000 насінин	–	–	0,99**	-0,32*
Натура	–	–	–	-0,34*
У блоці з внесенням фосфору				
Удобрення	0,79**	0,13 ^{ns}	-0,46*	0,97**
Вміст білка	–	0,15 ^{ns}	-0,76**	0,86**
Маса 1000 насінин	–	–	-0,01 ^{ns}	0,32*
Натура	–	–	–	-0,53**
У блоці з внесенням калію				
Удобрення	0,69**	0,69**	0,02 ^{ns}	0,94**
Вміст білка	–	-0,91**	-0,50**	-0,70**
Маса 1000 насінин	–	–	0,67**	0,68**
Натура	–	–	–	0,18 ^{ns}

* зв'язок статично значущий на рівні $p < 0,001$;

** зв'язок статично значущий на рівні $p < 0,05$; ns – зв'язок статично недостовірний, $p > 0,05$.

Висновки

Результати досліджень підтвердили можливість часткового заміщення окремих макроелементів нанохелатними мікродобривами виробництва Innofarmis Agrosience SRL у системі підживлення посівів пшениці ярої. У системі удобрення зернових колосових культур (на прикладі пшениці) заміщення внесення азотних добрив нанохелатними мікродобривами можливе на 25–30 %, фосфорних і калійних – до 40 % від рекомендованої норми мінеральних добрив, врожайність при цьому становить відповідно 3,97 т/га (N₄₀ + НХМ), 3,52 т/га (P₄₀ + НХМ) і 3,24 т/га (K₄₀ + НХМ). У деяких випадках заміщення NPK добрив відмічено перевищення на 3 % кількості зерен у колосі і на 5 % маси зерна з колоса.

Використана література

1. Abdel-Aziz H. M. M., Hasaneen M. N. A., Omer A. M. Nano chitosan-NPK fertilizer enhances the growth and productivity of wheat plants grown in sandy soil. *Spanish Journal of Agricultural Research*. 2016. Vol. 14, Iss. 1. Article e0902. doi: 10.5424/sjar/2016141-8205
2. Al-Juthery H. W. A., Lahmoud Nabil. R., Alhasan Ali. S. et al. Nano-Fertilizers as a Novel Technique for Maximum Yield in Wheat Biofortification (Article Review). *IOP Conference Series Earth and Environmental Science*. 2022. Vol. 1060. Article 012043. doi: 10.1088/1755-1315/1060/1/012043
3. Arora S., Sharma P., Kumar S. et al. Gold-nanoparticle induced enhancement in growth and seed yield of *Brassica juncea*. *Plant Growth Regulation*. 2012. Vol. 66. P. 303–310. doi: 10.1007/s10725-011-9649-z
4. Batsmanova L., Taran N., Konotop Y. et al. Use of a colloidal solution of metal and metal oxide-containing nanoparticles as fertilizer for increasing soybean productivity. *Journal of Central European Agriculture*. 2020. Vol. 21, Iss. 2. P. 311–319. doi: 10.5513/JCEA01/21.2.2414
5. Behboudi F., Tahmasebi Sarvestani Z., Kassae M. Z. et al. Evaluation of chitosan nanoparticles effects on yield and yield components of barley (*Hordeum vulgare* L.) under late season drought stress. *Journal of Water and Environmental Nanotechnology*. 2018. Vol. 3, Iss. 1. P. 22–39. doi: 10.22090/jwent.2018.01.003
6. Davarpanah S., Tehranifar A., Davarynejad G. et al. Effects of foliar applications of zinc and boron nano-fertilizers on pomegranate (*Punica granatum* cv. Ardestani) fruit yield and quality. *Scientia Horticulturae*. 2016. Vol. 210. P. 57–64. doi: 10.1016/j.scienta.2016.07.003
7. Dwivedi S., Saquib Q., Al-Khedhairi A. A., Musarrat J. Understanding the role of nanomaterials in agriculture. *Microbial Inoculants in Sustainable Agricultural Productivity* / D. P. Singh, H. B. Singh, R. Prabha (Eds). New Delhi, India : Springer, 2016. P. 271–288.
8. El-Feky S. A., Mohammed M. A., Khater M. S. et al. Effect of magnetite nano-fertilizer on growth and yield of *Ocimum basilicum* L. *International Journal of Indigenous Medicinal Plants*. 2013. Vol. 46, Iss. 3. P. 1286–1293.
9. Hasan B., Saad T. Effect of Nano Biological and Mineral Fertilizers on Growth and Yield of Wheat (*Triticum aestivum* L.). *Indian Journal of Ecology*. 2020. Vol. 46, Iss. 8. P. 97–101.
10. Heffer P., Prud'homme M. Fertilizer Outlook 2012–2016. International Fertilizer Industry Association (IFA). Paris, France, 2012.
11. Iqbal M., Raja N. I., Hussain M. et al. Effect of silver nanoparticles on growth of wheat under heat stress. *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions A: Science*. 2019. Vol. 43. P. 387–395. doi: 10.1007/s40995-017-0417-4
12. Iravani S. Green synthesis of metal nanoparticles using plants. *Green Chemistry*. 2011. Vol. 13. P. 2638–2650. doi: 10.1039/c1gc15386b
13. Joshi A., Kaur S., Dharamvir K. et al. Multi-walled carbon nanotubes applied through seed-priming influence early germination, root hair, growth and yield of bread wheat (*Triticum aestivum* L.). *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2018. Vol. 98, Iss. 8. P. 3148–3160. doi: 10.1002/jsfa.8818
14. Joshi A., Thakur N., Verma G. et al. Qualitative Assessment of MWCNT-Treated Grains of Some Food Cereals: Life Sciences-Botany. *International Journal of Life Science and Pharma Research*. 2022. L61–L73. doi: 10.22376/ijlpr.2023.13.1.SP1.L61-73

15. Kalenska S., Novytska N., Stolyarchuk T. et al. Nanopreparations in technologies of plants growing. *Agronomy Research*. 2021. Vol. 19(S1). P. 795–808. doi: 10.15159/AR.21.017
16. Kole C., Kole P., Randunu K. M. et al. Nanobiotechnology can boost crop production and quality: First evidence from increased plant biomass, fruit yield and phytomedicine content in bitter melon (*Momordica charantia*). *BMC Biotechnology*. 2013. Vol. 13. Article 37. doi: 10.1186/1472-6750-13-37
17. Kottegoda N., Munaweera I., Madusanka N., Karunaratne V. A green slow-release fertilizer composition based on urea-modified hydroxyapatite nanoparticles encapsulated wood. *Current Science*. 2011. Vol. 101, Iss. 1. P. 73–78. URL: <https://www.jstor.org/stable/24077865>
18. Kravchenko Y., Lopatko R., Aftandilyants Y., Trach V. The effect of colloidal nanoparticles on plant growth, phytotoxicity and crop yields. *Fertilizer Technology*. 2015. Vol. 1. P. 689–724.
19. Lateef A., Nazir R., Jamil N. et al. Synthesis and characterization of zeolite based nano-composite: An environment friendly slow release fertilizer. *Microporous and Mesoporous Materials*. 2016. Vol. 232. P. 174–183. doi: 10.1016/j.micromeso.2016.06.020
20. Long S. P., Zhu X. G., Naidu S. L., Ort D. R. Can improvement in photosynthesis increase crop yields? *Plant, Cell & Environment*. 2006. Vol. 29, Iss. 3. P. 315–330. doi: 10.1111/j.1365-3040.2005.01493.x
21. Mardalipour M., Zahedi H., Sharghi Y. Evaluation of Nano biofertilizer efficiency on Agronomic traits of Spring Wheat at Different Sowing Date. *Biological Forum*. 2014. Vol. 6, Iss. 2. Article 349.
22. Miao Y. F., Wang Z. H., Li S. X. Relation of nitrate N accumulation in dryland soil with wheat response to N fertilizer. *Field Crops Research*. 2015. Vol. 170. P. 119–130. doi: 10.1016/j.fcr.2014.09.016
23. Millan G., Agosto F., Vazquez M. et al. Use of clinoptilolite as a carrier for nitrogen fertilizers in soils of the Pampean regions of Argentina. *Ciencia e Investigación Agraria*. 2008. Vol. 35, Iss. 3. P. 293–302.
24. Panpatte D. G., Jhala Y. K., Shelat H. N., Vyas R. V. Microbial Inoculants in Sustainable Agricultural Productivity. *Nanoparticles: The next generation technology for sustainable agriculture*. New Delhi, India : Springer, 2016. P. 289–300.
25. Preetha S. P., Balakrishnan N. A Review of Nano Fertilizers and Their Use and Functions in Soil. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*. 2017. Vol. 62, Iss. 112. P. 3117–3133. doi: 10.20546/ijcmas.2017.612.364
26. Prasad T. N. V. K. V., Sudhakar P., Sreenivasulu Y. et al. Effect of nanoscale zinc oxide particles on the germination, growth and yield of peanut. *Journal of Plant Nutrition*. 2012. Vol. 35, Iss. 6. P. 905–927. doi: 10.1080/01904167.2012.663443
27. Rizwan M., Ali S., ur Rehman M. Z. et al. Effect of foliar applications of silicon and titanium dioxide nanoparticles on growth, oxidative stress, and cadmium accumulation by rice (*Oryza sativa*). *Acta Physiologiae Plantarum*. 2019. Vol. 41. Article 35. doi: 10.1007/s11738-019-2828-7
28. Sabir A., Yazar K., Sabir F. et al. Vine growth, yield, berry quality attributes and leaf nutrient content of grapevines as influenced by seaweed extract (*Ascophyllum nodosum*) and nanosize fertilizer pulverizations. *Scientia Horticulturae*. 2014. Vol. 175. P. 1–8. doi: 10.1016/j.scienta.2014.05.021
29. Servin A., Elmer W., Mukherjee A. et al. A review of the use of engineered nanomaterials to suppress plant disease and enhance crop yield. *Journal of Nanoparticle Research*. 2015. Vol. 17. Article 92. doi: 10.1007/s11051-015-2907-7
30. Sheoran P., Grewal S., Kumari S., Goel S. Enhancement of growth and yield, leaching reduction in *Triticum aestivum* using biogenic synthesized zinc oxide nanofertilizer. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*. 2021. Vol. 32. Article 101938. doi: 10.1016/j.bcab.2021.101938
31. Shukla P., Chaurasia P., Younis K. et al. Nanotechnology in sustainable agriculture: Studies from seed priming to post-harvest management. *Nanotechnology for Environmental Engineering*. 2019. Vol. 4. Article 11. doi: 10.1007/s41204-019-0058-2

32. Tripathi D. K., Singh S., Singh V. P. et al. Silicon nanoparticles more effectively alleviated UV-B stress than silicon in wheat (*Triticum aestivum*) seedlings. *Plant Physiology and Biochemistry*. 2017. Vol. 110. P. 70–81. doi: 10.1016/j.plaphy.2016.06.026
33. Verma S. K., Das A. K., Patel M. K. et al. Engineered nanomaterials for plant growth and development: A perspective analysis. *Science of The Total Environment*. 2018. Vol. 630. P. 1413–1435. doi: 10.1016/j.scitotenv.2018.02.313
34. Wang P., Lombi E., Zhao F. J., Kopittke P. M. Nanotechnology: a new opportunity in plant sciences. *Trends in Plant Science*. 2016. Vol. 21, Iss. 8. P. 699–712. doi: 10.1016/j.tplants.2016.04.005
35. Wang Z. H., Miao Y. F., Li S. X. Effect of ammonium and nitrate nitrogen fertilizers on wheat yield in relation to accumulated nitrate at different depths of soil in drylands of China. *Field Crops Research*. 2015. Vol. 183. P. 211–224. doi: 10.1016/j.fcr.2015.07.019
36. Yan A., Chen Z. Impacts of silver nanoparticles on plants: a focus on the phytotoxicity and underlying mechanism. *International Journal of Molecular Sciences*. 2019. Vol. 20, Iss. 5. Article 1003. doi: 10.3390/ijms20051003
37. Yang H., Xu M., Koide R. T. et al. Effects of ditch-buried straw return on water percolation, nitrogen leaching and crop yields in a rice-wheat rotation system. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2016. Vol. 96, Iss. 4. P. 1141–1149. doi: 10.1002/jsfa.7196
38. Zhang T., Sun H., Lv Z. et al. Using Synchrotron-Based Approaches To Examine the Foliar Application of ZnSO₄ and ZnO Nanoparticles for Field-Grown Winter Wheat. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2018. Vol. 66, Iss. 11. P. 2572–2579. doi: 10.1021/acs.jafc.7b04153
39. Важливість макро- та мікроелементів для розвитку рослин. *SuperAgronom*. 24 жовтня 2018. URL: <https://superagronom.com/blog/418-vajlivist-makro--ta-mikroelementiv-dlya-rozvitku-roslin>
40. Рожков А. О., Пузік В. К., Каленська С. М. та ін. Дослідна справа в агрономії. Книга 1: Теоретичні аспекти дослідної справи. Харків : Вид-во Майдан, 2016. 314 с.
41. Каленська С. М., Новицька Н. В. Ефективність нанопрепаратів в технології вирощування сої. *Plant and Soil Science*. 2020. Т. 11, № 3. С. 7–22. doi: 10.31548/agr2020.03.007
42. Лопатько К. Г., Афтандіянц Є. Г., Зазимко О. Застосування наночастинок металів–екологічно безпечна технологія вирощування пшениці озимої. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України*. 2011. Вип. 158. С. 119–125.
43. Нанотехнології в рослинництві / за ред. С. М. Каленської. Київ : Компринт, 2020. 460 с.
44. Присяжнюк О. І., Каражбей Г. М., Лещук Н. В. та ін. Статистичний аналіз агрономічних дослідних даних в пакеті Statistica 10 : методичні вказівки. Київ : Нілан-ЛТД, 2016. 54 с.
45. Копілевич В. А., Максін В. І., Каплуненко В. Г., Косінов М. В. Функціональні наноматеріали для потреб сільського господарства. *Вісник НАУ*. 2008. № 130. С. 349–354.
46. Якименко Ю., Цендровський В., Наритнюк Т. Місце України в світі нанотехнологій. *Дзеркало тижня*. 2008. № 29. С. 9–15.

References

1. Abdel-Aziz, H. M. M., Hasaneen, M. N. A., & Omer, A. M. (2016). Nano chitosan-NPK fertilizer enhances the growth and productivity of wheat plants grown in sandy soil. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 14(1), Article e0902. doi: 10.5424/sjar/2016141-8205
2. Al-Juthery, H. W. A., Lahmoud, Nabil. R., Alhasan, Ali. S., Al-Jassani, Nisreen. A. A., & Houria, A. (2022). Nano-Fertilizers as a Novel Technique for Maximum Yield in Wheat Biofortification (Article Review). *IOP Conference Series Earth and Environmental Science*, 1060, Article 012043. doi: 10.1088/1755-1315/1060/1/012043

3. Arora, S., Sharma, P., Kumar, S., Nayan, R., Khanna, P. K., & Zaidi, M. G. H. (2012). Gold-nanoparticle induced enhancement in growth and seed yield of *Brassica juncea*. *Plant Growth Regulation*, 66, 303–310. doi: 10.1007/s10725-011-9649-z
4. Batsmanova, L., Taran, N., Konotop, Y., Kalenska, S., & Novytska, 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. Behboudi, F., Tahmasebi Sarvestani, Z., Kassae, M. Z., Modares Sanavi, S. A. M., Sorooshzadeh, A., & Ahmadi, S. B. (2018). Evaluation of chitosan nanoparticles effects on yield and yield components of barley (*Hordeum vulgare* L.) under late season drought stress. *Journal of Water and Environmental Nanotechnology*, 3(1), 22–39. doi: 10.22090/jwent.2018.01.003
6. Davarpanah, S., Tehranifar, A., Davarynejad, G., Abadía, J., & Khorasani, R. (2016). Effects of foliar applications of zinc and boron nano-fertilizers on pomegranate (*Punica granatum* cv. Ardestani) fruit yield and quality. *Scientia Horticulturae*, 210, 57–64. doi: 10.1016/j.scienta.2016.07.003
7. Dwivedi, S., Saquib, Q., Al-Khedhairi, A. A., & Musarrat, J. Understanding the role of nanomaterials in agriculture. In D. P. Singh, H. B. Singh, & R. Prabha (Eds.), *Microbial Inoculants in Sustainable Agricultural Productivity*. New Delhi, India: Springer, 2016. P. 271–288.
8. El-Feky, S. A., Mohammed, M. A., Khater, M. S., Osman, Y. A., & Elsherbini, E. (2013). Effect of magnetite nano-fertilizer on growth and yield of *Ocimum basilicum* L. *International Journal of Indigenous Medicinal Plants*, 46(3), 1286–1293.
9. Hasan, B., & Saad, T. (2020). Effect of Nano Biological and Mineral Fertilizers on Growth and Yield of Wheat (*Triticum aestivum* L.). *Indian Journal of Ecology*, 46(8), 97–101.
10. Heffer, P., & Prud'homme, M. (2012). *Fertilizer Outlook 2012–2016*. International Fertilizer Industry Association (IFA). Paris, France.
11. Iqbal, M., Raja, N. I., Mashwani, Z.-U.-R., Hussain, M., Ejaz, M., & Yasmeen, F. (2017). Effect of silver nanoparticles on growth of wheat under heat stress. *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions A: Science*, 43, 387–395. doi: 10.1007/s40995-017-0417-4
12. Irvani, S. (2011). Green synthesis of metal nanoparticles using plants. *Green Chemistry*, 13, 2638–2650. doi: 10.1039/c1gc15386b
13. Joshi, A., Kaur, S., & Dharamvir, K. (2018). Multi-walled carbon nanotubes applied through seed-priming influence early germination, root hair, growth and yield of bread wheat (*Triticum aestivum* L.). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 98(8), 3148–3160. doi: 10.1002/jsfa.8818
14. Joshi, A., Thakur, N., & Verma, G. (2022). Qualitative assessment of MWCNT-treated grains of some food cereals: life sciences-botany. *International Journal of Life Science and Pharma Research*, L61–L73. doi: 10.22376/ijlpr.2023.13.1.SP1.L61-73
15. Kalenska, S., Novytska, N., Stolyarchuk, T., Kalenskyi, V., Garbar, L., Sadko, M., Shutiy, O., & Sonko, R. (2021). Nanopreparations in technologies of plants growing. *Agronomy Research*, 19(S1), 795–808. doi: 10.15159/AR.21.017
16. Kole, C., Kole, P., Randunu, K. M., Choudhary, P., Podila, R., Ke, P. C., Rao, A. M., & Marcus, R. K. (2013). Nanobiotechnology can boost crop production and quality: First evidence from increased plant biomass, fruit yield and phytomedicine content in bitter melon (*Momordica charantia*). *BMC Biotechnology*, 13, Article 37. doi: 10.1186/1472-6750-13-37
17. Kottogoda, N., Munaweera, I., Madusanka, N., & Karunaratne, V. (2011). A green slow-release fertilizer composition based on urea-modified hydroxyapatite nanoparticles encapsulated wood. *Current Science*, 101(1), 73–78. <https://www.jstor.org/stable/24077865>
18. Kravchenko, Y., Lopatko, R., Aftandilyants, Y., & Trach, V. (2015). The effect of colloidal nanoparticles on plant growth, phytotoxicity and crop yields. *Fertilizer Technology*, 1, 689–724.
19. Lateef, A., Nazir, R., Jamil, N., Alam, S., Shah, R., Khan, M. N., & Saleem, M. (2016). Synthesis and characterization of zeolite based nano-composite: An environment friendly slow

- release fertilizer. *Microporous and Mesoporous Materials*, 232, 174–183. doi: 10.1016/j.micromeso.2016.06.020
20. 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
21. Mardalipour, M., Zahedi, H., & Sharghi, Y. (2014). Evaluation of Nano biofertilizer efficiency on Agronomic traits of Spring Wheat at Different Sowing Date. *Biological Forum*, 6(2), Article 349.
22. Miao, Y. F., Wang, Z. H., & Li, S. X. (2015). Relation of nitrate N accumulation in dryland soil with wheat response to N fertilizer. *Field Crops Research*, 170, 119–130. doi: 10.1016/j.fcr.2014.09.016
23. Millan, G., Agosto, F., Vazquez, M., Botto, L., Lombardi, L., & Juan, L. (2008). Use of clinoptilolite as a carrier for nitrogen fertilizers in soils of the Pampean regions of Argentina. *Ciencia e Investigación Agraria*, 35(3), 293–302.
24. Panpatte, D. G., Jhala, Y. K., Shelat, H. N., & Vyas, R. V. (2016). Microbial Inoculants in Sustainable Agricultural Productivity. In *Nanoparticles: The next generation technology for sustainable agriculture* (pp. 289–300). New Delhi, India: Springer.
25. Preetha, S. P., & Balakrishnan, N. A (2017). Review of Nano Fertilizers and Their Use and Functions in Soil. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 62(112), 3117–3133. doi: 10.20546/ijcmas.2017.612.364
26. Prasad, T. N. V. K. V., Sudhakar P., Sreenivasulu, Y., Latha, P., Munaswamy, V., Reddy, K. R., Sreeprasad, T. S., Sajanlal, P. R., & Pradeep, T. (2012). Effect of nanoscale zinc oxide particles on the germination, growth and yield of peanut. *Journal of Plant Nutrition*, 35(6), 905–927. doi: 10.1080/01904167.2012.663443
27. Rizwan, M., Ali, S., ur Rehman, M. Z., Malik, S., Adrees, M., Qayyum, M. F., Alamri, S. A., Alyemeni, M. N., & Ahmad, P. (2019). Effect of foliar applications of silicon and titanium dioxide nanoparticles on growth, oxidative stress, and cadmium accumulation by rice (*Oryza sativa*). *Acta Physiologiae Plantarum*, 41, Article 35. doi: 10.1007/s11738-019-2828-7
28. Sabir, A., Yazar, K., Sabir, F., Kara, Z., Yazici, M. A., & Goksu, N. (2014). Vine growth, yield, berry quality attributes and leaf nutrient content of grapevines as influenced by seaweed extract (*Ascophyllum nodosum*) and nanosize fertilizer pulverizations. *Scientia Horticulturae*, 175, 1–8. doi: 10.1016/j.scienta.2014.05.021
29. Servin, A., Elmer, W., Mukherjee, A., De la Torre-Roche, R., Hamdi, H., White, J. C., Bindraban, P., & Dimkpa, C. (2015). A review of the use of engineered nanomaterials to suppress plant disease and enhance crop yield. *Journal of Nanoparticle Research*, 17, Article 92. doi: 10.1007/s11051-015-2907-7
30. Sheoran, P., Grewal, S., Kumari, S., & Goel, S. (2021). Enhancement of growth and yield, leaching reduction in *Triticum aestivum* using biogenic synthesized zinc oxide nanofertilizer. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 32, Article 101938. doi: 10.1016/j.bcab.2021.101938
31. Shukla, P., Chaurasia, P., Younis, K., Qadri, O. S., Faridi, S. A., & Srivastava, G. (2019). Nanotechnology in sustainable agriculture: Studies from seed priming to post-harvest management. *Nanotechnology for Environmental Engineering*, 4, Article 11. doi: 10.1007/s41204-019-0058-2
32. Tripathi, D. K., Singh, S., Singh, V. P., Prasad, S. M., Dubey, N. K., & Chauhan, D. K. (2017). Silicon nanoparticles more effectively alleviated UV-B stress than silicon in wheat (*Triticum aestivum*) seedlings. *Plant Physiology and Biochemistry*, 110, 70–81. doi: 10.1016/j.plaphy.2016.06.026
33. Verma, S. K., Das, A. K., Patel, M. K., Shah, A., Kumar, V., & Gantait, S. (2018). Engineered nanomaterials for plant growth and development: A perspective analysis. *Science of The Total Environment*, 630, 1413–1435. doi: 10.1016/j.scitotenv.2018.02.313
34. Wang, P., Lombi, E., Zhao, F.-J., & Kopittke, P. M. (2016). Nanotechnology: a new opportunity in plant sciences. *Trends in Plant Science*, 21(8), 699–712. doi: 10.1016/j.tplants.2016.04.005

35. Wang, Z. H., Miao, Y. F., & Li, S. X. (2015). Effect of ammonium and nitrate nitrogen fertilizers on wheat yield in relation to accumulated nitrate at different depths of soil in drylands of China. *Field Crops Research*, 183, 211–224. doi: 10.1016/j.fcr.2015.07.019
36. Yan, A., & Chen, Z. (2019). Impacts of silver nanoparticles on plants: a focus on the phytotoxicity and underlying mechanism. *International Journal of Molecular Sciences*, 20(5), Article 1003. doi: 10.3390/ijms20051003
37. Yang, H., Xu, M., Koide, R. T., Liu, Q., Dai, Y., Liu, L., & Bian, X. (2015). Effects of ditch-buried straw return on water percolation, nitrogen leaching and crop yields in a rice-wheat rotation system. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 96(4), 1141–1149. doi: 10.1002/jsfa.7196
39. The importance of macro- and microelements for plant development. (2018). *SuperAgronom*. Retrieved from <https://superagronom.com/blog/418-vajlivist-makro--ta-mikroelementiv-dlya-rozvitku-roslin> [In Ukrainian]
40. Rozhkov, A. O., Puzik, V. K., Kalenska, S. M., Puzik, L. M., Popov, S. I., Muzafarov, N. M., Bukhalo, V. Ya., & Kryshchop, E. A. (2016). *Research work in agronomy. Book 1: Theoretical aspects of the research case*. Kharkiv: Maidan. [In Ukrainian]
41. Kalenska, S. M., & Novytska, N. V. (2020). Efficiency of nano preparations in soybean growing technology. *Plant and Soil Science*, 11(3), 7–22. doi: 10.31548/agr2020.03.007 [In Ukrainian]
42. Lopatko, K. H., Aftandilants, Ye. H., & Zazymko, O. (2011). The use of metal nanoparticles is an environmentally safe technology for growing winter wheat. *Scientific reports of National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine*, 158, 119–125. [In Ukrainian]
43. Kalenska, S. M. (Eds.). (2020). *Nanotechnology in crop production*. Kyiv: Komprynt. [In Ukrainian]
44. Prysiashniuk, O. I., Karazhbei, H. M., Leshchuk, N. V., Tsyba, S. V., Mazhuha, K. M., Brovkin, V. V., Symonenko, V. A., & Maslechkin, V. V. (2016). *Statistical analysis of agronomic research data in the Statistica 10 package: methodological guidelines*. Kyiv: Nilan-LTD. [In Ukrainian]
45. Kopilevych, V. A., Maksin, V. I., Kaplunencko, V. H., & Kosinov, M. V. (2008). Functional nanomaterials for the needs of agriculture. *Bulletin of the National Agrarian University*, 130, 349–354. [In Ukrainian]
46. Yakymenko, Yu., Tsendrovskiy, V., & Narytniuk, T. (2008). Ukraine's place in the world of nanotechnology. *Dzerkalo tyzhnia*, 29, 9–15. [In Ukrainian]

UDC 633.34:631.5:631.8

Kalenska, S. M.¹, Novytska, N. V.^{1*}, Melnychenko, V. V.², Chubko, O. P.³, & Feshchenko, V. V.⁴ (2024). Efficiency of partial replacement of macro fertilisers with nano chelates for spring wheat. *Scientific Papers of the Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet*, 32, 14–29. <https://doi.org/10.47414/np.32.2024.314608> [In Ukrainian]

¹National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, 15 Heroiv Oborony St., Kyiv, 03041, Ukraine, *e-mail: novytska@ukr.net

²Natural Fertilizers Limited, 23 Grattan Court, Celbridge, Co. Kildare, Ireland

³“Agrotechonsoiuz” LLC, 2 Zavodska St., Putrivka, Fastivskiyi district, Kyiv region, 08623, Ukraine

⁴PE “Podillia-Agrochemical Service”, 3 Maksym Zalizniak St., Uman, Cherkasy region, 20304, Ukraine

Purpose. To determine the effect of partial replacement of basic macro fertilisers with nano chelate micro fertilisers (NCMF) on the spring wheat productivity. **Methods.** The study was conducted in 2019–2020 at the Plant Breeding Department of the National University of Bioresources and Nature Management of Ukraine (Kyiv). Field experiments were carried out at the educational and scientific laboratory Demonstration and Collection Crop Field. Laboratory analyses were

performed at the laboratories Quality of Seeds and Planting Material and Analytical Studies in Crop Production. Nano chelate micro fertilisers were used according to the replacement scheme developed by the manufacturer (Innoparmis Agrosience SRL) in two stages: at the beginning of the stem emergence (BBCH 30–32) and at the beginning of grain filling (BBCH 71–75). A single plot area was 2 m² in six replications. **Results.** Partial replacement of the application rate with nano chelate micro fertilisers can have a positive effect on wheat yield and compensate for up to 30% of the application rate of each of the macronutrients. In the block of replacing mineral nitrogen with nano chelate micro fertilisers, the highest reliable yield reached 3.97 t/ha in the N₄₀ + NCMF treatment with a 16.7% decrease in yield relative to control 2. In the block of phosphorus substitution, the average yield was lower and reached the maximum value of 3.52 t/ha in the treatments P₄₀ + NCMF and P₃₀ + NCMF. In the block of potassium replacement, yield reduction was even more significant: it did not exceed 3.2 t/ha. A significant decrease of the 1000-kernel weight by 3.7–13.1% was recorded in each of the blocks of macronutrient replacement: 40–41 g for application of only N; 37–40 g for applying only phosphorus or potassium. **Conclusions.** In the fertilization system for grain crops (for example, wheat), it is possible to replace nitrogen fertilisers with nano chelate micro fertilisers by 25–30%, phosphorus and potassium by up to 40% of the recommended rate of mineral fertilisers. The yield values in these cases were 3.97 t/ha (N₄₀ + NCMF), 3.52 t/ha (P₄₀ + NCMF), and 3.24 t/ha (K₄₀ + NCMF).

Keywords: nano chelate micro fertilisers; bread spring wheat; nutrition; replacement of macronutrients; crop yield; grain quality.

Надійшла / Received 12.08.2024

Погоджено до друку / Accepted 27.09.2024

УДК 633.854.78

DOI: <https://doi.org/10.47414/np.32.2024.319650>

Формування продуктивності соняшнику за вирощування в умовах північно-східного регіону України

 Р. С. Бондарець*,  І. В. Верещагін

Сумський національний аграрний університет, вул. Герасима Кондратьєва, 160, м. Суми, 4000, Україна, *e-mail: roman2016y@gmail.com

Мета. Установити ефективність вирощування гібридів соняшнику (*Helianthus annuus*) у північно-східних регіонах України. **Методи.** Польові дослідження проводили впродовж 2020–2024 рр. у Лівобережному Лісостепу України, на межі двох ґрунтово-кліматичних зон – Лісостепу і Полісся. **Результати.** За показниками середньої врожайності соняшнику в умовах північно-східних регіонів України очевидно, що ця культура неухильно завойовує популярність у виробників. У середньому за трьома областями врожайність культури щорічно переважає показники, отримані загалом по країні. Зокрема, в умовах 2020 року було отримано на 0,73 т/га більший урожай насіння, у 2021-му – на 0,30, а у 2022 р. – 0,25 т/га. Також, у 2022 році за середньої по Україні врожайності насіння соняшнику 2,16 т/га в Сумській області отримано 2,62, у Харківській – 2,29, а в Чернігівській – 2,32 т/га. Натомість, умови 2023 року засвідчили, що до вирощування цієї культури в північно-східному регіоні України слід ставитись дуже зважено, адже за середнього по Україні показника врожайності на рівні 2,45 т/га лише в Чернігівській області отримано 3,16 т/га, тоді як у Сумській та Харківській – 2,38 та 2,18 т/га відповідно. Таким чином, середня врожайність культури в цих трьох областях була на 0,08 т/га меншою, ніж загалом по Україні. **Висновки.** В умовах

Сумської, Харківської та Чернігівської областей вирощування соняшнику набуло доволі серйозних промислових масштабів, що зумовлює потребу в розробленні сучасних та ефективних елементів агротехнології. Адже, в середньому за останні чотири роки зібрана площа становить 17,7 %, а обсяг виробництва – 19,8 % від сумарних показників вирощування соняшнику в Україні. При цьому середня врожайність насіння культури становила 2,54 т/га, тоді як за період 2020–2024 рр. в середньому по Україні збирали лише 2,21 т/га.

Ключові слова: *урожайність насіння; валовий збір; площа вирощування.*

Вступ

Вирощування соняшнику в північно-східному регіоні України має певні особливості через кліматичні умови, ґрунти та ризики, пов'язані із цим регіоном. Передусім, до північно-східного регіону України входять такі області, як Сумська, Харківська та Чернігівська (остання частково, оскільки її північна частина також входить до Полісся). Цей регіон характеризується помірно континентальним кліматом із холодними зимами та теплим, вологим літом, що має важливе значення для аграрного сектору, зокрема для вирощування сільськогосподарських культур, як-от соняшник [1–3].

Отже, при плануванні вирощування соняшнику в умовах Сумської, Харківської та частини Чернігівської областей слід враховувати той факт, що в північно-східній частині України клімат відрізняється прохолоднішими веснами та осінню, ніж у південних регіонах, а також більшою кількістю опадів навесні та на початку літа. Ці умови можуть призвести до затримки сівби і знижують інтенсивність процесів росту й розвитку рослин на початку вегетаційного періоду, коли вони й так розвиваються досить повільно. Водночас достатня кількість вологи в ґрунті сприяє гарному старту рослин і забезпечує достатнє зволоження на ранніх етапах росту [4–6].

Однак, недостатній рівень забезпечення активними температурами повітря призводить до того, що для північно-східного регіону доцільно обирати холодостійкі та високоврожайні гібриди соняшнику, здатні добре переносити коливання температур. Важливо віддавати перевагу ранньостиглим або середньораннім гібридам, щоб уникнути ризику потрапляння в осінні приморозки, оскільки й так застосовуються більш пізні строки сівби [7, 8].

Оптимальні строки сівби в північно-східному регіоні – кінець квітня або початок травня. Температура ґрунту на глибині сівби (5–7 см) має становити щонайменше +10–12 °С, а глибина загортання насіння повинна бути від 5 до 7 см залежно від вологості ґрунту [9].

У регіоні проведення досліджень ґрунти зазвичай мають низький рівень гумусу, тому важливо забезпечити якісну підготовку ґрунту зі внесенням достатньої кількості добрив. Адже, ґрунти з низьким вмістом гумусу, здебільшого, відзначаються і схильністю до переущільнення в процесі вегетації культури, а також проблемами з доступністю елементів живлення. Також додаткові складнощі спричиняє й підвищена кислотність ґрунтів. Однозначно, що кінцеві рекомендації по формуванню доз добрив слід робити за агрохімічним аналізом ґрунту, проте загалом рекомендується внесення фосфорних, калійних та азотних добрив, оскільки ці елементи сприяють розвитку кореневої системи та формуванню кошика [7, 8, 10].

Під час вегетації необхідно контролювати бур'яни, шкідники й хвороби. Для цього обов'язково слід висівати лише насіння, оброблене захисно-стимулювальними речовинами, а під час вегетації застосовувати гербіциди, фунгіциди та інсектициди. У північно-східному регіоні, в першій половині вегетації, досить високим є ризик розвитку таких хвороб, як фомоз, фомопсис та іржа, а надалі можуть розвиватися біла й сіра гниль, альтернarios, переноспоров, тому профілактичне застосування фунгіцидів є обов'язковим етапом сучасної технології догляду за посівами [11–13].

Зазвичай цей регіон України забезпечений опадами в достатній кількості, але у разі посухи в період бутонізації та цвітіння необхідно забезпечити додатковий полив. Це допоможе зберегти потенціал урожайності, оскільки нестача вологи під час цвітіння значно впливає на формування насіння [14, 15].

Збирання соняшнику рекомендується проводити, коли вологість насіння становить 12–14 %. Проте, попри шаблонні рекомендації, що збирання потрібно проводити за досягнення цієї вологості, на практиці цю агротехнічну операцію слід планувати своєчасно, щоб уникнути втрат через вилягання або враження збудниками хвороб. Оскільки в осінній період, за наявності затяжних дощів, рослини соняшника можуть пошкоджуватись різноманітними гнилями, зокрема сірою (*Botrytis cinerea* Pers.), що спричиняє фізичне знищення врожаю навіть на пізніх стадіях ураження рослин [16–18].

Вирощування соняшнику в північно-східному регіоні України потребує врахування кліматичних особливостей, правильного вибору гібридів, ретельного догляду за ґрунтом та контролювання шкідників й хвороб. З правильним підходом цей регіон може забезпечити досить високий урожай та якісне насіння соняшнику [19].

Мета досліджень – установити ефективність вирощування гібридів соняшнику (*Helianthus annuus*) у північно-східних регіонах України.

Матеріали та методика досліджень

Дослідження проводили в умовах фермерського господарства «Початок», що розташоване в Бахмацькому районі Чернігівської області в перехідній зоні між Поліссям і Лісостепом, з помірно-континентальним кліматом. Середня температура влітку становить близько +20 °С, а взимку коливається від –6 до –8 °С. Період вегетації триває в середньому 200–210 діб, а теплий період із середньодобовою температурою понад +15 °С – 110 діб. Річна сума температур понад +10 °С становить 2500–2600 °С. Безморозний період на поверхні ґрунту триває приблизно 135–140 діб. Щорічна кількість опадів становить 550–600 мм, причому близько 75 % випадає з квітня до жовтня.

Ґрунтовий покрив району різноманітний – від підзолистих ґрунтів до типових чорноземів. Лісистість становить лише 12 %, а сільськогосподарські угіддя займають 80 % території, з яких 76 % – це рілля. Основні типи ґрунтів: дерново-підзолисті (2,6 тис. га), сірі лісові та дернові (3,2 тис. га), темно-сірі й опідзолені чорноземи (16,5 тис. га), типові чорноземи та лучно-чорноземні й лучні ґрунти (77,3 тис. га).

Темно-сірі ґрунти й опідзолені чорноземи займають значну площу. Це легкосуглинкові ґрунти зі вмістом гумусу в межах 1,82–2,86 % (у середньому 2,47 %). Реакція ґрунтового розчину нейтральна або близька до нейтральної (рН 5,6–6,1). Вміст рухомого фосфору підвищений (120–160 мг/кг ґрунту), обмінного калію – середній (98–113 мг/кг ґрунту), а кальцію й магнію – 8,4 і 1,7 мг-екв/100 г ґрунту відповідно. Оцінка цих ґрунтів становить 45–58 балів.

Чорноземи й лучні ґрунти є найбільш поширеними на орних землях району (77,3 тис. га). Це легкосуглинкові ґрунти з вмістом гумусу від 2,68 до 3,69 % (у середньому 3,13 %). Реакція ґрунтового розчину нейтральна (рН 5,8–6,2). Вміст рухомого фосфору становить 122–144 мг/кг ґрунту, обмінного калію – 91–100 мг/кг ґрунту, кальцію й магнію – 10,6 і 2,2 мг-екв/100 г відповідно. Ці ґрунти є найродючішими, їх бальна оцінка – 67–75.

Для вирощування соняшнику проводили оранку на глибину 28–30 см. Після цього для знищення бур'янів і вирівнювання поверхні ґрунту виконували культивуацію на глибину 8–10 см. Навесні закриття вологи здійснювали за допомогою пружинної борони ЗПБ 18. Внесення добрив включало безводний аміак у кількості 123,3 кг/га діючої речовини азоту, а під час передпосівної культивуації додавали добрива у співвідношенні N₁₆P₃₈P₅₈, а при сівбі у зону рядка вносили комплексне добриво N₈P₂₄K₂₄S₅.

Для захисту посівів використовували ґрунтовий гербіцид Примекстра TZ Голд 500 у нормі 4 л/га. Для профілактики хвороб застосовували фунгіцид Пропульс у дозуванні 1 л/га разом із мікродобривом YaraVita BORTRAC 150 у нормі 1 л/га.

Польові дослідження та розрахунки виконували відповідно до загальноприйнятих методик [20].

Гібриди соняшнику висівали в третій декаді квітня, а сходи з'являлися 2–3 травня в усі роки досліджень. Повної стиглості (15 % вологості насіння) культури досягали наприкінці

серпня – після 25 числа. Збір урожаю проводили у вересні, коли вологість насіння становила 7 %, переважно в першій або другій декаді місяця.

Обліковували врожайність соняшнику проводили методом зважування за прямого комбайнування кожної облікової ділянки.

Результати досліджень

В умовах 2020 року соняшником в Україні було засіяно 6480,9 тис. га, у 2021-му – 6665,1 тис. га, коли сумарно на три області припадає відповідно 1125,4 та 1090,8 тис. га, тобто 17,4 та 16,4 % від загального розподілу площ по регіонах. Зважаючи на те, що соняшник наразі вирощують в усіх регіонах України, це доволі серйозна площа (рис. 1).

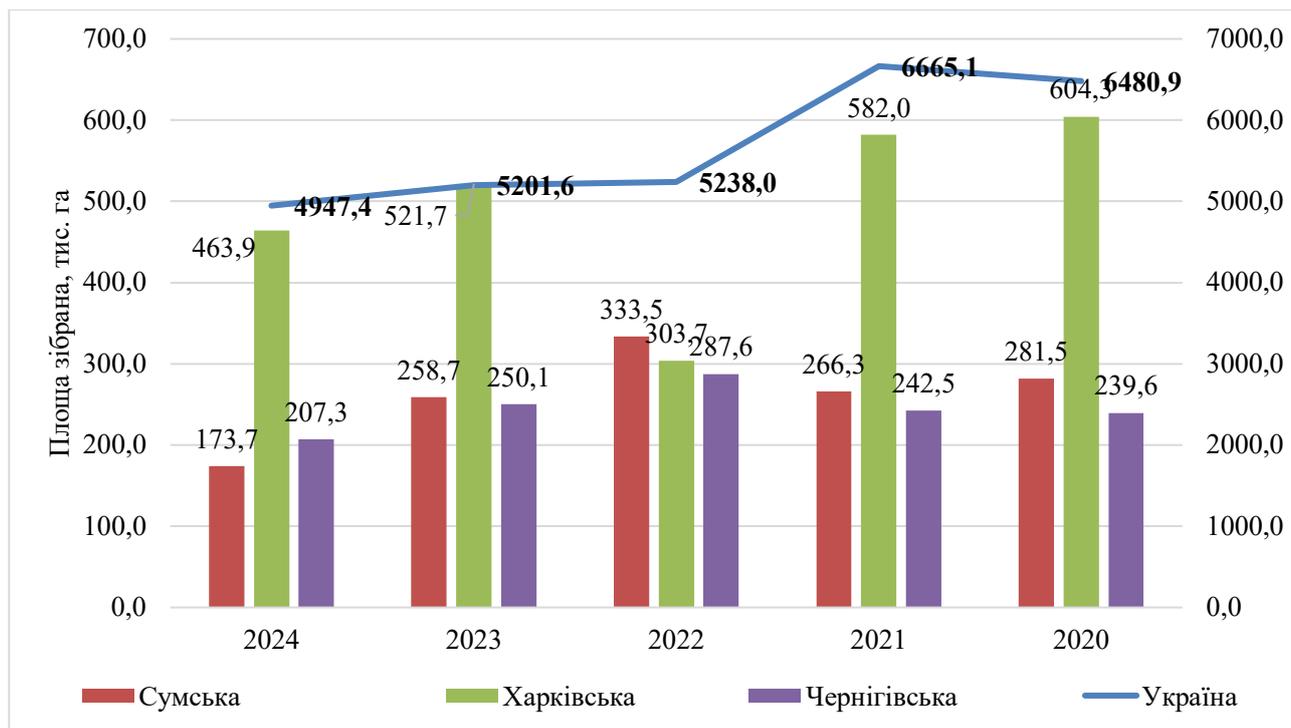


Рис. 1. Площі, зайняті під вирощування соняшнику в північно-східних областях та Україні загалом у 2020–2024 рр.

Також аналіз даних наступних років показує, що в умовах 2022 року соняшником загалом по країні було засіяно 5238,0 тис. га, у 2023-му – 5201,6 тис. га і у 2024 – 4947,4 тис. га, тоді як сумарно на три області припадає відповідно 924,8 та 1030,5 та 844,9 тис. га, тобто 17,7; 19,8 та 17,1 % від загального розподілу площ за регіонами.

Окрім того обсяг виробництва або ж валовий збір соняшнику також неухильно зростає, що є фактичним мотиватором виробничників ставитись серйозно до вирощування цієї культури (рис. 2).

При цьому бачимо, що в умовах 2020 року валовий збір становив 22,3 % від загального збору соняшнику по Україні, у 2021-му – 17,7, 2022-му – 19,8, 2023-му – 18,7, а в умовах 2024-го – 20,2 %.

За показниками середньої врожайності соняшнику в умовах північно-східних регіонів України очевидно, що культура неухильно завойовує популярність у виробничників (рис. 3). У середньому за трьома областями врожайність культури щорічно переважає показники, отримані загалом по країні. Зокрема, в умовах 2020 року було отримано на 0,73 т/га більший урожай насіння, у 2021-му – на 0,30, а у 2022 р. – 0,25 т/га.

Також, у 2022 році за середньої по Україні врожайності насіння соняшнику 2,16 т/га в Сумській області отримано 2,62, у Харківській – 2,29, а в Чернігівській – 2,32 т/га. Натомість, умови 2023 року засвідчили, що до вирощування цієї культури в північно-східному регіоні

РОСЛИНИЦТВО

Україні слід ставитись дуже зважено, адже за середнього по Україні показника врожайності на рівні 2,45 т/га лише в Чернігівській області отримано 3,16 т/га, тоді як у Сумській та Харківській – 2,38 та 2,18 т/га відповідно. Таким чином, середня врожайність культури в цих трьох областях була на 0,08 т/га меншою, ніж загалом по Україні.

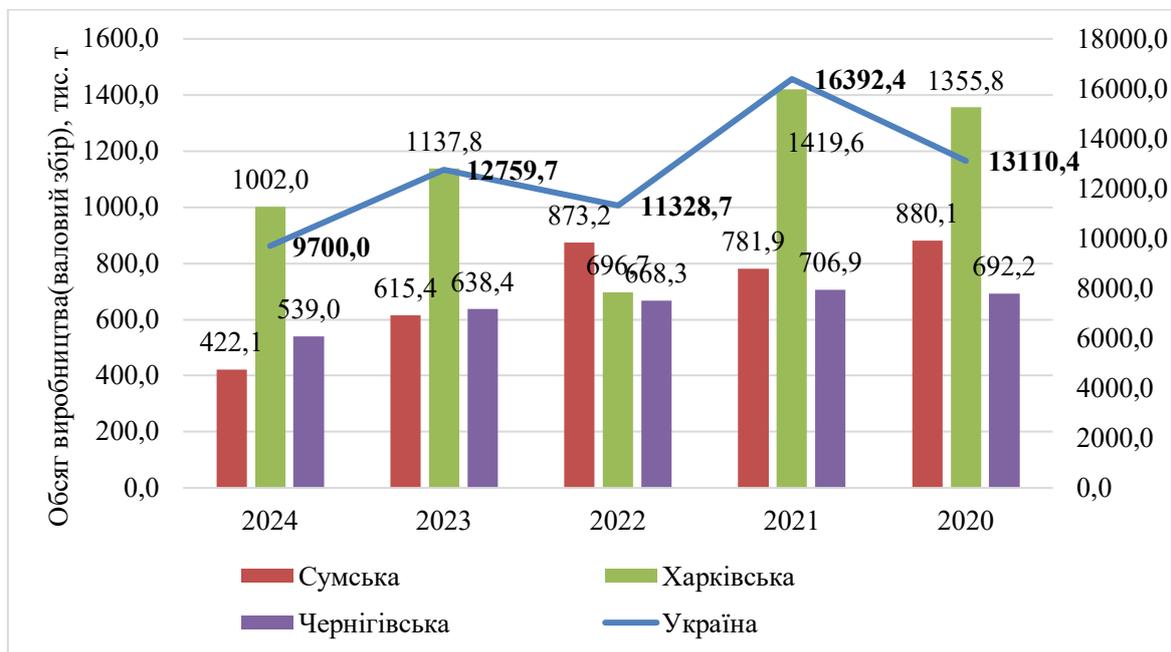


Рис. 2. Валовий збір соняшнику в північно-східних областях та Україні загалом у 2020–2024 рр.

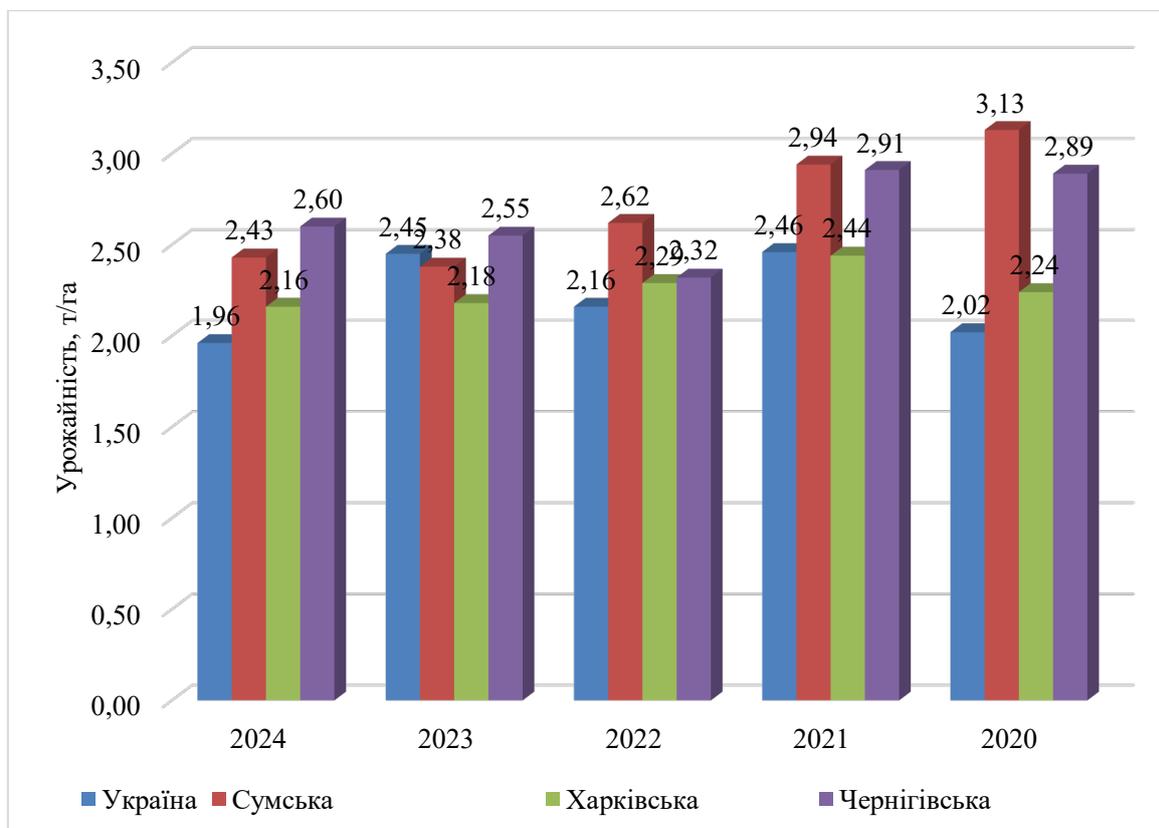


Рис. 3. Середня врожайність соняшнику в північно-східних областях та Україні загалом у 2020–2024 рр.

За загального дефіциту опадів в умовах вегетаційного періоду 2024 року в лісостеповій зоні України в північно-східних регіонах складались добрі умови для реалізації біологічного потенціалу соняшнику, тож загалом середня врожайність була на 0,44 т/га більшою, ніж по Україні.

Висновки

В умовах Сумської, Харківської та Чернігівської областей вирощування соняшнику набуло доволі серйозних промислових масштабів, що зумовлює потребу в розробленні сучасних та ефективних елементів агротехнології. Адже, в середньому за останні чотири роки зібрана площа становить 17,7 %, а обсяг виробництва – 19,8 % від сумарних показників вирощування соняшнику в Україні. При цьому середня врожайність насіння культури становила 2,54 т/га, тоді як за період 2020–2024 рр. в середньому по Україні збирали лише 2,21 т/га.

Використана література

1. Офіційний аналітичний сайт IndexMundi. URL: <https://www.indexmundi.com/agriculture/?commodity=sunflowerseed-oilseed&graph=area-harvested>.
2. Сільськогосподарське виробництво. *Євростат*. URL: <https://ec.europa.eu/eurostat/web/agriculture/data/database>
3. Ткачук О. П., Шкатула Ю. М., Тігаренко О. М. Сільськогосподарська екологія. Вінниця : ВНАУ, 2020. 542 с.
4. Мазур В. А., Ткачук О. П., Яковець Л. А. Екологічна безпека зернової та зернобобової продукції. Вінниця : ВНАУ, 2020. 442 с.
5. Мельник А. В. Агробіологічні особливості вирощування соняшнику та ріпаку ярого в умовах Північно-Східного Лісостепу України. Суми : Університетська книга, 2018. С. 56–70.
6. Каленська С. М., Гарбар Л. А., Горбатюк Е. М. Роль регламентів сівби у формуванні фітометричних показників соняшнику. *Таврійський науковий вісник*. 2020. № 113. С. 49–55.
7. Чорний С. Г. Оцінка якості ґрунтів. Миколаїв: МНАУ, 2018. 233 с.
8. Коковихін С. В., Нестерчук В. В., Рудий О. Є. Основні напрями оптимізації елементів технологій вирощування гібридів соняшнику в різних екологічних пунктах Степу України. *Онтогенез – стан, проблеми та перспективи вивчення рослин в культурних та природних ценозах* : матеріали Міжнар. конф. (Херсон, 10–11 червня 2016 р.). Херсон : РВЦ «Колос», 2016. С. 128–129.
9. Ткаліч І. Д., Гирка А. Д., Бочевар О. В., Ткаліч Ю. І. Агротехнічні заходи підвищення урожайності насіння соняшника в умовах степу України. *Зернові культури*. 2018. Т. 2, № 1. С. 44–52.
10. Обробіток ґрунту під посів соняшнику. URL: <https://makosh-group.com.ua/blog/obrobitok-gruntu-pid-posiv-sonyashnyka/>.
11. Лебеденко Є. О. Селекція вихідного матеріалу для створення гібридів соняшнику, стійких до гербіцидів групи сульфонілсечовин : дис. ... канд. с.-г. наук. Херсон, 2019. 164 с.
12. Рекомендації по застосуванню гербіцидів імідазолінової групи (ІМІ) на соняшнику. URL: <https://nvfgran.com.ua/rekomendatsiyi-po-zastosuvannu-gerbitsidiv-imidazolinovoyi-grupi-imi-na-sonyashniku/>.
13. Нестерчук В. В. Продуктивність гібридів соняшнику залежно від густоти стояння рослин та мікродобрив в умовах півдня України : дис. ... канд. с.-г. наук. Херсон, 2017. 199 с.
14. Григорів Я. Я. Економічна ефективність вирощування соняшнику в умовах Прикарпаття України. *Інновації в освіті, науці та виробництві*: матеріали V Міжнар. наук.-практ. конф. Київ, 2021. С. 35.
15. Мазур В. А., Поліщук І. С., Телекало Н. В., Мордванюк М. О. Рослинництво. Вінниця : ВНАУ, 2020. 352 с.

16. Кохан А. В., Лень О. І., Цилюрик О. І. Наслідки насичення сівозмін соняшником. *Науково-технічний бюлетень Інституту олійних культур НААН*. 2016. № 23. С. 6.
17. Пінковський Г. В., Танчик С. П. Вплив строків сівби та густоти стояння на урожайність рослин соняшника у Правобережному Степу України. *Таврійський науковий вісник*. 2018. № 107. С. 75–82.
18. Пінковський Г. В. Ріст, розвиток та продуктивність рослин соняшнику залежно від строків сівби та густоти стояння в правобережному Степу України. *Таврійський науковий вісник*. 2019. № 108. С. 78–85.
19. Міхеєв В. Г., Молоков А. В. Продуктивність соняшнику залежно від строків сівби. *Вісник Харківського національного аграрного університету*. 2019. № 1. С. 57–65.
20. Ермантраут Е. Р., Гопцій Т. І., Каленська С. М., Криворученко Р. В., Турчинова Н. П., Присяжнюк О. І. Методика селекційного експерименту (в рослинництві). Харків, 2014. 229 с.

References

1. Official analytical website IndexMundi. Retrieved from <https://www.indexmundi.com/agriculture/?commodity=sunflowerseed-oilseed&graph=area-harvested> [In Ukrainian]
2. Eurostat. (n.d.). *Agricultural production*. Retrieved from <https://ec.europa.eu/eurostat/web/agriculture/data/database> [In Ukrainian]
3. Tkachuk, O. P., Shkatula, Y. M., & Titarenko, O. M. (2020). *Agricultural ecology*. Vinnytsia: VNAU. [In Ukrainian]
4. Mazur, V. A., Tkachuk, O. P., & Yakovets, L. A. (2020). *Ecological safety of grain and leguminous production*. Vinnytsia: VNAU. [In Ukrainian]
5. Melnyk, A. V. (2018). *Agrobiological features of sunflower and spring rapeseed cultivation in the conditions of the northeastern forest-steppe of Ukraine* (pp. 56–70). Sumy: Universytetska Knyha. [In Ukrainian]
6. Kalenska, S. M., Harbar, L. A., & Horbatiuk, E. M. (2020). The role of sowing regulations in the formation of sunflower phytometric indicators. *Tavria Scientific Bulletin*, 113, 49–55. [In Ukrainian]
7. Chorny, S. H. (2018). *Assessment of soil quality*. Mykolaiv: MNAU. [In Ukrainian]
8. Kokovikhin, S. V., Nestertchuk, V. V., & Rudyi, O. Ye. (2016). Main directions for optimizing sunflower hybrid cultivation technologies in various ecological zones of the Ukrainian Steppe. In *Ontogenesis: State, Problems, and Prospects of Studying Plants in Cultural and Natural Communities* (pp. 128–129). Kherson: RVC “Kolos”. [In Ukrainian]
9. Tkalich, I. D., Hyrka, A. D., Bochevar, O. V., & Tkalich, Y. I. (2018). Agrotechnical measures to improve sunflower seed yield in the steppe zone of Ukraine. *Cereal Crops*, 2(1), 44–52. [In Ukrainian]
10. Makosh Group. (n.d.). Soil tillage for sunflower sowing. Retrieved from <https://makosh-group.com.ua/blog/obrobitok-gruntu-pid-posiv-sonyashnyka/> [In Ukrainian]
11. Lebedenko, Ye. O. (2019). *Selection of initial material for creating sunflower hybrids resistant to herbicides of the sulfonylurea group* (Doctoral dissertation). Kherson. [In Ukrainian]
12. NVF Gran. (n.d.). *Recommendations for the use of imidazoline herbicides (IMI) on sunflower*. Retrieved from <https://nvfgran.com.ua/rekomendatsiyi-po-zastosuvannu-gerbitsidiv-imidazolinovoyi-grupi-imi-na-sonyashniku/> [In Ukrainian]
13. Nestertchuk, V. V. (2017). *Productivity of sunflower hybrids depending on plant density and micronutrients in the south of Ukraine* (Doctoral dissertation). Kherson. [In Ukrainian]
14. Hryhoriv, Y. Y. (2021). Economic efficiency of sunflower cultivation in the conditions of the Precarpathian region of Ukraine. In *Innovations in Education, Science, and Production: Proceedings of the 5th International Scientific-Practical Conference* (p. 35). Kyiv. [In Ukrainian]
15. Mazur, V. A., Polishchuk, I. S., Telekalo, N. V., & Mordvaniuk, M. O. (2020). *Crop production*. Vinnytsia: VNAU. [In Ukrainian]

16. Kokhan, A. V., Len, O. I., & Tsilyuryk, O. I. (2016). Consequences of crop rotation saturation with sunflower. *Scientific and Technical Bulletin of the Institute of Oilseeds of NAAS*, 23, 6. [In Ukrainian]
17. Pinkovskyi, H. V., & Tanchyk, S. P. (2018). Influence of sowing time and plant density on sunflower productivity in the Right-Bank Steppe of Ukraine. *Tavria Scientific Bulletin*, 107, 75–82. [In Ukrainian]
18. Pinkovskyi, H. V. (2019). Growth, development, and productivity of sunflower plants depending on sowing time and plant density in the Right-Bank Steppe of Ukraine. *Tavria Scientific Bulletin*, 108, 78–85. [In Ukrainian]
19. Mikheiev, V. H., & Molokov, A. V. (2019). Sunflower productivity depending on sowing time. *Bulletin of Kharkiv National Agrarian University*, 1, 57–65. [In Ukrainian]
20. Ermantraut, E. R., Hoptsi, T. I., Kalenska, S. M., Kryvoruchenko, R. V., Turchynova, N. P., & Prysyzhniuk, O. I. (2014). *Methodology of breeding experiments (in crop production)*. Kharkiv. [In Ukrainian]

UDC 633.854.78

Bondarets, R. S.*, & **Vereshchahin, I. V.** (2024). Sunflower productivity formation in the northeastern part of Ukraine. *Scientific Papers of the Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet*, 32, 29–36. <https://doi.org/10.47414/np.32.2024.319650> [In Ukrainian]

*Sumy National Agrarian University, 160 Herasym Kondratiev St., Sumy, 40000, Ukraine, *e-mail: roman2016y@gmail.com*

Purpose. To determine the efficiency of sunflower (*Helianthus annuus*) cultivation in the northeastern regions of Ukraine. **Methods.** Field studies were conducted in 2020–2024 in the Left-Bank Forest Steppe of Ukraine, at the border of two soil-climatic zones: the Forest Steppe and Polissia. **Results.** The average yield indicators of sunflower in the northeastern regions of Ukraine show that this crop is steadily gaining popularity among producers. On average, across the three regions, the annual crop yield exceeds the indicators obtained across the country. In particular, in 2020, a yield increase of 0.73 t/ha was obtained, in 2021, a yield increase of 0.30 t/ha, and in 2022, a yield increase of 0.25 t/ha was obtained. Additionally, in 2022, with an average sunflower seed yield in Ukraine of 2.16 t/ha, Sumy region achieved a yield of 2.62 t/ha, Kharkiv region – 2.29 t/ha, and Chernihiv region – 2.32 t/ha. Conversely, the data of 2023 showed that cultivation of sunflower in the northeastern region of Ukraine requires careful consideration, as the average yield in Ukraine in this year was 2.45 t/ha. Only Chernihiv region achieved a yield of 3.16 t/ha, while Sumy and Kharkiv regions obtained 2.38 t/ha and 2.18 t/ha, respectively. Therefore, the average yield of the crop in these three regions was 0.08 t/ha lower than the national average. **Conclusions.** In Sumy, Kharkiv, and Chernihiv regions, sunflower cultivation has reached a large industrial scale, which requires the development of efficient cultivation technology. Over the past four years, the harvested area has averaged 17.7%, and production volume averaged 19.8% of the total sunflower cultivation in Ukraine. At the same time, the average seed yield of the crop was 2.54 t/ha, while in the period 2020–2024, the average yield was only 2.21 t/ha.

Keywords: seed yield; gross yield; cultivation area.

Надійшла / Received 28.11.2024

Погоджено до друку / Accepted 12.12.2024

Фотосинтетична активність ранньостиглих гібридів соняшнику в умовах Лісостепу Західного

Д. М. Любицька*, Р. О. М'ялковський

ЗВО «Подільський державний університет», вул. Шевченка, 12, м. Кам'янець-Подільський, Хмельницька обл., 32316, Україна, *e-mail: dcimbaluk08@gmail.com

Мета. Установити вплив норми висіву насіння та позакореневого застосування регуляторів росту на ріст і розвиток ранньостиглих гібридів соняшнику. **Методи.** Дослідження проводили впродовж 2022–2024 рр. на дослідних полях Науково-дослідного центру «Поділля» Подільського державного університету. У дослідженнях застосовано трифакторну схему, яка включала: гібриди соняшнику ('П62ЛЛ109', 'МАС 81К', 'ЄС Моналіза'), дві норми висіву насіння (60 і 65 тис. шт./га) та позакореневе підживлення регуляторами росту у фазі 4–6 пар листків [контроль, Деймос (1,5 л/га), Марс ELVi (0,75 л/га), Трептолем (15 мл/га)]. Вимірювали площу листової поверхні та визначали фотосинтетичні показники. **Результати.** Найвищі показники площі листової поверхні рослин соняшнику у фазі зірочки формувались у гібрида 'МАС 81К' – 33,8 тис. м²/га у середньому за роки досліджень. Дещо менші значення відзначено у гібридів 'ЄС Моналіза' і 'П62ЛЛ109' – 31,2 та 32,2 тис. м²/га відповідно. Найбільшу площу листової поверхні рослин у фазі цвітіння відзначено у варіантах поєднання норми висіву насіння 65 тис. шт./га та обробки посівів у фазі 4–6 листків регулятором росту Деймос. Зокрема, за таких умов у гібрида 'П62ЛЛ109' формувалось 42,5 тис. м²/га, 'МАС 81К' – 44,7, 'ЄС Моналіза' – 42,8 тис. м²/га. За норми висіву насіння 65 тис. шт./га та застосування регулятора росту Деймос у листках гібридів відзначено найвищі показники сумарного вмісту фотопігментів (хлорофіли *a + b*): 'П62ЛЛ109' – 6,07 мг/г, 'МАС 81К' – 6,43, 'ЄС Моналіза' – 6,01 мг/г. Застосування інших регуляторів росту також сприяло збільшенню вмісту фотопігментів, хоч і було дещо менш ефективним. **Висновки.** Найвищий фотосинтетичний потенціал у фазі цвітіння – досягання у гібрида соняшнику 'П62ЛЛ109' спостерігався за норми висіву 65 тис. шт./га та позакореневого застосування регулятора росту Деймос – 1,34 млн м²/діб. У гібридів 'МАС 81К' і 'ЄС Моналіза' за аналогічних умов ці показники становили 1,28 та 1,18 млн м²/діб відповідно. Щодо ефективності різних варіантів досліду у формуванні чистої продуктивності фотосинтезу, то найвищі її показники отримано за меншої норми висіву насіння – 60 тис. шт./га. Для гібрида 'П62ЛЛ109' за таких умов найдієвішими були обробки регуляторами росту Трептолем (4,37 г/м² за добу) та Марс ELVi (4,29 г/м² за добу), 'МАС 81К' – Марс ELVi (4,21 г/м² за добу) та Трептолем (4,17 г/м² за добу), а 'ЄС Моналіза' – Трептолем (4,87 г/м² за добу) та Деймос (4,81 г/м² за добу).

Ключові слова: гібрид; норма висіву насіння; позакореневе підживлення; регулятори росту рослин; площа листової поверхні; фотосинтетичний потенціал; чиста продуктивність фотосинтезу.

Вступ

Продуктивність рослин значною мірою визначається розмірами та ефективністю фотосинтетичної діяльності їхньої листової поверхні. Наявний тісний взаємозв'язок між урожайністю, фотосинтетичною активністю та коефіцієнтом використання сонячної енергії. Споживання та акумуляція сонячної радіації, а отже, і продуктивність посівів залежать як від розмірів асиміляційної поверхні, так і від тривалості її функціонування [1, 2].

Добре розвинена листовка поверхня сприяє інтенсивнішому накопиченню сухої речовини, тоді як її недостатній розвиток обмежує продуктивність рослин. Важливим

завданням науковців є створення таких умов, за яких листковий апарат працював би з максимальною ефективністю. Наприклад, надмірна густота посівів спричиняє затінення нижнього ярусу листків, що призводить до їхнього передчасного відмирання. Водночас у розріджених посівах листя отримує достатньо світла, проте загальна ефективність фотосинтезу залишається низькою через недостатню площу асиміляційної поверхні [3, 4].

Морфогенез листкової поверхні рослин має певні закономірності. Зокрема, у фазі 2–3 пар справжніх листків соняшнику можна спостерігати три типи листків: сім'ядольні, зародкові та листки нижнього ярусу. Перші дві-три пари листків характеризуються супротивним розташуванням, овальною формою, цільним краєм і відносно невеликими розмірами (що вчетверо менші за листки середнього ярусу). Вони також мають найнижчу інтенсивність росту. У генеративну фазу розвитку рослини формують три-чотири пари листків нижнього ярусу, після чого їхній ріст припиняється. У середньому соняшник формує 28–32 листки. На початкових етапах вегетації листкова маса становить приблизно три чверті всієї наземної біомаси. До цвітіння листкова поверхня збільшується переважно за рахунок нижніх ярусів, тоді як після цвітіння основне зростання припадає на верхні яруси [5, 6].

Вирощування ранньостиглих гібридів соняшнику ускладнюється тим, що їхній життєвий цикл обмежений 100 ± 10 діб від появи сходів до досягання. У цей короткий період фотосинтетична енергія має використовуватися максимально раціонально з огляду на фізіологічні особливості рослин [7, 8].

Під час досягання спостерігається перерозподіл азоту з листків до насіння для синтезу білка, причому середні та верхні листки відіграють вирішальну роль у забезпеченні насіння поживними речовинами. Передчасне відмирання листкового апарату внаслідок посухи чи інших несприятливих факторів негативно впливає на наповненість насіння та кінцеву продуктивність культури [9].

Формування листкової поверхні значною мірою залежить від умов мінерального живлення та забезпеченості вологою, які є одними з ключових чинників активації ростових процесів [10].

Реалізація генетичного потенціалу рослин у частині формування асиміляційного апарату потребує оптимізації просторового розміщення посівів, що можна досягнути регулюванням густоти стояння рослин. Оптимальне співвідношення між площею листкової поверхні та її просторовою орієнтацією сприяє підвищенню ефективності фотосинтетичних процесів [11].

Важливим чинником, що визначає фотосинтетичну продуктивність рослин, є наявність у листкових пластинках достатньої кількості фотосинтетичних пігментів, зокрема хлорофілів *a* та *b*. Оптимізація мінерального живлення, зокрема через позакореневі підживлення, сприяє підвищенню концентрації цих пігментів і, відповідно, ефективності фотосинтетичної діяльності [12].

Формування достатньої площі листкової поверхні та забезпечення високого вмісту фотосинтетичних пігментів є основою для оцінювання ефективності роботи листкового апарату з погляду синтезу сухої речовини, що є ключовим фактором урожайності [13].

Мета досліджень – установити вплив норми висіву насіння та позакореневого застосування регуляторів росту на ріст і розвиток ранньостиглих гібридів соняшнику.

Матеріали та методика досліджень

Польові дослідження проводили впродовж 2022–2024 рр. на дослідних полях Науково-дослідного центру «Поділля» Закладу вищої освіти «Подільський державний університет», що знаходиться в умовах зони Західного Лісостепу України.

Ґрунт дослідного поля – чорнозем типовий вилугуваний середньосуглинковий на лесовидних суглинках. У верхньому шарі ґрунту (0–30 см) вміст гумусу (за Тюрнімом) становить 3,6–4,2 %. Вміст легкогідролізованих сполук азоту (за Корнфілдом) та рухомого фосфору (за Чиріковим) оцінюється як високий – 98–139 та 143–185 мг/кг відповідно, як і обмінного калію (за Чиріковим), що становить 153–185 мг/кг. Сума ввібраних основ

РОСЛИННИЦТВО

коливається в межах 158–209 мг-екв/кг ґрунту, гідролітична кислотність – 17–22 мг-екв/кг, а ступінь насичення основами досягає 90 %.

У 2022 році найбільші відхилення температури повітря спостерігали в період із червня до серпня. Крім того, період із квітня до липня був досить посушливим, що негативно вплинуло на формування врожаю соняшнику.

У 2023 році температура повітря у квітні та травні була нижчою за середні багаторічні значення, що уповільнювало розвиток культури. Водночас квітень характеризувався надмірною зволоженістю, тоді як у травні та червні розпочався посушливий період. Загалом чергування несприятливих і сприятливих погодних умов сприяло доброму росту й розвитку соняшнику, оскільки рослини мали можливість адаптуватися до змін кліматичних факторів без тривалого впливу екстремальних умов.

У 2024 році відносно сприятливі погодні умови весняного періоду забезпечили добрий старт розвитку рослин соняшнику. Однак у червні – серпні спостерігався тривалий жаркий період, посилений нестачею опадів у травні та червні.

Польовий трифакторний дослід закладали за такою схемою:

Гібрид	Норма висіву насіння, тис. шт./га	Позакореневе підживлення регуляторами росту рослин у фазі 4–6 листків культури
'П62ЛЛ109' (лінолевий)	60	Контроль
		Деймос, 1,5 л/га
		Марс ELBi, 0,75 л/га
		Трептолем, 15 мл/га
	65	Контроль
		Деймос, 1,5 л/га
		Марс ELBi, 0,75 л/га
		Трептолем, 15 мл/га
'МАС 81К' (лінолевий)	60	Контроль
		Деймос, 1,5 л/га
		Марс ELBi, 0,75 л/га
		Трептолем, 15 мл/га
	65	Контроль
		Деймос, 1,5 л/га
		Марс ELBi, 0,75 л/га
		Трептолем, 15 мл/га
'ЄС Моналіза'	60	Контроль
		Деймос, 1,5 л/га
		Марс ELBi, 0,75 л/га
		Трептолем, 15 мл/га
	65	Контроль
		Деймос, 1,5 л/га
		Марс ELBi, 0,75 л/га
		Трептолем, 15 мл/га

Загальна площа елементарної ділянки – 75 м², облікової – 60 м². Повторність дослідів – трикратна.

Уміст хлорофілу визначали за допомогою екстракції етанолу з подальшим фотометричним оцінюванням зразків.

Фотосинтетичний потенціал визначали за формулою:

$$\Phi\Pi = \frac{[(L_1 + L_2) \times T_1 + (L_2 + L_3) \times T_2 \dots]}{2}$$

де $L_1 + L_2$ – сума площі листя, тис. м²/га; T_1, T_2 – тривалість міжфазних періодів, діб.

Чисту продуктивність фотосинтезу:

$$\text{ЧПФ} = \frac{B_2 - B_1}{\frac{L_1 + L_2}{2} \times T}$$

де B_1, B_2 – маса сухої речовини з 1 м², г; L_1, L_2 – площа листової поверхні з 1 м², м²; T – тривалість періоду.

Полеві дослідження виконували за методикою Державного сортовипробування [14], статистичний аналіз результатів досліджень проводили, використовуючи програмні продукти Excel та Statistica 6.0 [15].

Результати досліджень

Проаналізуємо показники зміни площі листової поверхні досліджуваних гібридів соняшнику в розрізі років та під впливом застосовуваних агрозаходів. Оскільки рослини культури найбільш активно починають свій розвиток із фази зірочки, то цікаво виявити тенденції змін листової поверхні саме у цей період (табл. 1).

Таблиця 1

Площа листової поверхні досліджуваних гібридів соняшнику у фазі зірочки, тис. м²/га (2022–2024 рр.)

Гібрид	Норма висіву насіння, тис. шт./га	Регулятор росту рослин	Рік			
			2022	2023	2024	Середнє
'П62ЛЛ109' (лінолевий)	60	Контроль	30,0	33,3	32,0	31,8
		Деймос	31,4	34,4	33,5	33,1
		Марс ELBi	29,5	33,1	31,0	31,2
		Трептолем	30,0	33,3	31,4	31,6
	65	Контроль	30,0	33,5	31,9	31,8
		Деймос	32,0	35,6	33,9	33,8
		Марс ELBi	30,3	33,6	33,4	32,5
		Трептолем	30,5	33,9	31,2	31,9
'МАС 81К' (лінолевий)	60	Контроль	31,0	34,3	32,4	32,5
		Деймос	33,2	36,5	34,5	34,7
		Марс ELBi	31,0	34,2	32,1	32,5
		Трептолем	32,0	35,9	32,9	33,6
	65	Контроль	32,0	34,5	32,9	33,1
		Деймос	34,0	37,2	34,8	35,3
		Марс ELBi	31,8	34,8	34,9	33,9
		Трептолем	32,7	35,9	35,1	34,6
'ЄС Моналіза'	60	Контроль	29,0	32,8	30,0	30,6
		Деймос	30,0	33,9	31,5	31,8
		Марс ELBi	28,0	31,0	29,3	29,4
		Трептолем	29,0	31,6	30,1	30,2
	65	Контроль	29,0	31,7	30,5	30,4
		Деймос	32,0	36,0	35,2	34,4
		Марс ELBi	29,0	31,1	30,7	30,3
		Трептолем	31,0	34,7	32,3	32,6
HP _{0,05}			0,23	0,20	0,17	0,21

Якщо проаналізувати площу листової поверхні рослин соняшнику загалом, то найменшою вона була у фазі зірочки у 2022 році – 30,8 тис. м²/га, що зумовлено переважно умовами вегетаційного періоду. Натомість найбільшу площу листя рослини мали у 2023 році – в середньому 34,0 тис. м²/га. Щодо площі листової поверхні в розрізі досліджуваних гібридів, то найменший показник мав ‘ЄС Моналіза’ – 31,2 тис. м²/га, дещо вищий ‘П62ЛЛ109’ – 32,2 тис. м²/га. Найбільшу площу листя формував гібрид ‘МАС 81К’ – 33,8 тис. м²/га. Такі схожі показники площі листової поверхні гібридів зумовлені їх подібними строками розвитку та належністю до однієї групи стиглості.

Серед досліджуваних регуляторів росту найефективнішим виявилось застосування позакореневого підживлення рослин препаратом Деймос, що сприяло збільшенню площі листя на 1,57 тис. м²/га. Інші регулятори не мали значного впливу на формування досліджуваного показника.

Зважаючи на те, що загушення рослин призводить до певної конкуренції, більша норма висіву насіння – 65 тис. шт./га виявилися більш оптимальною для досягнення високої густоти посівів соняшнику. Поєднання цієї норми висіву насіння з позакореневою обробкою рослин регулятором росту Деймос сприяло отриманню більшої площі листової поверхні в усіх гібридів соняшнику, що були включені в дослідження. Тобто площа листя формувалась як і за оптимізації умов живлення, так і підвищення конкуренції рослин.

Площа листової поверхні соняшнику у фазі цвітіння є важливою, оскільки саме в цей період рослини формують максимальну кількість листя (табл. 2).

Таблиця 2

Площа листової поверхні досліджуваних гібридів соняшнику у фазі цвітіння, тис. м²/га (2022–2024 рр.)

Гібрид	Норма висіву насіння, тис. шт./га	Регулятор росту рослин	Рік			
			2022	2023	2024	Середнє
‘П62ЛЛ109’ (лінолевий)	60	Контроль	35,3	45,5	36,3	39,0
		Деймос	37,8	48,4	38,8	41,7
		Марс ELBi	35,4	45,5	35,9	38,9
		Трептолем	35,4	45,5	35,6	38,8
	65	Контроль	36,7	46,7	34,9	39,4
		Деймос	37,5	49,6	40,4	42,5
		Марс ELBi	35,7	47,4	39,0	40,7
		Трептолем	36,2	46,3	36,7	39,7
‘МАС 81К’ (лінолевий)	60	Контроль	37,0	47,4	38,5	41,0
		Деймос	41,6	51,2	38,6	43,8
		Марс ELBi	38,0	48,1	35,7	40,6
		Трептолем	38,7	50,4	38,1	42,4
	65	Контроль	37,8	48,9	37,4	41,4
		Деймос	41,2	52,2	40,7	44,7
		Марс ELBi	38,4	49,5	41,0	43,0
		Трептолем	38,8	51,4	40,3	43,5
‘ЄС Моналіза’	60	Контроль	35,8	46,7	33,1	38,5
		Деймос	35,9	47,6	35,6	39,7
		Марс ELBi	33,2	44,1	33,4	36,9
		Трептолем	35,2	44,0	33,7	37,6
	65	Контроль	34,7	43,5	35,1	37,8
		Деймос	38,1	50,3	40,1	42,8
		Марс ELBi	34,2	43,8	35,5	37,9
		Трептолем	37,9	48,0	37,0	41,0
HP _{0,05}			0,40	0,23	0,20	0,17

Після цвітіння їх висота залишається сталою, і додаткові листки вже не формуються. Варто відзначити, що ранньостиглі гібриди формують набагато меншу площу листя порівняно з пізньостиглими, оскільки вони раніше припиняють ріст і переходять до генеративного розвитку – формування та наливу насіння

Погодні умови 2022 та 2024 років були менш сприятливими для подальшого формування листової поверхні рослинами соняшнику – 36,9 та 37,2 тис. м²/га. Натомість у роки з кращими погодними умовами вегетаційного періоду площа листя досягала 47,6 тис. м²/га, що суттєво відрізняється від менш сприятливих періодів.

Аналізуючи різницю в показниках між гібридами, можна відзначити, що вона була мінімальною, подібно до попереднього періоду. Максимальні відхилення не перевищували 2,0 тис. м²/га, що свідчить про подібність реакції формування площі листя у гібридів соняшнику однакової стиглості.

Щодо впливу регуляторів росту, то застосування позакореневого підживлення препаратом Деймос сприяло підвищенню площі листя в середньому за роки досліджень на 2,23 тис. м²/га. Натомість обробка рослин препаратом Марс ELVi призводила до незначного зменшення площі листової поверхні – на 0,68 тис. м²/га, а показники варіантів, де посіви обробляли Трептолем, перебували в межах похибки.

Як і в попередньому періоді, кращі показники площі листової поверхні спостерігалися у варіантах досліду, де гібриди соняшнику висівали з нормою 65 тис. шт./га та обробляли їх регулятором росту Деймос. За таких умов площа листя у гібрида 'П62ЛЛ109' становила 42,5 тис. м²/га, у 'МАС 81К' – 44,7, а у 'ЄС Моноліза' – 42,8 тис. м²/га.

Уміст хлорофілів у листках досліджуваних гібридів соняшнику у фазі цвітіння є важливим показником ефективно сформованого листового апарату. Оскільки листки можуть по-різному формувати фотопігменти, ті, які менш інтенсивно освітлюються прямими сонячними променями, мають більше хлорофілу *b*, а ті, що не можуть ефективно працювати, фактично перетворюються на споживачів запасних пластичних речовин (табл. 3).

Серед усіх досліджуваних хлорофілів саме хлорофіл, що належить до групи *a*, є найважливішим з погляду масовості фотосинтезу, оскільки цей світловий фотопігмент ефективніше та швидше вловлює і засвоює сонячну енергію, ніж тіньові хлорофіли групи *b*.

У середньому за варіантами досліду вміст хлорофілу *a* в листках рослин соняшнику становив 4,09 мг/г. Водночас було зафіксовано відмінності між різними гібридами. Зокрема, у гібрида 'П62ЛЛ109' вміст хлорофілу *a* становив 4,03 мг/г, 'МАС 81К' – 4,25, а у 'ЄС Моноліза' – 3,98 мг/г.

Якщо аналізувати вплив регуляторів росту на вміст хлорофілу *a*, то всі вони сприяли підвищенню його концентрації порівняно з контролем. Зокрема, застосування Деймосу збільшувало концентрацію хлорофілу *a* на 0,55 мг/г, Марс ELVi – на 0,43, Трептолем – на 0,50 мг/г.

Щодо впливу густоти посівів, то за норми висіву насіння 60 тис. шт./га вміст хлорофілу *a* в середньому становив 4,12 мг/г, тоді як підвищення норми до 65 тис. шт./га призвело до незначного зменшення показника – на 0,06 мг/г.

На відміну від хлорофілу *a*, середній вміст хлорофілу *b* у листках соняшнику був більш ніж удвічі меншим – 1,82 мг/г: 'П62ЛЛ109' – 1,79 мг/г, 'МАС 81К' – 1,87, 'ЄС Моноліза' – 1,78 мг/г. Застосування регуляторів росту, на відміну від їх позитивного впливу на вміст хлорофілу *a*, не сприяло достовірному збільшенню вмісту хлорофілу *b* у листках рослин.

Цікаві тенденції спостерігалися також у впливі норми висіву насіння, тобто густоти посівів. Зокрема, за норми висіву 60 тис. шт./га вміст хлорофілу *b* у середньому становив 1,71 мг/г, тоді як підвищення норми до 65 тис. шт./га збільшувало цей показник на 0,22 мг/г. Це свідчить про те, що внаслідок загущення посівів більшість листків фотосинтезує в менш сприятливих умовах освітлення, що, своєю чергою, зумовлює потребу в більшій кількості хлорофілів, здатних поглинати розсіяне світло.

Загальний вміст хлорофілів у середньому по досліді становив 5,90 мг/г: 'П62ЛЛ109' – 5,82 мг/г, 'МАС 81К' – 6,12, 'ЄС Моноліза' – 5,77 мг/г.

**Уміст хлорофілів у листках досліджуваних гібридів соняшнику
у фазі цвітіння, мг/г (2022–2024 рр.)**

Гібрид	Норма висіву насіння, тис. шт./га	Регулятор росту рослин	Уміст хлорофілів			
			<i>a</i>	<i>b</i>	<i>a + b</i>	<i>a/b</i>
‘П62ЛЛ109’ (лінолевий)	60	Контроль	3,75	1,63	5,38	2,30
		Деймос	4,12	1,74	5,86	2,37
		Марс ELBi	4,10	1,72	5,82	2,38
		Трептолем	4,10	1,70	5,80	2,41
	65	Контроль	3,74	1,89	5,63	1,98
		Деймос	4,15	1,92	6,07	2,16
		Марс ELBi	4,12	1,84	5,96	2,24
		Трептолем	4,12	1,89	6,01	2,18
‘МАС 81К’ (лінолевий)	60	Контроль	3,96	1,72	5,68	2,30
		Деймос	4,52	1,82	6,33	2,49
		Марс ELBi	4,33	1,74	6,07	2,49
		Трептолем	4,38	1,76	6,15	2,48
	65	Контроль	3,81	1,90	5,71	2,00
		Деймос	4,42	2,02	6,43	2,19
		Марс ELBi	4,30	2,02	6,32	2,13
		Трептолем	4,30	2,00	6,30	2,15
‘ЄС Моналіза’	60	Контроль	3,54	1,65	5,19	2,14
		Деймос	4,25	1,69	5,94	2,52
		Марс ELBi	4,10	1,67	5,76	2,46
		Трептолем	4,26	1,66	5,92	2,57
	65	Контроль	3,53	1,86	5,39	1,89
		Деймос	4,03	1,98	6,01	2,04
		Марс ELBi	4,05	1,89	5,94	2,14
		Трептолем	4,10	1,88	5,97	2,18
HP _{0,05}			0,43	0,05	0,50	–

Застосування регуляторів росту сприяло значному підвищенню вмісту хлорофілу *a* та не менш суттєвому хлорофілу *b*. Зокрема, застосування препарату Деймос підвищувало сумарну концентрацію хлорофілів на 0,63 мг/г, Марс ELBi – на 0,47, Трептолем – на 0,54 мг/г.

Щодо впливу густоти посівів, то за норми висіву насіння 60 тис. шт./га концентрація загального вмісту хлорофілів у середньому становила 5,83 мг/г, тоді як підвищення норми до 65 тис. шт./га збільшувало концентрацію на 0,15 мг/г, що було зумовлено зростанням кількості хлорофілу *b*.

Таким чином, незалежно від гібридного складу, вища норма висіву насіння соняшнику сприяла підвищенню загальної концентрації фотопігментів. Зокрема, за норми висіву 65 тис. шт./га та обробки посівів регулятором росту Деймос сумарна концентрація хлорофілів у гібрида ‘П62ЛЛ109’ становила 6,07 мг/г, ‘МАС 81К’ – 6,43, ‘ЄС Моналіза’ – 6,01 мг/г. Отримані показники відповідали найвищим рівням концентрації в досліді, хоча й інші регулятори росту також сприяли підвищенню вмісту фотопігментів у листках рослин.

Аналізуючи співвідношення хлорофілу *a* до *b* було встановлено, що воно було найкращим в усіх досліджуваних гібридів у разі обробки посівів регуляторами росту та норми висіву насіння 60 тис. шт./га. За збільшення густоти посівів спостерігалось зростання концентрації хлорофілу *b*.

Також варто розглянути фотосинтетичний потенціал досліджуваних гібридів соняшнику в період від цвітіння до досягання, як важливий чинник оптимізації процесів фотосинтезу у другій половині вегетації (табл. 4).

Таблиця 4

**Фотосинтетичний потенціал досліджуваних гібридів соняшнику
в період цвітіння – досягання, млн м²/діб (2022–2024 рр.)**

Гібрид	Норма висіву насіння, тис. шт./га	Регулятор росту рослин	Рік			
			2022	2023	2024	Середнє
‘П62ЛЛ109’ (лінолевий)	60	Контроль	1,08	1,38	1,09	1,18
		Деймос	1,18	1,49	1,19	1,29
		Марс ELBi	1,07	1,34	1,07	1,16
		Трептолем	1,08	1,38	1,04	1,17
	65	Контроль	1,10	1,44	1,10	1,22
		Деймос	1,18	1,58	1,26	1,34
		Марс ELBi	1,09	1,46	1,20	1,25
		Трептолем	1,13	1,44	1,12	1,23
‘МАС 81К’ (лінолевий)	60	Контроль	1,02	1,31	1,06	1,13
		Деймос	1,16	1,45	1,10	1,23
		Марс ELBi	1,04	1,36	1,02	1,14
		Трептолем	1,06	1,38	1,10	1,18
	65	Контроль	1,08	1,38	1,06	1,17
		Деймос	1,16	1,52	1,17	1,28
		Марс ELBi	1,09	1,39	1,14	1,21
		Трептолем	1,11	1,44	1,17	1,24
‘ЄС Моналіза’	60	Контроль	0,91	1,23	0,85	1,00
		Деймос	0,96	1,34	0,94	1,08
		Марс ELBi	0,86	1,20	0,85	0,97
		Трептолем	0,90	1,17	0,86	0,98
	65	Контроль	0,92	1,17	0,92	1,00
		Деймос	1,05	1,42	1,05	1,18
		Марс ELBi	0,95	1,20	0,96	1,04
		Трептолем	1,00	1,32	0,97	1,10

Установлено, що у фазі від цвітіння до досягання фотосинтетичний потенціал (ФП) посівів, аналогічно до попереднього облікового періоду, істотно відрізнявся залежно від року досліджень. Найнижчі показники спостерігалися у 2022 та 2024 роках – 1,05 млн м²/діб, тоді як найсприятливіші умови склалися у 2023 році – 1,37 млн м²/діб.

Подібно до попереднього періоду формування ФП досліджуваних гібридів соняшнику, середні значення за роки досліджень становили: ‘П62ЛЛ109’ – 1,23 млн м²/діб, ‘МАС 81К’ – 1,20, ‘ЄС Моналіза’ – 1,04 млн м²/діб. Усі без винятку гібриди реагували аналогічно: у сприятливий рік формували вищий рівень ФП, а в несприятливі – нижчий.

Подібні тенденції було встановлено й щодо впливу обробки рослин регуляторами росту. Застосування препарату Деймос сприяло лише незначному підвищенню ФП. Зокрема, у 2022 році цей показник зріс на 0,10 млн м²/діб порівняно з контрольним варіантом, у 2023-му – на 0,12, у 2024 році – на 0,07 млн м²/діб.

Аналогічно до попереднього періоду обліку було встановлено, що найвищий ФП у гібрида соняшнику ‘П62ЛЛ109’ отримано за норми висіву насіння 65 тис. шт./га та позакореневої обробки регулятором росту Деймос – 1,34 млн м²/діб. Подібні умови вирощування гібридів ‘МАС 81К’ і ‘ЄС Моналіза’ сприяли підвищенню ФП до 1,28 та 1,18 млн м²/діб відповідно.

Чиста продуктивність фотосинтезу (ЧПФ) – це показник, що характеризує ефективність накопичення сухої речовини, враховуючи роботу одиниці фотосинтетичної поверхні посівів і тривалість її функціонування. Він дає змогу виявити слабкі місця та оцінити загальну ефективність вирощування. Тому проаналізуємо також дані щодо ЧПФ гібридів соняшнику у період цвітіння — досягання, що відповідає стадії генеративного розвитку рослин (табл. 5).

Таблиця 5

**Чиста продуктивність фотосинтезу гібридів соняшнику
в період цвітіння – досягання, г/м² за добу (2022–2024 рр.)**

Гібрид	Норма висіву насіння, тис. шт./га	Регулятор росту рослин	Рік			
			2022	2023	2024	Середнє
‘П62ЛЛ109’ (лінолевий)	60	Контроль	4,11	3,97	4,12	4,07
		Деймос	4,22	4,19	3,98	4,13
		Марс ELBi	4,28	4,35	4,25	4,29
		Трептолем	4,37	4,36	4,70	4,48
	65	Контроль	3,99	4,01	3,74	3,91
		Деймос	4,07	4,22	3,95	4,08
		Марс ELBi	4,14	4,22	3,80	4,05
		Трептолем	4,05	4,22	4,35	4,21
‘МАС 81К’ (лінолевий)	60	Контроль	4,26	4,07	4,03	4,12
		Деймос	4,33	4,29	3,84	4,15
		Марс ELBi	4,34	4,09	4,20	4,21
		Трептолем	4,25	4,05	4,22	4,17
	65	Контроль	3,90	4,22	3,90	4,01
		Деймос	4,14	4,28	4,04	4,15
		Марс ELBi	4,02	4,23	3,57	3,94
		Трептолем	4,01	4,20	3,77	3,99
‘ЄС Моналіза’	60	Контроль	4,85	4,44	4,99	4,76
		Деймос	4,92	4,41	5,11	4,81
		Марс ELBi	5,06	4,64	4,54	4,75
		Трептолем	4,97	4,66	4,98	4,87
	65	Контроль	4,58	4,79	4,60	4,66
		Деймос	4,32	4,30	4,20	4,27
		Марс ELBi	4,47	4,78	4,53	4,59
		Трептолем	4,38	4,40	4,68	4,49

У середньому за роки досліджень у генеративний період розвитку соняшнику чиста продуктивність фотосинтезу (ЧПФ) у 2022 році становила 4,34 г/м² за добу, що було близьким до значення 2023-го (4,31 г/м² за добу). Найнижчий показник зафіксовано у 2024 році – 4,25 г/м² за добу.

Серед досліджуваних гібридів соняшнику середній рівень ЧПФ становив: ‘П62ЛЛ109’ – 4,15 г/м² за добу, ‘МАС 81К’ – 4,09, ‘ЄС Моналіза’ – 4,65 г/м² за добу.

За середнього значення ЧПФ 4,30 г/м²·добу спостерігається значна варіабельність показників, що підтверджує важливість другої половини вегетації для продуктивності соняшнику. Саме на цьому етапі не лише реалізується генетичний потенціал гібрида, а й утворюється приблизно вдвічі більше сухої речовини порівняно з фазою активного росту вегетативної маси.

Щодо ефективності різних варіантів досліду, то вищі показники ЧПФ отримано за меншої густоти посіву, тобто норми висіву насіння 60 тис. шт./га. Це пояснюється технічною ефективністю: менша кількість рослин зменшує загальну площу листкового апарату, що підвищує ефективність фотосинтезу на одиницю площі. Водночас відсутність значного

зниження ЧПФ за збільшення густоти свідчить про оптимальність вибраних параметрів. Зокрема, за норми висіву насіння 65 тис. шт./га ЧПФ становила 4,20 г/м² за добу, а за 60 тис. шт./га – 4,40 г/м² за добу.

Аналіз впливу обробки посівів регуляторами росту для різних гібридів показав такі результати. Для гібрида 'П62ЛЛ109' найбільш ефективними були обробки регулятором росту Трептолем (4,37 г/м² за добу) та Марс ELBi (4,29 г/м² за добу), 'МАС 81К' – Марс ELBi (4,21 г/м² за добу) та Трептолем (4,17 г/м² за добу), а 'ЄС Моноліза' – Трептолем (4,87 г/м² за добу) та Деймос (4,81 г/м² за добу).

Висновки

Найвищі показники площі листової поверхні рослин соняшнику у фазі зірочки формувались у гібрида 'МАС 81К' – у середньому за роки досліджень 33,8 тис. м²/га. Дещо менші значення були в гібридів 'ЄС Моноліза' і 'П62ЛЛ109' – 31,2 та 32,2 тис. м²/га відповідно.

Найбільшу площу листової поверхні рослин у фазі цвітіння відзначено у варіантах поєднання норми висіву насіння 65 тис. шт./га та обробки посівів у фазі 4–6 листків регулятором росту Деймос. Зокрема, за таких умов у гібрида 'П62ЛЛ109' формувалось 42,5 тис. м²/га, 'МАС 81К' – 44,7, 'ЄС Моноліза' – 42,8 тис. м²/га.

За норми висіву насіння 65 тис. шт./га та застосування регулятора росту Деймос у листках гібридів відзначено найвищі показники сумарного вмісту фотопігментів (хлорофіли *a* + *b*): 'П62ЛЛ109' – 6,07 мг/г, 'МАС 81К' – 6,43, 'ЄС Моноліза' – 6,01 мг/г. Застосування інших регуляторів росту також сприяло збільшенню вмісту фотопігментів, хоч і було дещо менш ефективним.

Найвищий фотосинтетичний потенціал у фазі цвітіння – досягання у гібрида соняшнику 'П62ЛЛ109' спостерігався за норми висіву 65 тис. шт./га та позакореневого застосування регулятора росту Деймос – 1,34 млн м²/діб. У гібридів 'МАС 81К' і 'ЄС Моноліза' за аналогічних умов ці показники становили 1,28 та 1,18 млн м²/діб відповідно.

Щодо ефективності різних варіантів досліду у формуванні чистої продуктивності фотосинтезу, то найвищі її показники отримано за меншої норми висіву насіння – 60 тис. шт./га. Для гібрида 'П62ЛЛ109' за таких умов найдієвішими були обробки регулятором росту Трептолем (4,37 г/м² за добу) та Марс ELBi (4,29 г/м² за добу), 'МАС 81К' – Марс ELBi (4,21 г/м² за добу) та Трептолем (4,17 г/м² за добу), а 'ЄС Моноліза' – Трептолем (4,87 г/м² за добу) та Деймос (4,81 г/м² за добу).

Використана література

1. Abdelgadir H. A., Jäger A. K., Johnson S. D., Staden J. V. Influence of plant growth regulators on flowering, fruiting, seed oil content, and oil quality of *Jatropha curcas*. *South African Journal of Botany*. 2010. Vol. 76, Iss. 3. P. 440–446. doi: 10.1016/j.sajb.2010.02.088
2. Asli S., Neumann P. M. Rhizosphere humic acid interacts with root cell walls to reduce hydraulic conductivity and plant development. *Plant Soil*. 2010. Vol. 336, Iss. 1. P. 313–322. doi: 10.1007/s11104-010-0483-2
3. Calvo P., Nelson L., Kloepper J. W. Agricultural uses of plant biostimulants. *Plant Soil*. 2014. Vol. 383, Iss. 1. P. 3–41. doi: 10.1007/s11104-014-2131-8
4. Canellas L. P., Olivares F. L., Okorokaova-Façanha A. L., Façanha A. R. Humic acids isolated from earthworm compost enhance root elongation, lateral root emergence, and plasma membrane H⁺-ATPase activity in maize roots. *Plant Physiology*. 2002. Vol. 130, Iss. 4. P. 1951–1957.
5. Carey D., Whipker B., McCall I., Buhler W. Cytokinin based PGR affects growth of vegetative petunia. *Proceedings of the 35th Annual Meeting of the Plant Growth Regulation Society of America* (San Francisco, 3–7 August 2008). San Francisco : Plant Growth Regulation Society of America, 2008. P. 101–109.
6. Cimrin K. M., Önder T., Turan M., Burcu T. Phosphorus and humic acid application alleviate salinity stress of pepper seedling. *African Journal of Biotechnology*. 2010. Vol. 9, Iss. 36. P. 5845–5851.

7. Ernst D., Kovar M., Černý I. Effect of two different plant growth regulators on production traits of sunflower. *Journal of Central European Agriculture*. 2016. Vol. 17, Iss. 4. P. 998–1012. doi: 10.5513/JCEA01/17.4.1804
8. Jung J., Rademacher W. Plant growth regulating chemicals – cereal grains. *Plant Growth Regulating Chemicals* / L. G. Nickell (Ed.). Boca Raton : CRC Press, 2018. Vol. 2. P. 253–271.
9. Knapowski T., Szczepanek M., Wilczewski E., Pobereżny J. Response of wheat to seed dressing with humus and foliar potassium fertilization. *Journal of Agricultural Science and Technology*. 2015. Vol. 17, Iss. 6. P. 1559–1569.
10. Mátyás M., Černý I., Marek K. Sunflower (*Helianthus annuus* L.) yield-forming elements influenced by year weather conditions and applications of biological preparations Terra-Sorb and Unicum. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*. 2014. Vol. 3, Iss. 3. P. 131–133.
11. Mercer K. L., Wyse D. L., Andow D. A., Shaw R. G. Stress and domestication traits increase the relative fitness of crop–wild hybrids in sunflower. *Ecology Letters*. 2007. Vol. 10, Iss. 5. P. 383–393. doi: 10.1111/j.1461-0248.2007.01029.x
12. Mercer K. L., Wyse D. L., Shaw R. G. Effects of competition on the fitness of wild and crop-wild hybrid sunflower from a diversity of wild populations and crop lines. *Evolution*. 2006. Vol. 60, Iss. 10. P. 2044–2055. doi: 10.1111/j.0014-3820.2006.tb01842.x
13. Rajala A., Peltonen-Sainio P. Plant growth regulator effects on spring cereal root and shoot growth. *Agronomy Journal*. 2001. Vol. 93, Iss. 4. P. 936–943. doi: 10.2134/agronj2001.934936x
14. Ткачик С. О., Присяжнюк О. І., Лещук Н. В. Методика проведення кваліфікаційної експертизи сортів рослин на придатність до поширення в Україні. Загальна частина. 4-те вид., випр. і доп. Вінниця : ФОП Корзун Д. Ю., 2016. 118 с.
15. Ермантраут Е. Р., Присяжнюк О. І., Шевченко І. Л. Статистичний аналіз агрономічних дослідних даних в пакеті Statistica 6.0. Київ : ПоліграфКонсалтинг, 2007. 56 с.

References

1. Abdelgadir, H. A., Jäger, A. K., Johnson, S. D., & Staden, J. V. (2010). Influence of plant growth regulators on flowering, fruiting, seed oil content, and oil quality of *Jatropha curcas*. *South African Journal of Botany*, 76(3), 440–446. doi: 10.1016/j.sajb.2010.02.088
2. Asli, S., & Neumann, P. M. (2010). Rhizosphere humic acid interacts with root cell walls to reduce hydraulic conductivity and plant development. *Plant and Soil*, 336(1), 313–322. doi: 10.1007/s11104-010-0483-2
3. Calvo, P., Nelson, L., & Kloepper, J. W. (2014). Agricultural uses of plant biostimulants. *Plant and Soil*, 383(1), 3–41. doi: 10.1007/s11104-014-2131-8
4. Canellas, L. P., Olivares, F. L., Okorokaova-Façanha, A. L., & Façanha, A. R. (2002). Humic acids isolated from earthworm compost enhance root elongation, lateral root emergence, and plasma membrane H⁺-ATPase activity in maize roots. *Plant Physiology*, 130(4), 1951–1957.
5. Carey, D., Whipker, B., McCall, I., & Buhler, W. (2008). Cytokinin based PGR affects growth of vegetative petunia. In *Proceedings of the 35th Annual Meeting of the Plant Growth Regulation Society of America (San Francisco, 3–7 August 2008)* (pp. 101–109). San Francisco: Plant Growth Regulation Society of America.
6. Cimrin, K. M., Önder, T., Turan, M., & Burcu, T. (2010). Phosphorus and humic acid application alleviate salinity stress of pepper seedling. *African Journal of Biotechnology*, 9, 5845–5851.
7. Ernst, D., Kovar, M., & Černý, I. (2016). Effect of two different plant growth regulators on production traits of sunflower. *Journal of Central European Agriculture*, 17(4), 998–1012. doi: 10.5513/JCEA01/17.4.1804
8. Jung, J., & Rademacher, W. (2018). Plant growth regulating chemicals – cereal grains. In L. G. Nickell (Ed.), *Plant Growth Regulating Chemicals* (Vol. 2, pp. 253–271). Boca Raton: CRC Press.
9. Knapowski, T., Szczepanek, M., Wilczewski, E., & Pobereżny, J. (2015). Response of wheat to seed dressing with humus and foliar potassium fertilization. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 17(6), 1559–1569.
10. Mátyás, M., Černý, I., & Marek, K. (2014). Sunflower (*Helianthus annuus* L.) yield-forming elements influenced by year weather conditions and applications of biological preparations Terra-Sorb and Unicum. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*, 3(3), 131–133.

11. Mercer, K. L., Wyse, D. L., Andow, D. A., & Shaw, R. G. (2007). Stress and domestication traits increase the relative fitness of crop–wild hybrids in sunflower. *Ecology Letters*, 10(5), 383–393. doi: 10.1111/j.1461-0248.2007.01029.x
12. Mercer, K. L., Wyse, D. L., & Shaw, R. G. (2006). Effects of competition on the fitness of wild and crop-wild hybrid sunflower from a diversity of wild populations and crop lines. *Evolution*, 60(10), 2044–2055. doi: 10.1111/j.0014-3820.2006.tb01842.x
13. Rajala, A., & Peltonen-Sainio, P. (2001). Plant growth regulator effects on spring cereal root and shoot growth. *Agronomy Journal*, 93(4), 936–943. doi: 10.2134/agronj2001.934936x
14. Tkachyk, S. O., Prysiazhniuk, O. I., & Leshchuk, N. V. (2016). *Methodology for conducting qualification examination of plant varieties for distribution suitability in Ukraine. General part* (4th ed., revised and expanded). Vinnytsia: FOP Korzun D. Yu. [In Ukrainian]
15. Ermantraut, E. R., Prysiazhniuk, O. I., & Shevchenko, I. L. (2007). *Statistical analysis of agronomic research data in Statistica 6.0*. Kyiv: PolihrafKonsaltnh. [In Ukrainian]

UDC 633.854.78:631.5(477.43)

Liubyt'ska, D. M.*, & **Mialkovskiy, R. O.** (2024). Photosynthetic activity of early-ripening sunflower hybrids in the Western Forest-Steppe. *Scientific Papers of the Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet*, 32, 37–48. <https://doi.org/10.47414/np.32.2024.322357> [In Ukrainian]

HEI “Podillia State University”, 12 Shevchenka St., Kamianets-Podilskiy, Khmelnytskyi region, 32316, Ukraine, *e-mail: dcimbaluk08@gmail.com

Purpose. To determine the impact of seeding rates and foliar application of growth regulators on the growth and development of early-ripening sunflower hybrids. **Methods.** The research was conducted from 2022 to 2024 on the experimental fields of the Scientific Research Center Podillia of the Podillia State University. A three-factor scheme was used in the studies, which included: sunflower hybrids (‘P62LL109’, ‘MAS 81K’, ‘YeS Monaliza’), two seeding rates (60,000 and 65,000 seeds/ha), and foliar application of growth regulators at the four to six leaf stage [control, Deimos (1.5 l/ha), Mars ELBi (0.75 l/ha), Treptolem (15 ml/ha)]. The leaf area was measured, and photosynthetic parameters of the plants were determined. **Results.** The highest leaf area values for sunflower plants in the star leaf stage were observed in the hybrid ‘MAS 81K’ – 33.8 thousand m²/ha on average over the years of research. Slightly lower values were noted in the hybrids ‘YeS Monaliza’ and ‘P62LL109’ – 31.2 and 32.2 thousand m²/ha, respectively. The largest leaf area in the flowering stage was observed in the variants with a seeding rate of 65,000 seeds/ha and treatment with the growth regulator Deimos in the four-leaf stage. Specifically, under these conditions, the hybrid ‘P62LL109’ formed leaf area of 42.5 thousand m²/ha, ‘MAS 81K’ – 44.7, and ‘YeS Monaliza’ – 42.8 thousand m²/ha. With a seeding rate of 65,000 seeds/ha and the application of the growth regulator Deimos, the highest total content of photopigments (chlorophylls a + b) in the leaves of hybrids was 6.07 mg/g in ‘P62LL109’, 6.43 in ‘MAS 81K’, and 6.01 mg/g in ‘YeS Monaliza’. The application of other growth regulators also contributed to an increase in the content of photopigments, although they were slightly less effective. **Conclusions.** The highest photosynthetic potential in the flowering and ripening stages was observed in the hybrid ‘P62LL109’ at a seeding rate of 65,000 seeds/ha and foliar application of the growth regulator Deimos – 1.34 million m²/days. For hybrids ‘MAS 81K’ and ‘YeS Monaliza’ under similar conditions, these values were 1.28 and 1.18 million m²/days, respectively. In terms of the efficiency of different experimental variants in forming the net photosynthetic productivity, the highest indicators were achieved at a lower seeding rate of 60,000 seeds/ha. For the hybrid ‘P62LL109’, under these conditions, the most effective treatments were with the growth regulator Treptolem (4.37 g/m²·day) and Mars ELBi (4.29 g/m²·day), for ‘MAS 81K’ – Mars ELBi (4.21 g/m²·day) and Treptolem (4.17 g/m²·day), and for ‘YeS Monaliza’ – Treptolem (4.87 g/m²·day) and Deimos (4.81 g/m²·day).

Keywords: hybrid; seeding rate; foliar application; growth regulators; leaf area; photosynthetic potential; net photosynthetic productivity.

Надійшла / Received 25.11.2024

Погоджено до друку / Accepted 05.02.2025

Визначення критичних фаз озимих злакових культур на основі міжнародних уніфікованих шкал росту й розвитку

 О. І. Присяжнюк*,  Н. О. Кононюк,  О. Ю. Половинчук,  В. В. Мусіч,
 О. М. Гончарук,  П. Ю. Волошин,  О. А. Маляренко,  О. П. Шевченко

*Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН України, вул. Клінічна, 25, м. Київ, 03110, Україна, *e-mail: ollpris@gmail.com*

Мета. Установити закономірності росту й розвитку озимих злакових культур та визначити критичні періоди їх вегетації за реакцією на несприятливі фактори середовища. **Методи.** Польові дослідження проводили в умовах зони нестійкого зволоження Правобережного Лісостепу України на дослідному полі Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН (50.023194, 30.173895) упродовж 2020–2024 рр. **Результати.** Найкритичнішими періодами для росту й розвитку озимих культур є проростання та кушення, оскільки вони відіграють ключову роль у підготовці рослин до перезимівлі. Водночас несприятливі фактори, які впливають на рослини взимку, не є критичними, оскільки за достатнього рівня накопичення цукрів і належного розвитку рослин у Лісостепу України малоімовірним є настання таких умов, які могли б призвести до їх загибелі. Натомість найчастіше критичні стани посівів, які потребують контролю, виникають у період – від весняного відростання до цвітіння. Саме в цей час формуються основні елементи структури майбутнього врожаю, тож рослини можуть доволі суттєво знизити свою потенційну продуктивність. Основні стрес-фактори, як-от дефіцит вологи в ґрунті та нестача елементів живлення, можна своєчасно діагностувати за допомогою сучасних приладів. Водночас питання своєчасного застосування засобів захисту не викликає жодних сумнівів, оскільки вони є важливим складником усіх сучасних технологій вирощування. **Висновки.** Для озимих злакових культур найбільш критичними стадіями росту й розвитку за нестачі вологи є ВВСН 00–09, 30–32, 41–69, за високої температури повітря – ВВСН 70–89, а за дефіциту елементів живлення, зокрема азоту, – ВВСН 29, 33–36. У ці періоди рослини особливо вразливі до впливу абіотичних стрес-факторів, що може суттєво знизити їхню продуктивність.

Ключові слова: ВВСН; шкала Куперман; шкала Задокса; шкала Фікеса; шкала Хауна.

Вступ

Фенологія описує послідовність та тривалість фаз життєвого циклу рослин, а фенологічні спостереження за сільськогосподарськими культурами є основою для моніторингу їхнього розвитку й оцінювання продуктивності. Дослідження фенологічних фаз дає змогу кількісно оцінити реакцію рослин на дію кліматичних факторів (температуру, вологість, фотоперіод) та на агротехнічні заходи, наприклад, внесення добрив, застосування регуляторів росту, зрошення тощо [1–3]. Управління тривалістю вегетації є важливим агрономічним інструментом, який дає змогу адаптувати розвиток рослин до конкретних кліматичних умов. Наприклад, збільшення тривалості вегетаційного періоду може покращити показники фотосинтезу, біомаси й урожайності [4, 5]. Регулюючи тривалість вегетації, агроном може як прискорити розвиток рослин, і таким чином сприяти проходженню ними певного етапу вегетації швидше, щоб рослини не потрапили під вплив несприятливих факторів навколишнього середовища, так і сповільнити його, запобігаючи впливу невідвортної засухи або надмірно високих чи низьких температур. А визначення фенологічних дат досягання культур потрібне для прогнозування врожайності [6–8].

На місцевому рівні, точне визначення настання фенологічних фаз є необхідним для планування агротехнічних заходів. Воно дає змогу оптимізувати використання ресурсів, знижуючи витрати та підвищуючи ефективність управління сільськогосподарськими культурами [2]. На регіональному ж рівні, спостереження за щорічними змінами в датах проходження фенологічних стадій і тривалості вегетаційного періоду має важливе значення для оцінки змін клімату та їхнього впливу на сільськогосподарське виробництво [3, 9, 10]. Такі дослідження дають змогу виявити закономірності в адаптації культур до нових кліматичних умов, прогнозувати зміни врожайності та розробляти адаптаційні стратегії. Фенологію посівів можна контролювати за допомогою польового скаутингу, методу термічних одиниць, як-от градусо-дні вирощування (GDD) і теплові одиниці Цельсія (CHU) [1, 11], та супутникових даних. Застосування супутникових даних є потужним інструментом для відстеження фенологічних фаз на великих площах та в регіональному масштабі, забезпечуючи отримання даних про стан посівів у режимі реального часу та можливість оцінювання їхнього розвитку через аналіз спектральних характеристик зображень [12–14].

В умовах глобальних змін клімату суттєвої трансформації зазнала й погода взимку, коли чергуються теплі та прохолодні періоди, зі значно меншою товщиною або ж узагалі відсутністю снігового покриву. Тому культури, що зимують вегетативно, піддаються більшому ризику бути знищеними від дії несприятливих погодних умов у найкритичніший період мінімально можливого впливу як з боку агротехнологій, так і здатності самих рослин оперативного зменшити шкідливий вплив отриманих пошкоджень.

У контексті глобальних змін клімату, на території України суттєвих змін зазнала й погода взимку, яка тепер характеризується чергуванням теплих і холодних періодів, значно меншою товщиною або навіть повною відсутністю снігового покриву. Ці зміни створюють серйозні загрози для озимих культур. Відсутність захисного снігового покриву або різке коливання температури може заподіяти шкоду рослинам, оскільки здатність рослин реагувати на подібні несприятливі фактори є обмеженою. Ефективність агротехнічних заходів за таких умов теж буде обмеженою – іноді неможливо компенсувати шкоду, заподіяну посівам несприятливими погодними умовами. Після відновлення вегетації озимі злакові культури потрапляють у невідворотний вир подій – агроном вже не має таких можливостей як з ярими культурами – перенести строки сівби і в такий спосіб оминати несприятливі погодні умови. Тому вивчення впливу погодних умов на озимі злаки в холодний період є дуже важливим для оптимізації агротехнічних заходів і запобігання потенційним втратам урожаю.

Мета досліджень – установити закономірності росту й розвитку озимих злакових культур та визначити критичні періоди за реакцією на несприятливі фактори середовища.

Матеріали та методика досліджень

Місце й характеристика ґрунту

Польові дослідження проводили в умовах зони нестійкого зволоження Правобережного Лісостепу України на дослідному полі Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН України (50.023194, 30.173895) у 2020–2024 рр.

Ґрунт дослідного поля – чорнозем глибокий середньосуглинковий на лесовидному суглинку з умістом гумусу 2,58 % (за Тюрнімом), лужногідролізованого азоту – 176 мг/кг ґрунту (за Корнфільдом), рухомих сполук фосфору та калію – 160 і 95 мг/кг ґрунту (за Чиріковим), рН_{сол.} 6,75, сумою ввібраних основ 305 мг-екв/кг ґрунту та гідролітичною кислотністю 9,1 мг-екв/кг. Уміст гумусу й лужногідролізованого азоту середній, рухомого фосфору – високий, калію – підвищений.

Погодні умови

У 2019 році перша декада вересня була істотно теплою, опади нижче норми. Загалом без суттєвих відхилень. Жовтень: друга декада екстремально тепла, третя – істотно тепла, з нестачею опадів. Листопад: перші дві декади істотно теплі, третя – прохолодна, місяць загалом сухий. Грудень: третя декада істотно прохолодна, опади без значних відхилень.

Січень 2020 року: друга і третя декади – теплі, загалом місяць тепліший за норму; дефіцит опадів у перших двох декадах, надлишок у третій. Лютий: показники близькі до норми. Березень: перша і друга декади істотно теплі, третя – прохолодна; опади в межах норми. Квітень: істотно тепла лише третя декада, дефіцит опадів. Травень: істотно прохолодні друга й третя декади; надлишок опадів у першій і третій декадах. Червень 2020 року: друга і третя декади екстремально теплі; місяць загалом посушливий. Липень: перша і третя декади спекотні; друга – з дефіцитом опадів. Серпень: третя декада істотно жарка; друга – суха, третя – з надлишком опадів. Вересень: увесь місяць тепліший за норму; у першій декаді дефіцит опадів, у третій – надлишок. Жовтень: перша і третя декади аномально теплі й вологі. Листопад: перша і друга декади – прохолодні (друга – істотно), третя – тепла; опади близькі до норми. Грудень: температура повітря без значних відхилень; загалом місяць із дефіцитом опадів.

Січень 2021 року: друга декада – значно прохолодніша за норму; у третій декаді – надлишок опадів. Лютий: перша і друга декади – значно холодніші, у першій декаді – надлишок опадів. Березень: загалом прохолодний місяць; дефіцит опадів у третій декаді. Квітень: третя декада екстремально тепла. Травень: друга декада – з великою кількістю опадів, перша й остання – близькі до норми. Червень 2021 року: друга декада – істотно тепла, третя – екстремально жарка; значний дефіцит опадів. Липень: перша і третя декади – екстремально жаркі, друга – істотно тепліша; дефіцит опадів у першій і третій декадах. Серпень: перша декада – екстремально тепла, друга – значно відрізняється від норми; дефіцит опадів у другій декаді. Вересень 2021 року: третя декада – прохолодна; опади нижчі норми у першій декаді. Жовтень: температурні показники близькі до норми; дефіцит опадів у першій і третій декадах. Листопад: типові погодні умови; у другій декаді – дефіцит опадів. Грудень: перша декада істотно тепла, друга – прохолодна; опади значно перевищили норму в першій і третій декадах.

Січень 2022 року: Третя декада значно холодніша за норму, опади близькі до норми. Лютий: загалом близький до норми, хоча опадів за місяць було недостатньо. Березень: перші дві декади істотно холодні; у першій декаді надлишок опадів. Квітень і травень: близькі до норми, лише перша декада травня суха. Червень: усі декади мали підвищені температури; значний дефіцит опадів. Липень: перша декада екстремально тепла; дефіцит опадів у третій декаді. Серпень: друга і третя декади істотно теплі; у першій декаді надлишок опадів, у третій – їх дефіцит. Вересень: перша декада прохолодна; всі декади мали надлишок опадів. Жовтень: третя декада значно тепліша за норму; загальний рівень опадів близький до норми. Листопад: температура без значних відхилень; друга і третя декади з надлишком опадів. Грудень: температура в межах норми; друга декада з великою кількістю опадів.

Січень 2023 року: подекадні відхилення в межах норми; середньомісячна температура дещо перевищувала норму. Лютий: третя декада значно холодніша; у третій декаді велика кількість опадів. Березень: третя декада з надлишком опадів. Квітень: загалом близький до норми; перша декада дуже волога. Травень: перша декада прохолодна і суха. Червень: температура близька до норми; друга декада з дефіцитом опадів, третя – з надлишком. Липень: перша декада спекотна; опади близькі до норми. Серпень: усі декади екстремально спекотні; дефіцит опадів у першій і другій декадах. Вересень: друга декада значно тепліша за норму, у третій – дефіцит опадів. Жовтень: третя декада екстремально тепла; у третій декаді надлишок опадів. Листопад: перша декада з підвищеною температурою і кількістю опадів; друга й третя декади теплі, у третій – дефіцит опадів. Грудень: тепліший за норму, третя декада з дефіцитом опадів.

Січень 2024 року: перша декада прохолодна; надлишок опадів у перших двох декадах. Лютий: загалом теплий; перша і третя декади значно тепліші за норму; друга – з великою кількістю опадів. Березень: третя декада тепла; опади розподілені нерівномірно (дефіцит у першій декаді, надлишок у другій). Квітень: екстремально теплий; у другій і третій декадах надлишок опадів. Травень: друга декада прохолодна, третя – тепла; у першій декаді дефіцит опадів. Червень: високі температури у другій і третій декадах; дефіцит опадів у третій.

Липень: всі декади екстремально спекотні; значний дефіцит опадів. Серпень: спекотний, у першій декаді надлишок опадів, у другій і третій – дефіцит.

Отже, період 2019–2024 рр. характеризувався частими температурними аномаліями, переважно у бік потепління, та значними коливаннями рівня опадів (як дефіцит, так і надлишок у різні періоди).

Дослідження проводили згідно із загальноприйнятими методиками [15, 16].

Результати досліджень

Проблематика визначення фаз росту й розвитку озимих злакових культур не є новою, і над розроблянням різних шкал працювали численні дослідники, зокрема Ф. М. Куперман [17], W. Feekes [18], C. Keller, M. Baggolini [19], J. C. Zadoks [20], J. R. Haun [21]. Вони представили різні підходи до класифікації фаз, проте між ними є деякі відмінності, які важливо врахувати. Це стосується як наукових, так і практичних аспектів застосування цих шкал. Оскільки в подальших дослідженнях важливо вибрати найточнішу шкалу, яка одночасно підходить для наукових робіт, сільськогосподарського виробництва та цифрових технологій, доцільно розглянути особливості кожної з них і визначити, яка найбільше відповідає сучасним вимогам.

Наразі найбільш точною та повною є шкала ВВСН [22], що розшифровується як «Biologische Bundesanstalt, Bundessortenamt und Chemische Industrie». Проте, цю шкалу слід порівняти зі шкалою Ф. М. Куперман [17], згідно з якою в озимих злаків виокремлюють 12 етапів органогенезу (табл. 1). Як видно, складні етапи, що потребують проведення мікроскопічних досліджень для визначення наявності конусу, його диференціації тощо, можна зіставити зі шкалою ВВСН з достатнім рівнем точності, що усуває потребу в додаткових дослідженнях.

Варто відзначити, що ВВСН – це не одна шкала, а ціла її серія, розроблена для різних видів сільськогосподарських культур. Вона побудована таким чином, що фенологічні фази, не типові для певних видів, або пропущені, або ж мають інші назви. Водночас усі шкали серії об'єднують те, що в них застосовується система десяткового коду. Натомість у шкалі Куперман є 12 етапів органогенезу, причому дещо з нерівномірним висвітленням усіх станів рослин, особливо на початковому етапі проростання насінини та на останньому – відмирання рослини. У шкалі Куперман серед усіх етапів органогенезу вісім етапів належать до вегетативного періоду, коли формуються елементи продуктивності рослин, зокрема кількість стебел, колосів, квіток у колосі тощо, і чотири етапи – до генеративного, що включають цвітіння, запліднення та формування насіння.

Тобто, шкала була розроблена насамперед для культур, де важливо отримати велику кількість елементів продуктивності, і які не здатні абортувати квітки чи боби, як це відбувається у бобових рослин за впливу несприятливих погодних умов. Зіставлення шкал ВВСН і Куперман, а також елементи продуктивності, які можна покращити у кожній із фаз, наведено в таблиці 1

Таблиця 1

Етапи органогенезу, фази росту й розвитку та елементи продуктивності озимих злакових культур

Фенологічна фаза	Міжнародна шкала ВВСН	Етапи органогенезу за Куперман		Які елементи рослин можна змінити	Якими агротехнічними заходами можна покращити продуктивність
		№ етапу	формування на ембріональному рівні		
1	2	3	4	5	6
Макростадія: Проростання	00–09			Енергія проростання та схожість насіння	Попередник, підготовка ґрунту, якість сівби, удобрення та ін.
Суха насіннина	00				
Поява зародкового корінця	05				
Поява колеоптиле	07				

РОСЛИНИЦТВО

<i>Продовження таблиці 1</i>					
1	2	3	4	5	6
Макростадія: Розвиток листків	10–19	I	простого конуса наростання	Розвиток кореневої системи, рівномірний ріст рослин	Передпосівний обробіток ґрунту, рівномірність і глибина загортання насіння
Вихід першого листка крізь колеоптиле	10				
Розгорнутий перший листок	11				
... другий листок	12				
... третій листок	13	II	Початок інтенсивного диференціювання конуса наростання. закладаються зачаткові стеблові вузли й міжвузля, листки у вигляді валиків	Висота рослин, кількість листків, коефіцієнт кушення, зимостійкість	Попередник, строки та норма витрати насіння, доступність P ₂ O ₅ і K ₂ O у ґрунті, внесення регуляторів росту
... четвертий та наступні листки	14–19				
Макростадія: Кушення	20–29				
Бічний пагін у піхві листка	20				
Початок кушення, один бічний пагін	21	III	Диференціювання головної осі зародкового суцвіття на майбутні членики колосового стрижня	Кількість члеників колосового стрижня, довжина колоса	Підживлення азотними добривами збільшує кількість сегментів стрижня
Повне кушення, до шести пагонів	25				
Кушення завершене. Бокові пагони продовжують розвиватися та випрямлятися	29	IV	конусів II порядку, колоскових горбочків, перетворення їх у колос II порядку за достатку азоту та зниженні температури до 10–12 °С	Кількість колосків у колосі	Внесення азоту може подвоїти кількість зерен у колосі. За потреби слід застосовувати препарати проти вилягання, гербіциди та фунгіциди
Макростадія: Стеблуння	30–39				
Початок подовження стебла	30				
Перший вузол вище на 1 см вузла кушення	31	V	Закладання покривних лусок, тичинок, маточки і приймочок	Кількість квіток у колосках з 2–3 до 4–5 шт.	Доступність азоту
Другий вузол на 2 см вище першого вузла	32				
Третій-шостий вузли вище на 2 см від попереднього вузла	33–36	VI	Закінчення диференціювання колосу, формування пиляків та приймочок	Фертильність квіток (здатність їх до запилення)	Доступність усіх елементів живлення, особливо фосфору
Поява прапорцевого листка	37	VI–VII	Подовження члеників колосового стрижня та покривних тканин. Гаметофітогенез, яйцеклітин і пилкових зерен	Фертильність квіток. Щільність колоса (за сонячної погоди колос щільний, а за хмарної – нещільний)	Дотримання всього комплексу технологічних вимог. Застосування фунгіцидів підвищує врожай на 20–30 %
Поява язичка (лігули) прапорцевого листка	39	VII			
Макростадія: Вихід у трубку	41–49				
Набрякання оболонки прапорцевого листка	45				
Піхва лопається, з'являється колос	47–49				

РОСЛИННИЦТВО

<i>Продовження таблиці 1</i>					
1	2	3	4	5	6
Макростадія: Колосіння	51–59	VIII	Гаметогенез, завершення формування квіток. Продовжує рости верхнє міжвузля	Фертильність квіток	Азотне підживлення для якості зерна, фунгіцидний захист
Початок колосіння, видно перший колосок	51				
Видно половину колоса	55				
Колос видно повністю	59				
Макростадія: Цвітіння	61–69	IX	Цвітіння, запліднення, утворення зиготи	Озерненість колоса	Оптимальні агротехнічні умови
Початок цвітіння, з'являються перші пиляки	61				
Повне цвітіння, досягло 50 % пиляків	65				
Кінець цвітіння, більшість колосків відцвіло	69				
Макростадія: Розвиток зерна	70–79	X	Ріст і формування зернівки, зародок та ендосперм збільшуються		
Формування зерна. Уміст зернівки водянистий	70				
Рання молочна стиглість	73	XI	Зернівки збільшуються, вміст молокоподібний	Маса 1000 зерен. Натура зерна	Позакореневі підживлення
Середня молочна стиглість	75				
Пізня молочна стиглість	77				
Макростадія: Достигання	80–89	XII	Накопичення пластичних речовин у зерні	Маса зернівки	
Рання воскова стиглість	83				
Воскова стиглість	85				
Жовта стиглість	87				
Макростадія: Відмирання	90–99	XII	Перетворення пластичних речовин у запасні		
Зернівка тверда, рослина відмирає, повністю висихає	91				
Мертва стиглість	92				
Період спокою зернівки	95				
Схожість зернівок 50 %	96				
Вихід зернівок із періоду спокою	97				
Початок другого періоду спокою	98				
Завершення другого періоду спокою	99				

Загалом шкала Куперман є досить цінним інструментом для оцінювання розвитку сільськогосподарських культур, однак зі збільшенням обсягу знань про ріст і розвиток рослин вона стає менш придатною для комплексного аналізу їхнього стану.

Шкала ВВСН базується на системі кодів розвитку зернових культур Задокса (Zadoks) [20]. Тож у ній визначено 10 первинних стадій розвитку рослин, (10...30...50...), кожна з яких, своєю чергою, має 10 вторинних (11...14...17... 21...24...27...). У підсумку, обидві шкали є аналогічними за загальною кількістю стадій розвитку – 100 (табл. 2).

Основна відмінність шкали Задокса від ВВСН полягає в тому, що вона орієнтована виключно на зернові культури, тоді як остання є більш універсальною та широко використовуваною системою. Водночас у певних випадках застосування шкали Задокса залишається доцільним.

Шкала Фікеса (Feekes) була запропонована нідерландським агрономом Віллемом Фікесом у 1941 р. [18] і досі використовується в США. Вона визначає 11 стадій розвитку зернових культур, де стадія 1 – паростки (від появи шильця до трьох листків), а 11 – наливу зерна. Шкала Фікеса особливо докладно описує етапи, що відповідають ВВСН 11–19

(розвиток листкового апарату) та 31–59 [від появи першого вузла (стадія 6) до завершення колосіння (стадія 10.5)]. Саме ці стадії є критичними для правильного визначення строків унесення фунгіцидів і добрив.

Модифікацією шкали Фікеса є шкала Баджоліні (Baggiolini) [19], де стадії розвитку рослин закодовані літерами. При цьому, більше уваги приділяється періодам від появи першого до третього листка та завершення кушення до початку подовження стебла, а також окремим фазам, як-от початок та завершення колосіння, початок цвітіння, рання молочна стиглість.

Цікава для порівняння і шкала Хауна (Haun) [21], яка є корисною для деталізації вегетативних фаз росту. Вона охоплює 16 стадій розвитку злакових культур, де стадія 1 – поява першого справжнього листка, а 16 – завершення досягання зерна та відмирання рослини.

Подібно до шкали Фікеса, у ній досить докладно відображено етапи розвитку рослин, що відповідають ВВСН стадіям 11–18 (утворення листків) та 55–60 (колосіння). Натомість дещо менше уваги приділяється таким періодам, як цвітіння та молочна стиглість зерна. Зіставлення стадій росту й розвитку рослин за згаданими шкалами наведено в таблиці 2.

Таблиця 2

Порівняння міжнародних шкал фаз росту й розвитку рослин

Шкала				
Задокса (Zadoks)	Фікеса (Feekes)	Хауна (Haun)	Баджоліні (Baggiolini)	ВВСН
1	2	3	4	5
00				00
01				01
03				03
05				05
07				07
09		0.0		09
10	1		A	10
11	1.1	1.+	B	11
12	1.2	1.+	C	12
13	1.3	2.+	D	13
14	1.4	3.+		14
15	1.5	4.+		15
16	1.6	5.+		16
17	1.7	6.+		17
18	1.8	7.+		18
19	1.9			19
20				20
21	2		E	21
22				22
23				23
24				24
25	3		F	25
26				26
27				27
28				28
29	4		C	29
30	5		H	30
31	6		I	31
32	7		J	32
33	7			33
34	7			34
35	7			35

РОСЛИНИЦТВО

<i>Продовження таблиці 2</i>				
1	2	3	4	5
36	7			36
37	8		K	37
39	9			39
40				40
41		8-9		41
43	10			43
45	10.1	9.2	M	45
47	10.1			47
49	10.1	10.1		49
50	10.1	10.2		50
51	10.2		N	51
53	10.2			53
55	10.3	10.5		55
57	10.4	10.7		57
59	10.5	11.0	O	59
60	10.5.1	11.4		60
61			P	61
65	10.5.2	11.5		65
69	10.5.3	11.6		69
70				70
71		12.1		71
73	10.5.4	13.0	R	73
75			S	75
77	11.1			77
80				80
83		14.0		83
85	11.2		T	85
87	11.3	15.0	U-V	87
90				90
91			V	91
92	11.4	16.0		92
93				93
94				94
95				95
96				96
97				97
98				98
99				99

Отже, більшість шкал розвитку озимих зернових, окрім ВВСН, фокусуються на окремих критичних періодах росту й розвитку рослин, залишаючи поза увагою загальну картину. Однак, для повноцінного прогнозування продуктивності культури важливо враховувати всі етапи її розвитку. Для практичного застосування – для внесення добрив або засобів захисту – прості шкали мають перевагу простоти – в них простіше орієнтуватися. Проте, для наукових досліджень та моделювання продуктивності культур вони менш придатні, оскільки не враховують певні ключові стадії росту й розвитку, які мають біологічне значення. Тому, в подальшій роботі будемо використовувати шкалу ВВСН, що якнайповніше відображає біологічні зміни рослин, є уніфікованою та гнучкою, а також придатною для комп'ютерного моделювання росту й розвитку рослин.

Узагальнено можна стверджувати, що озимі злакові культури, на відміну від однорічників, проходять не два, а три етапи росту й розвитку. Перший етап триває приблизно шість місяців – від фази ВВСН 00 (проростання) до ВВСН 29 (завершення кущення). Причому оптимальним є, коли кущення не завершується восени, а продовжується навесні, оскільки це запобігає надмірному переростанню рослин, що може спричинити втрату вегетативної маси через несприятливі умови або хвороби.

Висяєне насіння зазвичай протягом 3–4 діб поглинає необхідну для проростання кількість вологи, після чого починає ріст, і за оптимальних умов сходи з'являються через 7–9 діб або навіть раніше. Важливо також, щоб у шарі ґрунту 0–10 см уміст вологи становив не менше ніж 16–19 % від найменшої польової вологості, оскільки зниження цього показника вже до 12–15 % затримує появу сходів, а при 9–11 % насіння під час проростання може загинути через дефіцит вологи. Крім того, рослини, що розвивалися за умов нестачі вологи восени, мають знижену зимостійкість через недостатній розвиток фотосинтетичного апарату та низький рівень накопичення цукрів.

Кущення починається через 12–15 діб після появи сходів і характеризується, передусім, інтенсивним розвитком кореневої системи, добовий приріст якої досягає 1,5–1,7 см. Це єдина фаза, що розпочинається восени й триває до весни. Оптимальним для входження рослин у зиму вважається формування трьох-чотирьох стебел, тоді як решта (до 20 %) стебел утворюється вже навесні. Фаза кущення триває 35–40 діб і потребує суми активних температур у межах 520–670 °С. Для її ефективного проходження важливе мінеральне живлення, зокрема застосування добрив (NPK)_{45–60}, яке сприяє підвищенню коефіцієнта кущення з 3,3 до 6,6 та збільшенню кількості продуктивних стебел з 348 до 410.

Навесні відновлення вегетації озимих злакових культур розпочинається за температури повітря +3–4 °С, причому впродовж зими нерідко трапляються «вікна», коли рослини можуть підростати. Це особливо характерно для пізніх посівів, що ввійшли в зиму недорозвиненими, або ж надмірно розвинених посівів, у яких виникає гостра конкуренція за фактори живлення, зокрема світло, вже на ранніх етапах розвитку.

Початок колосіння залежить від погодних умов, строків сівби та біологічних особливостей сорту, але зазвичай ця фаза настає через 25–28 діб після початку виходу рослин у трубку. Календарно це відповідає кінцю травня – початку червня.

Фаза цвітіння триває 4–7 діб і зазвичай розпочинається через 3–4 доби після колосіння. Спочатку розцвітають квітки, розташовані в середній частині колоса, після чого цвітіння поширюється вниз і вгору. Квітки, що розцвітають першими, зазвичай формують більші зерна, оскільки до них раніше та в більших кількостях надходять поживні речовини, ніж до квіток, які з'являються пізніше.

Формування зерна починається одразу після запліднення і триває 10–12 діб або до досягнення молочної стиглості. Загалом після запліднення зерно проходить кілька фаз досягання («наливу»), зокрема водянисту, молочну, воскову та повну стиглість.

Молочна стиглість триває в середньому 10–18 діб, протягом яких вологість зерна поступово знижується до 50 %. У фазі воскової стиглості, яка триває 5–7 діб, зерно зменшується в розмірах, а його вологість знижується із 40 до 20 %.

У фазі формування зерна важливу роль відіграє температурний режим, оскільки за оптимальної температури 20–22 °С налив зерна може досягати 2,6 г за добу на 1000 насінин, тоді як за зниження температури до 17 °С цей показник уповільнюється до 0,7 г, а за 11 °С – не перевищує 0,5 г за добу на 1000 насінин [23–25].

Отже, у більшості фенологічних фаз росту й розвитку озимих злакових культур є критичні періоди, які необхідно своєчасно діагностувати для запобігання негативним наслідкам через застосування відповідних агротехнічних заходів. Крім того, за впровадження системи моделювання продуктивності культур важливо враховувати наявність стресу в рослин. Вплив одних несприятливих чинників може бути компенсований на наступних етапах розвитку, а інших – ні. І останні визначатимуть кінцевий рівень продуктивності (табл. 3).

Фенологічні стадії росту озимих злакових культур та фактори стресу

Опис	Код	Основний фактор стресу	Супутній фактор стресу
1	2	3	4
Макростадія: Проростання	00–09	Зернівка отримує менше 35 % вологи за масою. У ґрунті міститься вологи < 60 % НВ*	Температура повітря нижче +14 або вище +18 °С
Суха насінина	00		
Поява зародкового корінця	05		
Поява колеоптиле	07		
Макростадія: Розвиток листків	10–19		
Вихід першого листка крізь колеоптиле	10		
Розгорнутий перший листок	11		
... другий листок	12		
... третій листок	13		
... четвертий та наступні листки	14–19		
Макростадія: Кущення	20–29	Сума активних температур менше ніж 520 °С. Дефіцит азоту на час настання фази 29	Дефіцит азоту, фосфору, калію й цинку
Бічний пагін у піхві листка	20		
Початок кущення, один бічний пагін	21		
Повне кущення, до шести пагонів	25		
Кущення завершене. Бічні пагони продовжують розвиватися та випрямлятися	29		
Макростадія: Стеблування	30–39	Температура повітря ≥ 30 °С. У ґрунті міститься вологи < 60 % НВ, особливо у фазі 30–32	Нестача елементів живлення, особливо бору, ураження хворобами та пошкодження шкідниками
Початок подовження стебла	30		
Перший вузол вище на 1 см над вузлом кущення	31		
Другий вузол на 2 см вище першого вузла	32		
Третій-шостий вузли на 2 см вище попереднього вузла	33–36	Відсутність достатньої кількості азоту	Дефіцит вологи в ґрунті. Ураження хворобами
Поява прапорцевого листка	37		
Поява язичка (лігули) прапорцевого листка	39		
Макростадія: Вихід у трубку	41–49	У ґрунті міститься вологи < 60 % НВ	Відсутність достатніх кількостей азоту
Набрякання оболонки прапорцевого листка	45		
Піхва лопається, з'являється колос	47–49		
Макростадія: Колосіння	51–59	У ґрунті міститься вологи < 60 % НВ. Відсутність достатніх кількостей азоту	Ураження хворобами та пошкодження шкідниками
Початок колосіння, видно перший колосок	51		
Видно половину колоса	55		
Колос видно повністю	59		
Макростадія: Цвітіння	61–69	У ґрунті міститься вологи < 60 % НВ	Ураження хворобами та пошкодження шкідниками
Початок цвітіння, з'являються перші пиляки	61		
Повне цвітіння, досягло 50 % пиляків	65		
Кінець цвітіння, більшість колосків відцвіло	69		
Макростадія: Розвиток зерна	70–79	У ґрунті міститься вологи < 60 % НВ. Температура повітря ≤ 17 °С або ≥ 23 °С	Пошкодження шкідниками
Формування зерна. Уміст зернівки водянистий	70		
Рання молочна стиглість	73		
Середня молочна стиглість	75		
Пізня молочна стиглість	77		

<i>Продовження таблиці 3</i>			
1	2	3	4
Макростадія: Достигання	80–89	Екстремально високі температури повітря	Пошкодження шкідниками
Рання воскова стиглість	83		
Воскова стиглість	85		
Жовта стиглість	87		
Макростадія: Відмирання	90–99		
Зернівка тверда, рослина відмирає, повністю висихає	91		
Мертва стиглість	92		
Період спокою зернівки	95		
Схожість зернівок 50 %	96		
Вихід зернівок із періоду спокою	97		
Настання другого періоду спокою	98		
Завершення другого періоду спокою	99		

*НВ – найменша вологоємність.

Таким чином, аналіз даних таблиці показує, що найбільш критичними для росту й розвитку озимих культур є періоди проростання та кущення, оскільки саме вони відіграють ключову роль у підготовці рослин до перезимівлі. Водночас виділення негативних факторів, що впливають на рослини в зимовий період, як критичних є менш доцільним. За умов достатнього накопичення цукрів і належного розвитку рослин у зоні Лісостепу України ризик загибелі посівів через несприятливі фактори середовища залишається мінімальним.

Натомість, найбільша кількість критичних етапів розвитку рослин, які слід контролювати, припадає на другий період, що починається від весняного відростання до цвітіння рослин. Адже в цей час формуються основні елементи структури майбутнього врожаю, і будь-які несприятливі фактори можуть суттєво знизити потенціал продуктивності рослин. Причому, основні стреси, спричинені дефіцитом вологи в ґрунті та нестачею елементів живлення, можна своєчасно діагностувати за допомогою сучасних приладів. Це дає змогу оперативно реагувати на можливі ризики та коригувати технологію вирощування. Водночас своєчасне застосування засобів захисту рослин є невід'ємним складником сучасних агротехнологій, що не піддається сумніву і забезпечує стабільний рівень продуктивності культур.

Висновки

Для озимих злакових культур найкритичнішими фазами росту й розвитку за дефіцитом вологи є ВВСН 00–09, 30–32, 41–69, за впливом високих температур повітря – ВВСН 70–89, а за нестачею елементів живлення, зокрема азоту, – ВВСН 29, 33–36. У ці періоди рослини особливо вразливі до стресових факторів, що може суттєво вплинути на їхню продуктивність.

Використана література

1. Boschetti M., Stroppiana D., Brivio P. A., Bocchi S. Multi-year monitoring of rice crop phenology through time series analysis of MODIS images. *International Journal of Remote Sensing*. 2009. Vol. 30, Iss. 18. P. 4643–4662. doi: 10.1080/01431160802632249
2. You X., Meng J., Zhang M., Dong T. Remote Sensing Based Detection of Crop Phenology for Agricultural Zones in China Using a New Threshold Method. *Remote Sensing*. 2013. Vol. 5, Iss. 7. P. 3190–3211. doi: 10.3390/rs5073190
3. Zheng H., Zhou X., Cheng T. et al. Evaluation of a UAV-based hyperspectral frame camera for monitoring the leaf nitrogen concentration in rice. *IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*. 2016. P. 7350–7353. doi: 10.1109/igarss.2016.7730917
4. Стасик О. О., Кірізії Д. А., Прядкіна Г. О. Фотосинтез і продуктивність: основні наукові досягнення та інноваційні розробки. *Фізіологія рослин і генетика*. 2021. Т. 53, № 2. С. 160–184. doi: 10.15407/frg2021.02.160

5. Richards R. A. Selectable traits to increase crop photosynthesis and yield of grain crops. *Journal of Experimental Botany*. 2000. Vol. 51, Suppl. 1. P. 447–458. doi: 10.1093/jexbot/51.suppl_1.447
6. Brisson N., Mary B., Ripoche D. et al. STICS: A generic model for the simulation of crops and their water and nitrogen balances. I. Theory and parameterization applied to wheat and corn. *Agronomie*. 1998. Vol. 18, Iss. 5–6. P. 311–346. doi: 10.1051/agro:19980501
7. Duchemin B., Hagolle O., Mougenot B. et al. Agrometeorological study of semi-arid areas: an experiment for analysing the potential of time series of FORMOSAT-2 images (Tensift-Marrakech plain). *International Journal of Remote Sensing*. 2008. Vol. 29, Iss. 17–18. P. 5291–5299. doi: 10.1080/01431160802036482
8. van Diepen C. A., Wolf J., van Keulen H., Rappoldt C. WOFOST: A simulation model of crop production. *Soil Use and Management*. 1989. Vol. 5, Iss. 1. P. 16–24. doi: 10.1111/j.1475-2743.1989.tb00755.x
9. Cong N., Wang T., Nan H. et al. Changes in satellite-derived spring vegetation green-up date and its linkage to climate in China from 1982 to 2010: A multi-method analysis. *Global Change Biology*. 2012. Vol. 19, Iss. 3. P. 881–891. doi: 10.1111/gcb.12077
10. Sakamoto T., Wardlow B. D., Gitelson A. A. et al. A two-step filtering approach for detecting maize and soybean phenology with time-series MODIS data. *Remote Sensing of Environment*. 2010. Vol. 114, Iss. 10. P. 2146–2159. doi: 10.1016/j.rse.2010.04.019
11. Slafer G. A., Savin R. Developmental base temperature in different phenological phases of wheat (*Triticum aestivum*). *Journal of Experimental Botany*. 1991. Vol. 42, Iss. 8. P. 1077–1082. doi: 10.1093/jxb/42.8.1077
12. Schwartz M. D., Reed B. C. Surface phenology and satellite sensor-derived onset of greenness: An initial comparison. *International Journal of Remote Sensing*. 1999. Vol. 20, Iss. 17. P. 3451–3457. doi: 10.1080/014311699211499
13. Sishodia R. P., Ray R. L., Singh S. K. Applications of Remote Sensing in Precision Agriculture: A Review. *Remote Sensing*. 2020. Vol. 12, Iss. 19. Article 3136. doi: 10.3390/rs12193136
14. Zhang X., Friedl M. A., Schaaf C. B. et al. Monitoring the response of vegetation phenology to precipitation in Africa by coupling MODIS and TRMM instruments. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*. 2005. Vol. 110, Iss. D12. Article D12103. doi: 10.1029/2004JD005263
15. Присяжнюк О. І., Климович Н. М., Полуніна О. В. та ін. Методологія і організація наукових досліджень в сільському господарстві та харчових технологіях. Київ : Нілан-ЛІТД, 2021. 300 с.
16. Ермантраут Е. Р., Присяжнюк О. І., Шевченко І. Л. Статистичний аналіз агрономічних дослідних даних в пакеті Statistica 6.0. Київ: ПоліграфКонсалтинг, 2007. 56 с.
17. Kuperman F. M. Plant morphophysiology. Morphophysiological analysis of organogenesis stages of various life forms of angiosperms. 4th ed., rev. Vysshaya shkola, 1984. 240 p.
18. Feekes W. De tarwe en haar milieu. *Verslagen van de Technische Tarwe Commissie / W. Feekes (Ed.)*. Groningen : Hoitsema, 1941. Vol. 17. P. 523–888.
19. Keller C., Baggiolini M. Les Stades Repères dans la Végétation du Blé. *Revue Romande Lausanne*. 1954. Vol. 10, Iss. 3. P. 17–20.
20. Zadoks J. C., Chang T. T., Konzani C. F. A Decimal Code for the Growth Stages of Cereals. *Weed Research*. 1974. Vol. 14, Iss. 6. P. 415–421. doi: 10.1111/j.1365-3180.1974.tb01084.x
21. Haun J. R. Visual Quantification of Wheat Development. *Agronomy Journal*. 1973. Vol. 65, Iss. 1. P. 116–119. doi: 10.2134/agronj1973.00021962006500010035x
22. BBCH-Monograph. Growth stages of plants / Entwicklungsstadien von Pflanzen / Estadios de las plantas / Stades dedéveloppement des plantes / U. Meier (Ed.). Berlin, Wien : Blackwell, Wissenschafts-Verlag, 1997. 622 p.
23. Селекція, насінництво і технології вирощування зернових колосових культур у Лісостепу України / за ред. В. Т. Колочого, В. А. Власенка, Г. Ю. Борука. Київ : Аграрна наука, 2007. 800 с.
24. Osman O. E. F., Melnychenko V., Kalenska S. et al. Efficiency of the compensatory scheme of using Organic Acid Nano-Complex microfertilizers in spring wheat cultivation technology. *Plant and Soil Science*. 2023. Vol. 14, Iss. 4. P. 61–75. doi: 10.31548/plant4.2023.61
25. Каленська С. М., Гордина О. Ю. Закономірності розвитку пшениці озимої у весняно-літній період вегетації залежно від передпосівної обробки насіння. *Новітні агротехнології*. 2022. Т. 10, № 3. doi: 10.47414/na.10.3.2022.270488

References

1. Boschetti, M., Stroppiana, D., Brivio, P. A., & Bocchi, S. (2009). Multi-year monitoring of rice crop phenology through time series analysis of MODIS images. *International Journal of Remote Sensing*, 30(18), 4643–4662. doi: 10.1080/01431160802632249
2. You, X., Meng, J., Zhang, M., & Dong, T. (2013). Remote Sensing Based Detection of Crop Phenology for Agricultural Zones in China Using a New Threshold Method. *Remote Sensing*, 5(7), 3190–3211. doi: 10.3390/rs5073190
3. Zheng, H., Zhou, X., Cheng, T., Yao, X., Tian, Y., Cao, W., & Zhu, Y. (2016). Evaluation of a UAV-based hyperspectral frame camera for monitoring the leaf nitrogen concentration in rice. In *2016 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium* (pp. 7350–7353). IEEE. doi: 10.1109/igarss.2016.7730917
4. Stasik, O. O., Kiriziy, D. A., & Priadkina, G. O. (2021). Photosynthesis and productivity: main scientific achievements and innovative developments. *Plant Physiology and Genetics*, 53(2), 160–184. doi: 10.15407/frg2021.02.160 [In Ukrainian]
5. Richards, R. A. (2000). Selectable traits to increase crop photosynthesis and yield of grain crops. *Journal of Experimental Botany*, 51(suppl_1), 447–458. doi: 10.1093/jexbot/51.suppl_1.447
6. Brisson, N., Mary, B., Ripoche, D., Jeuffroy, M. H., Ruget, F., Nicoulaud, B., ... Delécolle, R. (1998). STICS: A generic model for the simulation of crops and their water and nitrogen balances. I. Theory and parameterization applied to wheat and corn. *Agronomie*, 18(5–6), 311–346. doi: 10.1051/agro:19980501
7. Duchemin, B., Hagolle, O., Mougenot, B., Benhadj, I., Hadria, R., Simonneaux, V., ... Chehbouni, A. G. (2008). Agrometeorological study of semi-arid areas: an experiment for analysing the potential of time series of FORMOSAT-2 images (Tensift-Marrakech plain). *International Journal of Remote Sensing*, 29(17–18), 5291–5299. doi: 10.1080/01431160802036482
8. van Diepen, C. A., Wolf, J., van Keulen, H., & Rappoldt, C. (1989). WOFOST: A simulation model of crop production. *Soil Use and Management*, 5(1), 16–24. doi: 10.1111/j.1475-2743.1989.tb00755.x
9. Cong, N., Wang, T., Nan, H., Ma, Y., Wang, X., Myneni, R. B., & Piao, S. (2012). Changes in satellite-derived spring vegetation green-up date and its linkage to climate in China from 1982 to 2010: A multi-method analysis. *Global Change Biology*, 19(3), 881–891. doi: 10.1111/gcb.12077
10. Sakamoto, T., Wardlaw, B. D., Gitelson, A. A., Verma, S. B., Suyker, A. E., & Arkebauer, T. J. (2010). A two-step filtering approach for detecting maize and soybean phenology with time-series MODIS data. *Remote Sensing of Environment*, 114(10), 2146–2159. doi: 10.1016/j.rse.2010.04.019
11. Slafer, G. A., & Savin, R. (1991). Developmental base temperature in different phenological phases of wheat (*Triticum aestivum*). *Journal of Experimental Botany*, 42(8), 1077–1082. doi: 10.1093/jxb/42.8.1077
12. Schwartz, M. D., & Reed, B. C. (1999). Surface phenology and satellite sensor-derived onset of greenness: An initial comparison. *International Journal of Remote Sensing*, 20(17), 3451–3457. doi: 10.1080/014311699211499
13. Sishodia, R. P., Ray, R. L., & Singh, S. K. (2020). Applications of Remote Sensing in Precision Agriculture: A Review. *Remote Sensing*, 12(19), Article 3136. doi: 10.3390/rs12193136
14. Zhang, X., Friedl, M. A., Schaaf, C. B., Strahler, A. H., & Liu, Z. (2005). Monitoring the response of vegetation phenology to precipitation in Africa by coupling MODIS and TRMM instruments. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 110(D12), Article D12103. doi: 10.1029/2004JD005263
15. Prsyazhniuk, O. I., Klymovych, N. M., Polunina, O. V., Yevchuk, Y. V., Tretiakova, S. O., Kononenko, L. M., ... Mykhailovyn, Yu. M. (2021). *Methodology and organization of scientific research in agriculture and food technologies*. Vinnytsia: Nilan-LTD. [In Ukrainian]
16. Ermantraut, E. R., Prsyazhniuk, O. I., & Shevchenko, I. L. (2007). *Statistical analysis of agronomic experimental data in Statistica 6.0*. Kyiv: PolihrafKonsaltnyh. [In Ukrainian]
17. Kuperman, F. M. (1984). *Plant morphophysiology. Morphophysiological analysis of organogenesis stages of various life forms of angiosperms* (4th ed., rev.). Vysshaya shkola.
18. Feekes, W. (1941). De tarwe en haar milieu. In W. Feekes (Ed.), *Verslagen van de Technische Tarwe Commissie*, 17 (pp. 523–888). Groningen: Hoitsema.

19. Keller, C., & Baggiolini, M. (1954). Les Stades Repères dans la Végétation du Blé. *Revue Romande Lausanne*, 10(3), 17–20.
20. Zadoks, J. C., Chang, T. T., & Konzani, C. F. (1974). A Decimal Code for the Growth Stages of Cereals. *Weed Research*, 14(6), 415–421. doi: 10.1111/j.1365-3180.1974.tb01084.x
21. Haun, J. R. (1973). Visual Quantification of Wheat Development. *Agronomy Journal*, 65(1), 116–119. doi: 10.2134/agronj1973.00021962006500010035x
22. Meier, U. (Ed.). (1997). *BBCB-Monograph. Growth stages of plants / Entwicklungsstadien von Pflanzen / Estadios de las plantas / Stades de développement des plantes*. Berlin, Wien: Blackwell, Wissenschafts-Verlag.
23. Koliuchyi, V. T., Vlasenko, V. A., & Borsuk, H. Yu. (Eds.). (2007). *Breeding, seed production, and cultivation technologies of cereal crops in the Forest-Steppe of Ukraine*. Kyiv: Ahrarna Nauka. [In Ukrainian]
24. Osman, O. E. F., Melnychenko, V., Kalenska, S., Novytska, N., & Kalenskyi, V. (2023). Efficiency of the compensatory scheme of using Organic Acid Nano-Complex microfertilizers in spring wheat cultivation technology. *Plant and Soil Science*, 14(4), 61–75. doi: 10.31548/plant4.2023.61
25. Kalenska, S. M., & Hordyna, O. Yu. (2022). Patterns of winter wheat development in the spring-summer growing season under the effect of pre-sowing seed treatment. *Advanced Agritechnologies*, 10(3). doi: 10.47414/na.10.3.2022.270488 [In Ukrainian]

UDC 631.547:57.087

Prysiachniuk, O. I., Kononiuk, N. O., Polovynchuk, O. Yu., Musich, V. V., Honcharuk, O. M., Voloshyn, P. Yu., Maliarenko, O. A., & Shevchenko, O. P. (2024). Determination of critical phases of winter cereal crops based on international unified growth and development scales. *Scientific Papers of the Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet*, 32, 49–62. <https://doi.org/10.47414/np.32.2024.322938> [In Ukrainian]

*Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet, NAAS of Ukraine, 25 Klinichna St., Kyiv, 03141, Ukraine, *e-mail: ollpris@gmail.com*

Purpose. To establish the growth and development patterns of winter grain crops and determine vulnerable stages of their vegetation under deficit of environmental factors. **Methods.** Field studies were conducted in a zone of unstable moisture of the Right-Bank Forest Steppe of Ukraine at the experimental field of the Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine (50.023194, 30.173895) in 2020–2024. **Results.** The most vulnerable periods for the growth and development of winter grain crops are germination and tillering, as they play a key role in preparing plants for wintering. At the same time, the adverse factors that affect plants in winter are not critical, as with sufficient sugar accumulation and proper plant development in the Forest-Steppe of Ukraine, it is unlikely that adverse conditions will lead to plant death. Instead, most often critical plant conditions occur in the period from spring regrowth to flowering. In this period, the main elements of the yield structure are formed, and plants can significantly reduce their potential productivity. Stress in plants caused by soil moisture and nutrient deficits can be early determined using modern tools for assessing plant health. At the same time, the timely application of protective measures is unquestionable, as they are an important component of all modern cultivation technologies. **Conclusions.** For winter grain crops, the most vulnerable growth and development stages to moisture deficit are BBCH 00–09, 30–32, 41–69, high air temperature – BBCH 70–89, and nutrient deficit, particularly nitrogen deficit – BBCH 29, 33–36. At these stages plants are especially vulnerable to the impact of abiotic stress factors, which can significantly affect their productivity.

Keywords: *BBCB; Coopman scale; Zadoks scale; Feekes scale; Haun scale.*

*Надійшла / Received 02.10.2024
Погоджено до друку / Accepted 15.11.2024*

Особливості формування фотосинтетичних показників посівів проса за органічного виробництва у Правобережному Лісостепу України

М. М. Федорченко,  Л. М. Карпук*

*Білоцерківський національний аграрний університет, пл. Соборна, 8/1, м. Біла Церква, Київська обл., 09100, Україна, *e-mail: lesya_karpuk@ukr.net*

Мета. Визначити ефективність застосування біопрепаратів у технології вирощування проса, зокрема їх впливу на фотосинтетичний потенціал, чисту продуктивність фотосинтезу та накопичення сухої речовини. **Методи.** Польові експерименти проводили впродовж 2022–2024 рр. на дослідній ділянці ПСП ім. Т. Г. Шевченка (Київська обл.). Досліджували сорти проса ‘Омріяне’ та ‘Біла Альтанка’, застосовуючи біопрепарати Біокомплекс-БТУ та Органік-Баланс у різних варіантах: обробка насіння, обприскування посівів на різних етапах вегетації та їх комплексне застосування. Оцінювали показники фотосинтетичної активності, площу асиміляційної поверхні та накопичення сухої речовини. **Результати.** Використання біопрепаратів сприяло підвищенню фотосинтетичного потенціалу та чистої продуктивності фотосинтезу. У фазі куціння – викидання волоті фотосинтетичний потенціал сорту ‘Омріяне’ досягав $1,03 \text{ млн м}^2 \times \text{днів/га}$, а у фазі викидання волоті – дозрівання – $1,32 \text{ млн м}^2 \times \text{днів/га}$, що на 17,5 % перевищувало контрольні варіанти. Аналогічна тенденція спостерігалася у сорту ‘Біла Альтанка’. Чиста продуктивність фотосинтезу у фазі дозрівання підвищувалася до $7,64 \text{ г/м}^2$ на добу у сорту ‘Омріяне’, що також перевищувало контрольні показники. Біопрепарати сприяли збільшенню площі асиміляційної поверхні рослин на 15,0–17,2 %, що позитивно вплинуло на накопичення сухої речовини. У фазі дозрівання максимальний рівень накопичення сухої речовини становив 15,98 т/га у сорту ‘Омріяне’ та 14,63 т/га у сорту ‘Біла Альтанка’. **Висновки.** Застосування біологічних препаратів є ефективним засобом підвищення продуктивності проса, зокрема в умовах органічного землеробства. Біопрепарати позитивно впливають на фотосинтетичний апарат рослин, сприяють покращенню водного режиму, підвищують стійкість до стресових факторів і забезпечують стабільну врожайність культури. Отримані результати можуть бути використані для розробки ефективних агротехнологій вирощування проса з урахуванням особливостей органічного виробництва.

Ключові слова: просо; сорти; фотосинтетичний потенціал; чиста продуктивність фотосинтезу; біологічні препарати; органічне виробництво.

Вступ

Вибір стійких сортів також є ключовим аспектом адаптивних систем землеробства. Використання сортів проса, які демонструють високу стійкість до посухи, засоленості та інших стресових факторів, дозволяє фермерам отримувати стабільні врожаї в умовах змінного клімату. Крім того, підвищення родючості ґрунту шляхом застосування органічних добрив та покривних культур, таких як люпин або фацелія, може покращити якість ґрунту і підвищити його родючість, що позитивно впливає на вирощування проса. Фенологічні характеристики проса відіграють важливу роль у його адаптації до різних кліматичних умов. Глибоке розуміння цих процесів дозволяє розробляти ефективні технології вирощування проса і забезпечувати стабільні врожаї навіть у складних умовах [1, 2].

Високі врожаї сільськогосподарських культур з відповідними якісними показниками можна отримати у посівах з оптимальною площею листкової поверхні, оптимальним ходом її формування і структурою. Розвиток листкової поверхні та формування високого фотосинтетичного потенціалу листя в значній мірі залежить від обґрунтованості технологій вирощування, які забезпечують більш тривалу та продуктивну роботу листкової поверхні [3, 4].

Ряд науковців підкреслюють, що створення оптимальних умов для росту й розвитку рослин проса є критично важливим аспектом, який безпосередньо впливає на збільшення листкової поверхні посівів проса посівного та його загальну продуктивність. Використання препаратів органічного походження для обробки насіння сприяє поліпшенню цих умов, що, в свою чергу, може призводити до підвищення ефективності вирощування цієї культури. Правильний підбір і застосування таких препаратів може істотно вплинути на результати агрономічних практик і забезпечити значний приріст урожайності культури [5–7].

Дослідження, проведені Камінським В. Ф., Нікітенком М. П., Присяжнюком О. І., Мусічем В. В. та іншими щодо фотосинтетичного потенціалу проса, є надзвичайно актуальними, оскільки розуміння механізмів фотосинтезу є ключем до підвищення продуктивності сільського господарства та розробки стійких агротехнологій [8–11].

За даними Нікітенка М. П. [8] використання біодобрив (БІО-ГЕЛЬ, ХЕЛАФІТ-Комбі, Гумікор, Гуміам-01) та багатофункціональних комплексних препаратів сприяло підвищенню фотосинтетичної активності проса. Це досягалося шляхом стимуляції фізіологічних процесів у рослинах, покращення живлення та водного режиму. В результаті спостерігалося збільшення врожайності культури.

Ремобілізація поживних речовин з листя до підземних органів багаторічних рослин є одним з ключових факторів, що зумовлюють сезонні зміни інтенсивності фотосинтезу. Цей процес дозволяє рослинам ефективно використовувати синтезовані органічні речовини, зменшуючи втрати поживних елементів через опадання листя [12–14].

Фаза цвітіння є критичною для проса, оскільки в цей період спостерігається максимальна площа асиміляційної поверхні завдяки інтенсивному росту листя. Збільшення розмірів та кількості листків сприяє підвищенню фотосинтетичної активності, що забезпечує рослину необхідними поживними речовинами для формування зерна. Однак, після цвітіння площа листя поступово зменшується, а рослина переорієнтовується на наповнення зерна. Глибоке розуміння цих фізіологічних процесів є ключовим для розробки ефективних технологій вирощування проса, включаючи оптимізацію посівів, агротехнічних прийомів за впровадження органічного виробництва [15–17].

За даними досліджень недостатня кількість світла під час наливу зерна призвела до зниження фотосинтетичної активності проса. Це виразилося в зменшенні маси зерна та погіршенні його якості. Причиною таких наслідків стало зниження вмісту хлорофілу, що ускладнило поглинання і перетворення світлової енергії рослинами [18–22].

Мета досліджень – виявити вплив біопрепаратів та способів їх застосування на формування фотосинтетичних показників сортів проса.

Матеріали та методика досліджень

Дослідження виконувалися впродовж 2022–2024 рр. на дослідній ділянці ПСП ім. Т. Г. Шевченка (с. Тростинка, Обухівський р-н, Київська обл.).

Агрокліматичні умови вегетаційного періоду 2022–2024 рр. були не достатньо сприятливими для вирощування проса. Основними негативними чинниками були: дефіцит опадів у критичні періоди (травень – червень), підвищені температури в липні – серпні, а також нерівномірний розподіл вологи, що спричиняло стресові умови для росту й розвитку рослин проса. Найбільш несприятливим був 2022 рік через посуху на ранніх етапах розвитку й досить спекотне літо, що знизило запаси продуктивної вологи в ґрунті. 2023 рік виявився відносно сприятливим, оскільки достатня кількість опадів у червні – липні сприяла росту й розвитку рослин. У 2024 році погодні умови знову стали критичними, особливо через посушливий травень і серпень, що негативно позначилося на розвитку проса та наливу зерна.

Ґрунт дослідної ділянки представлений чорноземом типовим вилугуваним, середньої глибини, низької вологості, грубопилуватолегкосуглинковим на карбонатному лесі. За агрохімічними властивостями у ґрунті міститься 3,3 % органічної речовини, 90–120 мг/кг легкогідролізованого азоту.

У досліді передбачалося вивчення таких чинників:

Сорт проса	Біопрепарати	Спосіб застосування
‘Омріяне’	Без біопрепаратів Біокомплекс-БТУ Органік-баланс	Без обробки (контроль)
		Обробка насіння
		Обприскування рослин II, III, VIII ет. О.
		Комплекс (обробка насіння + обприскування рослин II, III, VIII ет. О.)
‘Біла Альтанка’	Без біопрепаратів Біокомплекс-БТУ Органік-баланс	Без обробки (контроль)
		Обробка насіння
		Обприскування рослин II, III, VIII ет. О.
		Комплекс (обробка насіння + обприскування рослин II, III, VIII ет. О.)

У досліді, площа елементарної ділянки в досліді становила 60 м², повторність – триразова. Розміщення ділянок – систематичне.

Для досліджень використовували сорти проса: ‘Омріяне’ (середньостиглий) та ‘Біла Альтанка’ (ультраскоростиглий).

Дослідження виконували згідно з методиками для проведення польового досліді та Методики державного сортовипробування сільськогосподарських культур [23].

Статистичний аналіз результатів експерименту проводили з використанням платформ Statistica 10 та Excel [24].

Результати досліджень

У результаті проведених досліджень виявлено, що умови живлення впливали на розподіл асимілятів, сприяючи їх більшому використанню для розвитку листкової поверхні у рослин проса (табл. 1).

Таблиця 1

Закономірності формування площі листкової поверхні проса, тис. м²/га (середнє за 2022–2024 рр.)

Спосіб застосування	Фаза розвитку		
	кущіння	викидання волоті	достигання
‘Біла Альтанка’			
Контроль (без обробки ДП)	19,30	46,20	15,70
Біокомплекс-БТУ (II, III, VIII ет. о.)	21,61	51,74	17,58
Органік-Баланс (II, III, VIII ет. о.)	21,59	51,69	17,56
Обробка насіння Біокомплекс-БТУ	22,27	53,31	18,11
Обробка насіння Органік-Баланс	22,19	53,13	18,05
Комплекс: Біокомплекс БТУ	22,61	54,14	18,40
Комплекс: Органік-Баланс	22,58	54,05	18,36
‘Омріяне’			
Контроль (без обробки ДП)	21,20	48,30	16,80
Біокомплекс-БТУ (II, III, VIII ет. о.)	23,85	54,33	18,90
Органік-Баланс (II, III, VIII ет. о.)	23,74	54,09	18,81
Обробка насіння Біокомплекс-БТУ	24,44	55,68	19,37
Обробка насіння Органік-Баланс	24,38	55,54	19,32
Комплекс: Біокомплекс-БТУ	24,84	56,60	19,68
Комплекс: Органік-Баланс	24,80	56,51	19,65
НІР _{0,05} : способи обробки сорти	0,2	0,4	0,3
	0,6	0,5	0,6

Аналіз динаміки росту листя проса показав, що максимальна площа асиміляційної поверхні досягається у фазу викидання волоті. Цей показник варіював від 46,20 до 56,60 тис. м²/га залежно від сортових особливостей та умов застосування допоміжних продуктів в органічному виробництві. У сорту 'Біла Альтанка' на початкових етапах формування рослин отримали 19,30–22,58 тис. м²/га. За умов обробки насіння препаратами Біокомплекс-БТУ отримали підвищення показника на 15,4 % порівняно з контрольними варіантами. За застосування Органік-Баланс для обробки насіння отримали аналогічні показники, де площа листя підвищувалась на 15,0 % порівняно з контролем і становила 22,19 тис. м²/га. Максимальні показники формування площі листової поверхні проса було відмічено у фазі викидання волоті, за застосування комплексного внесення Біокомплекс-БТУ – 54,14 тис. м²/га.

У сорту 'Омріяне' фіксували дещо вищі показники площі листя, порівняно з 'Біла Альтанка', що в середньому за фазами росту й розвитку становило на 2 тис. м²/га більше.

Максимальні показники площі листової поверхні проса сорту 'Омріяне' отримали за комплексного застосування Біокомплекс-БТУ та Органік-Баланс у фазі викидання волоті на рівні 56,51–56,60 тис. м²/га, що на 17,0–17,2 % вище, порівняно з контрольними варіантами.

Згідно з дослідженнями, однією із характерних ознак кінця вегетаційного періоду проса є значне зменшення площі листків. Листки поступово втрачають здатність до фотосинтезу, жовтіють й відмирають. Так, у сорту 'Омріяне' площа листової поверхні знижувалась до 16,80–19,68 тис. м²/га, а у сорту 'Біла Альтанка' – 15,70–18,36 тис. м²/га.

Процес фотосинтезу в рослинах проса забезпечує синтез органічних сполук, які спочатку накопичуються у вегетативних органах, зокрема в стеблах і листках. У другій половині вегетаційного періоду ці речовини активно транспортуються до зерна. Аналіз динаміки накопичення сухої речовини дозволяє оцінити ефективність фотосинтетичної діяльності та вплив різних агротехнічних заходів на цей процес. Особливу роль у цьому відіграє впровадження органічних технологій, оскільки застосування деяких елементів традиційного землеробства є обмеженим або неприйнятним у межах досліджуваних методів вирощування.

У перші періоди розвитку, а саме у фазі повних сходів, рослини проса накопичували мінімальну кількість сухої речовини. Цей процес був безпосередньо пов'язаний з умовами вирощування, зокрема з тим, наскільки швидко проростки могли отримати необхідні поживні речовини для подальшого росту й розвитку (табл. 2).

Починаючи з фази кушіння, накопичення сухої речовини у посівах проса варіювалося в межах 0,90–1,29 т/га залежно від способу застосування. Передпосівна обробка насіння біопрепаратами сприяла збільшенню рівня накопичення сухої речовини на 15,0–15,2 %, порівняно з контрольним варіантом з показником 1,03–1,26 т/га, тоді як на контролі цей показник становив 0,90–1,10 т/га залежно від сорту.

У фазі викидання волоті, у сорту 'Біла Альтанка', рівень накопичення сухої речовини склав 5,60–6,60 т/га. Застосування біопрепаратів у період вегетації (II, III, VIII етапи обробки) сприяло підвищенню цього показника до рівня 6,28 т/га. Передпосівна обробка насіння препаратами Біокомплекс-БТУ, Органік-Баланс забезпечила вищий рівень накопичення сухої речовини – 6,49 т/га. Найбільше значення накопичення сухої речовини зафіксовано у варіанті Комплекс: Біокомплекс-БТУ, що дозволило отримати 6,60 т/га, що на 1,00 т/га більше, ніж у контрольному варіанті (5,60 т/га).

Аналізуючи сорт проса 'Омріяне', варто зауважити, що у фазі викидання волоті, рівень накопичення сухої речовини варіював у межах 8,40–9,87 т/га. Максимальні значення, аналогічно до сорту 'Біла Альтанка', отримані за комплексного застосування біопрепаратів (Комплекс: Біокомплекс БТУ та Комплекс: Органік-Баланс), що забезпечило приріст у 17,5 %, порівняно з контрольними ділянками.

У період дозрівання проса, показники накопичення сухої речовини варіювали у межах 12,40–15,98 т/га залежно від сорту, особливостей технології вирощування та застосування біологічних препаратів. Максимальний рівень накопичення зафіксовано у сорту 'Омріяне', за комплексного застосування Біокомплекс-БТУ, де показник сягав 15,98 т/га, що є найвищим серед усіх варіантів досліджу.

**Фотосинтетичний потенціал посівів проса, млн м² × днів/га,
залежно від сорту та біопрепаратів (середнє за 2022–2024 рр.)**

Спосіб застосування	Фаза розвитку	
	кущіння – викидання волоті	викидання волоті – досягання
‘Біла Альтанка’		
Контроль (без обробки ДП)	0,85	0,95
Біокомплекс-БТУ (II, III, VIII ет. о.)	0,95	1,06
Органік-Баланс (II, III, VIII ет. о.)	0,95	1,06
Обробка насіння Біокомплекс-БТУ	0,98	1,09
Обробка насіння Органік-Баланс	0,97	1,09
Комплекс: Біокомплекс-БТУ	0,99	1,11
Комплекс: Органік-Баланс	0,99	1,11
‘Омріяне’		
Контроль (без обробки ДП)	0,88	1,13
Біокомплекс-БТУ (II, III, VIII ет. о.)	0,99	1,27
Органік-Баланс (II, III, VIII ет. о.)	0,98	1,26
Обробка насіння Біокомплекс-БТУ	1,01	1,30
Обробка насіння Органік-Баланс	1,01	1,30
Комплекс: Біокомплекс-БТУ	1,03	1,32
Комплекс: Органік-Баланс	1,03	1,32

Отримані результати підтверджують, що використання біопрепаратів сприяє активізації фотосинтетичного апарату рослин, стимулюючи їх ріст і розвиток, а також підвищуючи загальну продуктивність культури. Це пояснюється покращеним поглинанням елементів живлення та регуляцією фізіологічних процесів, що визначають ефективність використання енергії сонячного світла.

Одним із ключових чинників, що впливають на фотосинтетичну активність проса, є система живлення. Фотосинтетичний вуглеводний обмін відіграє важливу роль у формуванні врожайності та якості продукції. Раціональне використання азоту координує баланс між споживанням води та засвоєнням поживних речовин, підвищуючи ефективність використання вологи рослинами [26–28]. Особливо актуальним це є для органічного землеробства, де існують обмеження щодо застосування мінеральних добрив, що безпосередньо позначається на продуктивності культури та її якісних характеристиках [29].

Для оцінки ефективності фотосинтезу застосовують показник чистої продуктивності фотосинтезу (ЧПФ). Цей параметр дає змогу не лише визначити швидкість утворення органічних речовин на одиницю площі листової поверхні, але й враховує втрати органічної маси, пов'язані з диханням, природним відмиранням та опаданням листків упродовж усього вегетаційного періоду. Аналіз ЧПФ показав, що обидва досліджувані сорти позитивно реагували на обробку біологічними препаратами, проте сорт ‘Омріяне’ демонстрував вищі показники порівняно з ‘Біла Альтанка’, що свідчить про його ефективніше використання фотосинтетичного потенціалу.

У фазі кущіння – викидання волоті ЧПФ сорту ‘Омріяне’ варіював у межах 3,71–4,36 г/м² на добу, тоді як у сорту ‘Біла Альтанка’ цей показник становив 3,51–4,12 г/м² на добу. Внесення біологічних препаратів сприяло підвищенню ефективності фотосинтезу, що підтвердилося зростанням ЧПФ у дослідних варіантах (табл. 4). Зокрема, застосування Біокомплекс-БТУ (II, III, VIII етапи обробки) сприяло збільшенню значення чистої продуктивності фотосинтезу у сорту ‘Біла Альтанка’ до 3,94 г/м² на добу, що перевищувало контрольні показники. Передпосівна обробка насіння біопрепаратами також мала позитивний ефект, забезпечуючи підвищення показника до рівня 4,03–4,05 г/м² на добу у сорту ‘Біла Альтанка’ та до 4,28 г/м² на добу у сорту ‘Омріяне’.

**Чиста продуктивність фотосинтезу посівів проса, г/м² на добу
(середнє за 2022–2024 рр.)**

Спосіб застосування	Фаза розвитку	
	кущіння – викидання волоті	викидання волоті – досягання
‘Біла Альтанка’		
Контроль (без обробки ДП)	3,51	6,06
Біокомплекс-БТУ (II, III, VIII et. o.)	3,94	6,80
Органік-Баланс (II, III, VIII et. o.)	3,93	6,78
Обробка насіння Біокомплекс-БТУ	4,05	7,00
Обробка насіння Органік-Баланс	4,03	6,96
Комплекс: Біокомплекс-БТУ	4,12	7,12
Комплекс: Органік-Баланс	4,10	7,09
‘Омріяне’		
Контроль (без обробки ДП)	3,71	6,52
Біокомплекс-БТУ (II, III, VIII et. o.)	4,17	7,34
Органік-Баланс (II, III, VIII et. o.)	4,15	7,30
Обробка насіння Біокомплекс-БТУ	4,28	7,53
Обробка насіння Органік-Баланс	4,27	7,51
Комплекс: Біокомплекс-БТУ	4,34	7,64
Комплекс: Органік-Баланс	4,36	7,66

У фазі викидання волоті – дозрівання спостерігалось подальше зростання значення ЧПФ у дослідних варіантах. Зокрема, у сорту ‘Біла Альтанка’ показник ЧПФ знаходився у межах 6,06–7,12 г/м² на добу, а у сорту ‘Омріяне’ – 6,52–7,64 г/м² на добу. Максимальні значення ЧПФ зафіксовано у варіантах із комплексним застосуванням біопрепарату Біокомплекс-БТУ, що забезпечило підвищення показника до 7,12 г/м² на добу у сорту ‘Біла Альтанка’ та 7,64 г/м² на добу у сорту ‘Омріяне’.

Загалом, використання біопрепаратів сприяло підвищенню ЧПФ на 17,2–17,5 %, порівняно з контрольними варіантами. Це підтверджує їхню ефективність у стимулюванні фотосинтетичної активності рослин та покращенні продуктивності культури, що є важливим чинником для підвищення врожайності та адаптації посівів до умов органічного землеробства.

Висновки

Вибір стійких сортів проса є ключовим чинником адаптивних систем землеробства, що дозволяє забезпечувати стабільні врожаї в умовах змінного клімату. Використання біологічних препаратів, зокрема Біокомплекс-БТУ та Органік-Баланс, позитивно впливає на фотосинтетичну активність проса, підвищуючи фотосинтетичний потенціал і чисту продуктивність фотосинтезу. Найвищі значення цих показників досягнуто при комплексному застосуванні біопрепаратів, що сприяло збільшенню асиміляційної поверхні листків на 15,0–17,2 % порівняно з контролем. Оптимальний розвиток листкової поверхні забезпечує більш ефективне використання сонячної енергії, що позитивно позначається на накопиченні сухої речовини.

У фазі дозрівання проса найвищий рівень накопичення сухої речовини спостерігався при комплексній обробці Біокомплекс-БТУ – 15,98 т/га у сорту ‘Омріяне’ та 14,63 т/га у сорту ‘Біла Альтанка’, що перевищувало контрольні варіанти на 17,5 %. Вплив біопрепаратів також сприяв підвищенню чистої продуктивності фотосинтезу, що дозволило досягти максимальних значень у фазі досягання – 7,64 г/м² на добу у сорту ‘Омріяне’. Зниження освітлення в період наливу зерна негативно позначалося на фотосинтетичній активності, що проявлялося у зменшенні вмісту хлорофілу та погіршенні показників урожайності.

Використана література

1. Аверчев О. В., Нікітенко М. П. Агроекологічне обґрунтування адаптивних технологій вирощування проса в глобальних умовах змін клімату. *Кліматичні зміни та сільське господарство. Виклики для аграрної науки та освіти*: збірник матеріалів VII Міжнародної науково-практичної конференції (м. Київ, 27 березня 2024 р.). Київ, 2024. С. 154–157.
2. Аверчев О. В., Нікітенко М. П. Біологічні особливості проса як фактори його адаптації до зміни клімату. *Матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні технології агропромислового виробництва»* (м. Кропивницький, 14–15 листопада 2024 р.). Кропивницький : ЦНТУ, 2024. С. 87–89.
3. Каленська С. М., Черній В. П. Продуктивність посівів проса залежно від елементів біологізації технології вирощування. *Наукові доповіді Національного університету біоресурсів і природокористування України*. 2017. № 2. URL: <http://journals.nubip.edu.ua/index.php/Dopovidi/article/view/8456/7922>
4. Черній В. П. Урожайність проса за умов біологізації його вирощування у Правобережному Лісостепу України. *Вісник Житомирського агроекологічного університету*. 2015. № 2, Т. 1. С. 458–464.
5. Степанченко В. Фотосинтетична діяльність сортів проса. *Аграрна наука та освіта в умовах євроінтеграції*: збірник наукових праць Міжнародної науково-практичної конференції (20–21 березня 2019 р., м. Кам'янець-Подільський). Тернопіль : Крок, 2019. Ч. 1. С. 156–158.
6. Любич О. Г. Особливості сівби проса в Поліссі та Лісостепу в умовах весни 2020 р. URL: <https://zemlerobstvo.com/news/osoblivosti-sivbi-prosa-v-polissi-ta-lisostepu-v-umovah-vesni-2020-r>
7. Василенко Р. М. Вплив способів сівби та норм висіву на продуктивність італійського проса (*Setaria italica* Махма) в умовах півдня України. *Таврійський науковий вісник*. 2011. № 76. С. 45–49.
8. Нікітенко М. П. Вплив багатофункціональних комплексних препаратів на фотосинтетичний потенціал проса посівного (*Panicum miliaceum* L.). *Таврійський науковий вісник. Серія: Сільськогосподарські науки*. 2023. Вип. 134. С. 361–367.
9. Камінський В. Ф., Глієва О. В. Площа листового апарату та фотосинтетична продуктивність посівів проса за різних рівнів мінерального живлення. *Збірник наукових праць ННЦ «Інститут землеробства НААН»*. 2014. Вип. 3. С. 79–84.
10. Мусіч В. В., Присяжнюк О. І. Закономірності зміни фотосинтетичних параметрів посівів проса пругоподібного за вирощування на маргінальних ґрунтах Правобережного Лісостепу України. *Новітні агротехнології*. 2022. Т. 10, № 2. doi: 10.47414/na.10.2.2022.270474
11. Taylor S. H., Lowry D. B., Aspinwall M. J. et al. QTL and drought effects on leaf physiology in lowland *Panicum virgatum*. *BioEnergy Research*. 2016. Vol. 9, Iss. 4. P. 1241–1259. doi: 10.1007/s12155-016-9768-5
12. Massey J., Antonangelo J., Zhang H. Nutrient dynamics in switchgrass as a function of time. *Agronomy*. 2020. Vol. 10, Iss. 7. Article 940. doi: 10.3390/AGRONOMY1007094027
13. Yang J., Preiser A. L., Li Z. et al. Triose phosphate use limitation of photosynthesis: short-term and long-term effects. *Planta*. 2016. Vol. 243, Iss. 3. P. 687–698. doi: 10.1007/s00425-015-2436-828
14. Yang J., Udvardi M. Senescence and nitrogen use efficiency in perennialgrasses for forage and biofuel production. *Journal of Experimental Botany*. 2018. Vol. 69, Iss. 4. P. 855–865. doi: 10.1093/JXB/ERX241
15. Feng Y., Yang D., Zhao F. et al. Comprehensive Evaluation of Photosynthetic Performance of Foxtail Millet Varieties and Screening of High Photosynthetic Efficiency Varieties. *Journal of Henan Agricultural Sciences*. 2024. Vol. 53, Iss. 5. P. 40–48. doi: 10.15933/j.cnki.1004-3268.2024.05.005
16. Lu H. B., Qiao Y. M., Gong X. C. et al. Influence of drought stress on the photosynthetic characteristics and dry matter accumulation of hybrid millet. *Photosynthetica*. 2015. Vol. 53, Iss. 2. P. 306–311. doi: 10.1007/s11099-015-0120-7
17. Pavithra K. S., Senthil A., Babu Rajendra Prasad V. et al. Variations in photosynthesis associated traits and grain yield of minor millets. *Plant Physiology Reports*. 2020. Vol. 25, Iss. 3. P. 418–425. doi: 10.1007/s40502-020-00525-5
18. Bhatt D., Negi M., Sharma P. et al. Responses to drought induced oxidative stress in five

- finger millet varieties differing in their geographical distribution. *Physiology and Molecular Biology of Plants*. 2011. Vol. 17, Iss. 4. Article 347. doi: 10.1007/s12298-011-0084-4
19. Flood P. J., Harbinson J., Aarts M. G. Natural genetic variation in plant photosynthesis. *Trends in Plant Science*. 2011. Vol. 16, Iss. 6. P. 327–335. doi: 10.1016/j.tplants.2011.02.005
20. Padulosi S., Mal B., King O., Gotor E. Minor millets as a central element for sustainably enhanced incomes, empowerment, and nutrition in rural India. *Sustainability*. 2015. Vol. 7, Iss. 7. P. 8904–8933. doi: 10.3390/su7078904
21. Zhang L. G., Huang L., Huang L. et al. Photosynthetic and physiological responses of foxtail millet (*Setaria italica* L.) to low-light stress during grain-filling stage. *Photosynthetica*. 2017. Vol. 55. P. 491–500. doi: 10.1007/s11099-016-0645-4
22. Hao X. Y., Li P., Li H. Y. et al. Elevated CO₂ increased photosynthesis and yield without decreasing stomatal conductance in broomcorn millet. *Photosynthetica*. 2017. Vol. 55, Iss. 1. P. 176–183. doi: 10.1007/s11099-016-0226-6
23. Методика державного сортовипробування сільськогосподарських культур. Київ, 2004. Вип. 3. 78 с.
24. Присяжнюк О. І., Каражбей Г. М., Лещук Н. В. та ін. Статистичний аналіз агрономічних дослідних даних в пакеті Statistica 10 : методичні вказівки. Київ : Нілан-ЛТД, 2016. 54 с.
25. Zhang Ya-qi, LI Shu-wen, FU Wei, WEN Hong-da. Effects of nitrogen application on yield, photosynthetic characteristics and water use efficiency of hybrid millet. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizers*. 2014. Vol. 20, Iss. 5. P. 1119–1126. doi: 10.11674/zwyf.2014.0508
26. Yang J., Zhao H., Zhang T. Diurnal patterns of net photosynthetic rate, stomatal conductance, and chlorophyll fluorescence in leaves of field-grown mungbean (*Phaseolus radiatus*) and millet (*Setaria italica*). *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*. 2004. Vol. 32, Iss. 3. P. 273–279. doi: 10.1080/01140671.2004.9514306
27. Sun C. Q., Guo Z. L., Qu F. et al. The influence of different fertilization conditions on chlorophyll content of hybrid millet. *Crops*. 2014. Vol. 3. P. 72–76. doi: 10.16035/j.issn.1001-7283.2014.03.019
28. Reddy Y. A. Nanja. Studies on photosynthetic rate, anatomical characters, and grain yield in finger millet genotypes. *Current Journal of Applied Science and Technology*. 2020. Vol. 39, Iss. 23. P. 31–39. doi: 10.9734/cjast/2020/v39i2330854
29. Choudhury N., Ajay, Choudhury M. S. A. Millets in organic agricultural system. *Millets and other potential crops: Ensuring climate resilience and nutritional security*. London : CRC Press, 2024. P. 69–90. doi: 10.1201/9781003531937-6

References

1. Averchev, O. V., & Nikitenko, M. P. (2024). Agroecological justification of adaptive millet cultivation technologies under global climate change conditions. In *Climate Change and Agriculture. Challenges for Agrarian Science and Education: Proceedings of the VII International Scientific and Practical Conference* (pp. 154–157). Kyiv. [In Ukrainian]
2. Averchev, O. V., & Nikitenko, M. P. (2024). Biological characteristics of millet as factors of its adaptation to climate change. In *Proceedings of the III International Scientific and Practical Conference "Modern Technologies of Agro-Industrial Production"* (pp. 87–89). Kropyvnytskyi: CNTU. [In Ukrainian]
3. Kalenska, S. M., & Chernii, V. P. (2017). Productivity of millet crops depending on elements of biologization of cultivation technology. *Scientific Reports of the National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine*, 2. Retrieved from <http://journals.nubip.edu.ua/index.php/Dopovidi/article/view/8456/7922>
4. Chernii, V. P. (2015). Millet yield under biologization of its cultivation in the Right-Bank Forest-Steppe of Ukraine. *Bulletin of Zhytomyr Agroecological University*, 2(1), 458–464. [In Ukrainian]
5. Stepanchenko, V. (2019). Photosynthetic activity of millet varieties. In *Agrarian Science and Education in the Conditions of European Integration: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference* (Vol. 1, pp. 156–158). Ternopil: Krok. [In Ukrainian]

6. Liubchych, O. H. (2020). Features of millet sowing in Polissia and Forest-Steppe under the conditions of spring 2020. Retrieved from <https://zemlerobstvo.com/news/osoblivosti-sivbi-prosa-v-polissi-ta-lisostepu-v-umovah-vesni-2020-r/> [In Ukrainian]
7. Vasylenko, R. M. (2011). Effect of sowing methods and seeding rates on the productivity of Italian millet (*Setaria italica* Maxma) in the south of Ukraine. *Taurian Scientific Herald*, 76, 45–49. [In Ukrainian]
8. Nikitenko, M. P. (2023). Influence of multifunctional complex preparations on the photosynthetic potential of common millet (*Panicum miliaceum* L.). *Taurian Scientific Herald. Series: Agricultural Sciences*, 134, 361–367. [In Ukrainian]
9. Kaminskyi, V. F., & Hlieieva, O. V. (2014). Leaf area and photosynthetic productivity of millet crops under different levels of mineral nutrition. *Collection of Scientific Papers of the National Scientific Center "Institute of Agriculture NAAS"*, 3, 79–84. [In Ukrainian]
10. Musich, V. V., & Prysiashniuk, O. I. (2022). Patterns of changes in photosynthetic parameters of switchgrass grown on marginal lands of the Right Bank Forest Steppe of Ukraine. *Advanced Agritechnologies*, 10(2). doi: 10.47414/na.10.2.2022.270474 [In Ukrainian]
11. Taylor, S. H., Lowry, D. B., Aspinwall, M. J., Bonnette, J. E., Fay, P. A., & Juenger, T. E. (2016). QTL and drought effects on leaf physiology in lowland *Panicum virgatum*. *BioEnergy Research*, 9(4), 1241–1259. doi: 10.1007/s12155-016-9768-5
12. Massey, J., Antonangelo, J., & Zhang, H. (2020). Nutrient dynamics in switchgrass as a function of time. *Agronomy*, 10(7), Article 940. doi: 10.3390/AGRONOMY1007094027
13. Yang, J. T., Preiser, A. L., Li, Z., Weise, S. E., & Sharkey, T. D. (2016). Triose phosphate use limitation of photosynthesis: short-term and long-term effects. *Planta*, 243(3), 687–698. doi: 10.1007/s00425-015-2436-8
14. Yang, J., & Udvardi, M. (2018). Senescence and nitrogen use efficiency in perennial grasses for forage and biofuel production. *Journal of Experimental Botany*, 69(4), 855–865. doi: 10.1093/JXB/ERX241
15. Feng, Y., Yang, D., & Zhao, F. (2024). Comprehensive evaluation of photosynthetic performance of foxtail millet varieties and screening of high photosynthetic efficiency varieties. *Journal of Henan Agricultural Sciences*, 53(5), 40–48. doi: 10.15933/j.cnki.1004-3268.2024.05.005
16. Lu, H. B., Qiao, Y. M., Gong, X. C., Li, H. Q., Zhang, Q., Zhao, Z. H., & Meng, L. L. (2015). Influence of drought stress on the photosynthetic characteristics and dry matter accumulation of hybrid millet. *Photosynthetica*, 53(2), 306–311. doi: 10.1007/s11099-015-0120-7
17. Pavithra, K. S., Senthil, A., Babu Rajendra Prasad, V., Ravikesavan, R., & Djanaguiraman, M. (2020). Variations in photosynthesis associated traits and grain yield of minor millets. *Plant Physiology Reports*, 25(3), 418–425. doi: 10.1007/s40502-020-00525-5
18. Bhatt, D., Negi, M., Sharma, P., Saxena, S. C., Dobriyal, A. K., & Arora, S. (2011). Responses to drought induced oxidative stress in five finger millet varieties differing in their geographical distribution. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 17(4), Article 347. doi: 10.1007/s12298-011-0084-4
19. Flood, P. J., Harbinson, J., & Aarts, M. G. (2011). Natural genetic variation in plant photosynthesis. *Trends in Plant Science*, 16(6), 327–335. doi: 10.1016/j.tplants.2011.02.005
20. Padulosi, S., Mal, B., King, O., & Gotor, E. (2015). Minor millets as a central element for sustainably enhanced incomes, empowerment, and nutrition in rural India. *Sustainability*, 7(7), 8904–8933. doi: 10.3390/su7078904
21. Yuan, X. Y., Zhang, L. G., Huang, L., Qi, X., Wen, Y. Y., Dong, S. Q., ... Guo, P. Y. (2017). Photosynthetic and physiological responses of foxtail millet (*Setaria italica* L.) to low-light stress during grain-filling stage. *Photosynthetica*, 55, 491–500. doi: 10.1007/s11099-016-0645-4
22. Hao, X. Y., Li, P., Li, H. Y., Zong, Y. Z., Zhang, B., Zhao, J. Z., & Han, Y. H. (2017). Elevated CO₂ increased photosynthesis and yield without decreasing stomatal conductance in broomcorn millet. *Photosynthetica*, 55(1), 176–183. doi: 10.1007/s11099-016-0226-6
23. Ministry of Agrarian Policy of Ukraine. (2004). *Methodology of state variety testing of agricultural crops* (Vol. 3). Kyiv.
24. Prysiashniuk, O. I., Karazhbei, H. M., Leshchuk, N. V., Tsyba, S. V., Mazhuga, K. M., Brovkin, V. V., ... Maslechkin, V. V. (2016). *Statistical analysis of agronomic research data in the Statistica 10 package: Methodical guidelines*. Nilan-LTD. [In Ukrainian]

25. Zhang, Y.-q., Li, S.-w., Fu, W., & Wen, H.-d. (2014). Effects of nitrogen application on yield, photosynthetic characteristics and water use efficiency of hybrid millet. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizers*, 20(5), 1119–1126. doi: 10.11674/zwyf.2014.0508
26. Yang, J., Zhao, H., & Zhang, T. (2004). Diurnal patterns of net photosynthetic rate, stomatal conductance, and chlorophyll fluorescence in leaves of field-grown mungbean (*Phaseolus radiatus*) and millet (*Setaria italica*). *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, 32(3), 273–279. doi: 10.1080/01140671.2004.9514306
27. Sun, C. Q., Guo, Z. L., & Qu, F. (2014). The influence of different fertilization conditions on chlorophyll content of hybrid millet. *Crops*, 3, 72–76. doi: 10.16035/j.issn.1001-7283.2014.03.019
28. Reddy, Y. A. N. (2020). Studies on photosynthetic rate, anatomical characters, and grain yield in finger millet genotypes. *Current Journal of Applied Science and Technology*, 39(23), 31–39. doi: 10.9734/cjast/2020/v39i2330854
29. Choudhury, N., Ajay, & Choudhury, M. S. A. (2024). Millets in organic agricultural system. In *Millets and other potential crops: Ensuring climate resilience and nutritional security* (pp. 69–90). London: CRC Press. doi: 10.1201/9781003531937-6

UDC 632: 633.16: 581.5

Fedorchenko, M. M., & Karpuk, L. M.* (2024). Peculiarities of the formation of photosynthetic indicators in proso millet under organic production in the Right-Bank Forest-Steppe of Ukraine. *Scientific Papers of the Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet*, 32, 63–73. [In Ukrainian]

*Bila Tserkva National Agrarian University, 8/1 Soborna Square, Bila Tserkva, Kyiv region, 09100, Ukraine, *e-mail: lesya_karpuk@ukr.net*

Purpose. The aim of the study was to determine the effectiveness of using biopreparations in proso millet cultivation technology, particularly their influence on photosynthetic potential, net photosynthetic productivity, and dry matter accumulation. **Methods.** Field experiments were conducted in 2022–2024 at the experimental site of private agricultural enterprise named after T. Shevchenko (Kyiv region). The study examined proso millet varieties ‘Omriiane’ and ‘Bila Altanka’, applying the biopreparations Biocomplex-BTU and Organic-Balance in different treatments: seed treatment, foliar application at various growth stages, and the combined use of the preparations. The parameters of photosynthetic activity, assimilation area, and dry matter accumulation were evaluated. **Results.** The results showed that the use of biopreparations contributed to an increase in photosynthetic potential and net photosynthetic productivity. In the tillering–panicle emergence phase, the photosynthetic potential of the ‘Omriiane’ variety reached 1.03 million m² × days/ha, while in the panicle emergence–ripening phase, it increased to 1.32 million m² × days/ha, which was 17.5% higher than in the control variants. A similar trend was observed in the ‘Bila Altanka’ variety. Net photosynthetic productivity in the ripening phase increased to 7.64 g/m² per day for ‘Omriiane’, also exceeding the control values. Biopreparations contributed to a 15.0–17.2% increase in the plant assimilation area, positively affecting dry matter accumulation. In the ripening phase, the maximum dry matter accumulation was recorded at 15.98 t/ha for ‘Omriiane’ and 14.63 t/ha for ‘Bila Altanka’. **Conclusions.** The conclusions indicate that the application of biological preparations is an effective method for increasing proso millet productivity, particularly under organic farming conditions. Biopreparations positively influence the photosynthetic apparatus of plants, improve water balance, enhance resistance to stress factors, and ensure stable crop yields. The obtained results can be used to develop effective proso millet cultivation technologies, considering the specifics of organic production.

Keywords: proso millet; varieties; photosynthetic potential; net photosynthetic productivity; biological preparations; organic production.

Надійшла / Received 05.11.2024

Погоджено до друку / Accepted 25.11.2024

Оцінювання генетичного різноманіття сортів малини за використання RAPD-PCR маркерів

 Н. О. Димань,  Л. М. Карпук*

Білоцерківський національний аграрний університет, пл. Соборна, 8/1, м. Біла Церква, Київська обл., 09100, Україна, *e-mail: lesya_karpuk@ukr.net

Мета. Оцінити ефективність використання RAPD-PCR-маркерів для дослідження генетичного поліморфізму 12 сортів малини, які культивуються в Україні. **Методи.** Виділення ДНК із молодих листків малини за використання СТАВ-буферу. Для добору інформативних RAPD-PCR-маркерів для аналізу геному малини було протестовано 28 праймерів. **Результати.** Доведено високу інформативність методу мультилокусного ДНК-профілювання RAPD-PCR для генетичної ідентифікації сортів малини за використання 7 RAPD-праймерів. З'ясовано, що досліджені сорти малини характеризуються високим рівнем генетичної мінливості за маркерами RAPD-PCR: середня кількість алелів на локус (N_a) становила 1,895, середнє значення ефективного числа алелів на локус (N_e) – 1,434, середнє значення індексу гетерогенності Шеннона – 0,419, середнє значення очікуваної гетерозиготності – 0,270. Середні значення генетичних дистанцій та індексу генетичної спорідненості між сортами малини становили 0,488 і 0,696 відповідно. **Висновки.** Досліджені RAPD-маркери можуть бути корисними не тільки для характеристики генетичної структури, розрізнення сортів малини та підбору їх найперспективніших варіантів для схрещування, а й для вирішення юридичних питань на кшталт оцінювання порушень прав селекціонерів.

Ключові слова: *Rubus*; малина; RAPD-PCR-маркери; поліморфізм; селекція.

Вступ

Малина (*Rubus idaeus* L.: *Rosaceae*) є важливою комерційною ягідною культурою, яка поширена в усіх помірних регіонах світу. Завдяки багатому біохімічному складу і корисним властивостям малину широко застосовують у переробній промисловості і кондитерському виробництві. Плоди малини й інші органи рослини (листя, суцвіття, коріння) – джерело цінних речовин, необхідних для здоров'я людини [1]. Виробництво малини в Європі за останні 50 років зросло майже вчетверо.

Багато з найважливіших сучасних комерційних сортів червоної малини походять від гібридів або селекції з дикої природи. Для практичної селекції малини необхідні надійні методи ідентифікації сортів та оцінювання генетичного різноманіття / спорідненості генотипів цієї культури.

Зазвичай ідентифікацію сортів, а також їхню реєстрацію проводять на основі морфологічних характеристик за методикою, запропонованою UPOV (Union for the Protection of New Varieties of Plants). Однак морфологічні ознаки не завжди змінюються дискретно, і на їх фенотиповий прояв можуть істотно впливати умови зовнішнього середовища. Використання в генетичній ідентифікації рослин фенотипових маркерів обмежено через їх невелику кількість і неможливість визначення сортової належності рослин на ранніх стадіях розвитку. Крім того, прояв фенотипової ознаки найчастіше визначається епістатичним та плейотропним ефектом взаємодії генів.

Розвиток молекулярної біології уможливив ідентифікацію видів і сортів рослин за допомогою інших засобів, крім морфологічних характеристик. Це сприяло кращому розумінню генетичної архітектури культурних рослин і використанню генетичного різноманіття селекціонерами. Стало можливим встановлювати взаємозв'язки між видами і

сортами й здійснювати більш точну таксономічну класифікацію. Молекулярні методи геномної ідентифікації та паспортизації сортів сільськогосподарських рослин не залежать від умов вирощування та репродукції рослинного матеріалу [2].

Генетичний поліморфізм різних видів рослин і тварин вже тривалий час успішно досліджують за допомогою методів ДНК-фінгерпринту з використанням полімеразної ланцюгової реакції. Зокрема, генетичне різноманіття малини вивчали, досліджуючи поліморфізми довжин рестрикційних фрагментів (RFLPs) [3], довжин ампліфікованих фрагментів (AFLPs) [4], міжмікросателітних послідовностей (ISSR) [5], простих повторюваних послідовностей (мікросателітів) (SSR) [6], випадково ампліфікованих ділянок ДНК (RAPD) [2, 7].

Серед перших ПЛР-маркерів, застосованих для малини, були RAPD-маркери. У генетиці рослин їх поліморфізм активно використовують, починаючи з 90-х років минулого століття, передусім для вивчення генетичного різноманіття мало вивчених таксономічних груп. Для деяких видів рослин з його допомогою побудовано генетичні карти. Метод швидкий і простий для виконання, універсальний для різних видів і родів живих організмів, має порівняно низьку собівартість [8].

RAPD-маркери було використано для визначення генотипів та уточнення родоводів селекційних сортів малини звичайної [9], малини західної [7], дикорослих популяцій *R. idaeus* [10]. Корейські дослідники RAPD-аналіз застосували для уточнення походження місцевого сорту ожини КСВ (*Korean Cultivated Bramble* – ожина, культивована в Кореї) [11]. Литовські вчені за допомогою маркерів RAPD-PCR дослідили генетичну структуру 19 популяцій *R. idaeus* із різних агрокліматичних зон країни. Всього було проаналізовано 315 зразків малини й підтверджено, що екологічні чинники мають значний вплив на генетичне різноманіття досліджених популяцій [12].

Незважаючи на значний прогрес молекулярно-генетичних досліджень ягідних культур, і, зокрема, малини у світі, в Україні ця культура за допомогою ДНК-маркерів не досліджувалася.

Мета досліджень – оцінити ефективність використання RAPD-маркерів для дослідження генетичного поліморфізму та спорідненості сортів малини, які культивуються в Україні.

Матеріали та методика досліджень

Було досліджено 12 сортів малини: 6 сортів, які зареєстровано в Державному реєстрі рослин, придатних для поширення в Україні ('Благородна', 'Брусвяна', 'Космічна', 'Новокитаївська', 'Осінь', 'Промінь') [13], 5 сортів, які було виключено з державного реєстру (С1, С2, С3, С4, С5) [14], і один сорт американської селекції, який садівники часто обирають завдяки високій врожайності, привабливому зовнішньому вигляду, смачним ароматним ягодам ('Херітейдж'). Кожного сорту було придбано по п'ять кущів і висаджено в умовах ТОВ «Еліта» (сmt Терезине, Київська обл.).

Для виділення ДНК використовували молоді листки малини. Їх збирали окремо з кожного сорту, поміщали в рідкий азот й витримували до екстракції ДНК. ДНК виділяли за використання СТАВ-буферу [15]. Після цього вимірювали концентрацію ДНК і зберігали препарат за температури $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$.

З метою підбору інформативних RAPD-маркерів для аналізу геному малини нами було проведено тестування 28 праймерів, 18 з яких відповідали номенклатурі компанії Operon Technology (США), а 10 інших (серія RAP) мали довільні нуклеотидні послідовності розміром 10–16 п. н. (табл. 1).

RAPD-аналіз генетичного поліморфізму сортів малини проводили за використання ампліфікатора «GeneAmp 2400» (Applied Biosystems, США). Реакційна суміш об'ємом 10 мкл містила: 1×ПЛР-буфер (67 мМ Tris-HCl (pH 8,8), 17 мМ $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, 0,01 % Tween-20), 0,2 мМ dNTP, 1 од. Tag-полімерази, 20 нг геномної ДНК, 2,0 мМ MgCl_2 та 0,3 мкМ відповідного праймера.

Нуклеотидні послідовності використаних RAPD-праймерів

Праймер	Послідовність, 5→3	Праймер	Послідовність, 5→3
OPA-05	AGGGGTCTTG	OPH-07	CTGCATCGTG
OPA-07	GAAACGGGTG	OPT-17	CCAACGTCGT
OPA-09	GGGTAACGCC	OPB-03	CATCCCCCTG
OPA-10	GTGATCGCAG	OPB-11	GTAGACCCGT
OPA-11	CAATCGCCGT	RAP-02	GCCAGCTGTACG
OPA-12	TCGGCGATAG	RAP-09	GCAAGTTCAGCCTGG
OPA-17	GACCGCTTGT	RAP-10	CCGAATTCGC
OPA-18	AGGTGACCGT	RAP-11	GGACCCCGCC
OPAD-07	CCCTACTGGT	RAP-12	CGATTTGTCC
OPAD-10	AAGAGGCCAG	RAP-13	CTACATCAACCGCGT
OPAA-12	GGACCTCTTG	RAP-14	GCATGGATAATAAACG
OPAA-16	GGAACCCACA	RAP-15	GTGTTCGGGAG
OPZ-04	AGGCTGTGCT	RAP-17	ATCCAGTCGGC
OPZ-15	CAGGGCTTTC	RAP-24	CAGTAGGTAGAGCAT

Умови ампліфікації були такими: 4 хв за 94 °С; 38 циклів: 45 с за 94 °С, 45 с за 36 °С, 2 хв за 72 °С; 5 хв за 72 °С.

Для електрофоретичного розділення продуктів ампліфікації використовували 2 %-ий агарозний гель завдовжки 15–20 см. Отримані спектри ампліфікації візуалізували в УФ-світлі за довжини хвилі 270 нм. Молекулярну масу ПЛР-продуктів визначали, використовуючи маркер GeneRuler 100 bp (Fermentas, Литва) за використання програмного пакету Quantity One (BioRad, США).

Статистичну обробку RAPD-спектрів проводили за допомогою порівняльного аналізу частот RAPD-локусів у досліджуваних сортів малини із застосуванням комп'ютерних програм PopGen 32 і GenAlex 6.4. Для аналізу обирали чіткі та відтворювані в повторних експериментах фрагменти. За кожним праймером було складено бінарні матриці, в яких наявність смуги певного молекулярного розміру в спектрах сортів позначали як 1, відсутність – 0. Для позначення RAPD-локусу використовували назву праймера, за використання якого його отримано, і розмір локусу в парах нуклеотидів. При цьому кожен смугу (бенд) на електрофореграмі розглядали як окремий генетичний локус. За використання частот локусів було визначено основні показники генетичної мінливості досліджених сортів малини: середньої (N_a) та ефективної кількості алелів на локус (N_e), очікуваної гетерозиготності (H_e) та індексу гетерогенності Шеннона (I).

Результати досліджень

Скринінг 28 праймерів дав змогу відібрати для подальшої роботи 7 праймерів: OPA-07, OPAD-10, RAP-02, RAP-10, RAP-11, RAP-15 та RAP-24. Зазначені праймери уможливили отримання спектрів ампліфікації з чіткими та відтворюваними бендами. У результаті досліджень виявили чинники, які найбільшою мірою впливали на якість спектрів: концентрація хлориду магнію, концентрація препарату ДНК, концентрація праймера у реакційній суміші та кількість циклів ампліфікації.

Сумарно за використання 7 праймерів було отримано 110 продуктів ампліфікації, 92 з яких (82,49 %) були поліморфними у досліджених сортів малини (табл. 2). Приклади отриманих спектрів ампліфікації RAPD-PCR з ДНК 12 досліджуваних сортів малини наведено на рисунках 1–4.

Загальна характеристика RAPD-спектрів з ДНК малини

Праймер	Загальна кількість локусів	Кількість поліморфних локусів	Рівень поліморфізму, %
RAP-11	14	11	78,57
OPA-07	19	16	84,21
OPAD-10	17	15	88,24
RAP-24	18	15	83,33
RAP-02	15	13	86,67
RAP-15	20	17	85,00
RAP-10	7	5	71,43
Σ	110	92	82,49

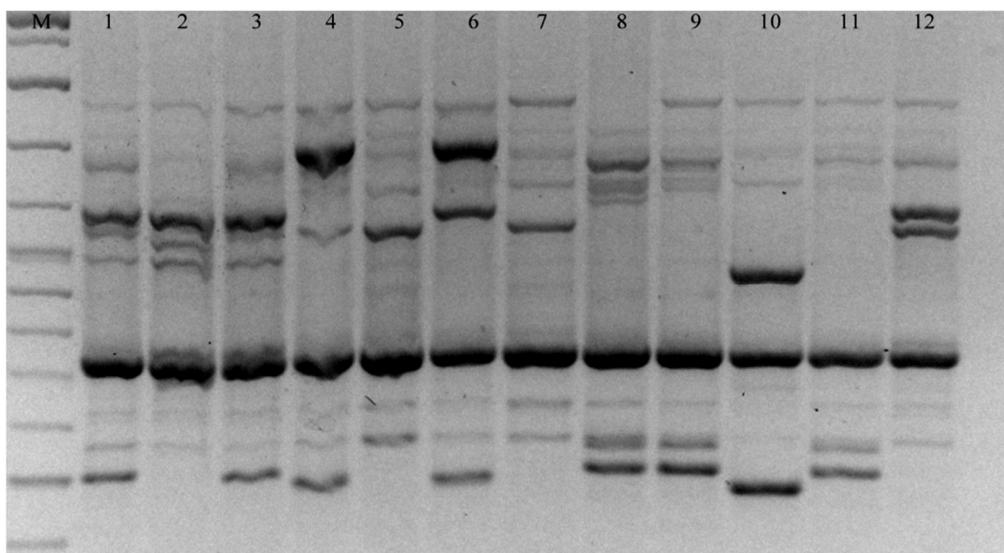


Рис. 1. Електрофореграма розділення продуктів ампліфікації RAPD-PCR з праймером RAP-11: М – маркер молекулярних мас GeneRuler 100 bp (Fermentas, Литва), 1–12 – досліджені сорти малини

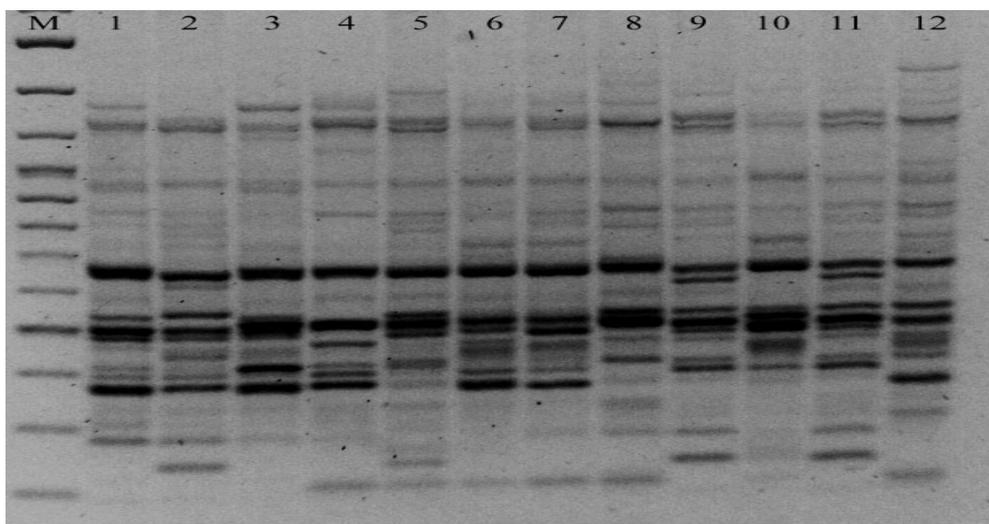


Рис. 2. Електрофореграма розділення продуктів ампліфікації RAPD-PCR з праймером OPAD-10: М – маркер молекулярних мас GeneRuler 100 bp (Fermentas, Литва), 1–12 – досліджені сорти малини

РОСЛИННИЦТВО

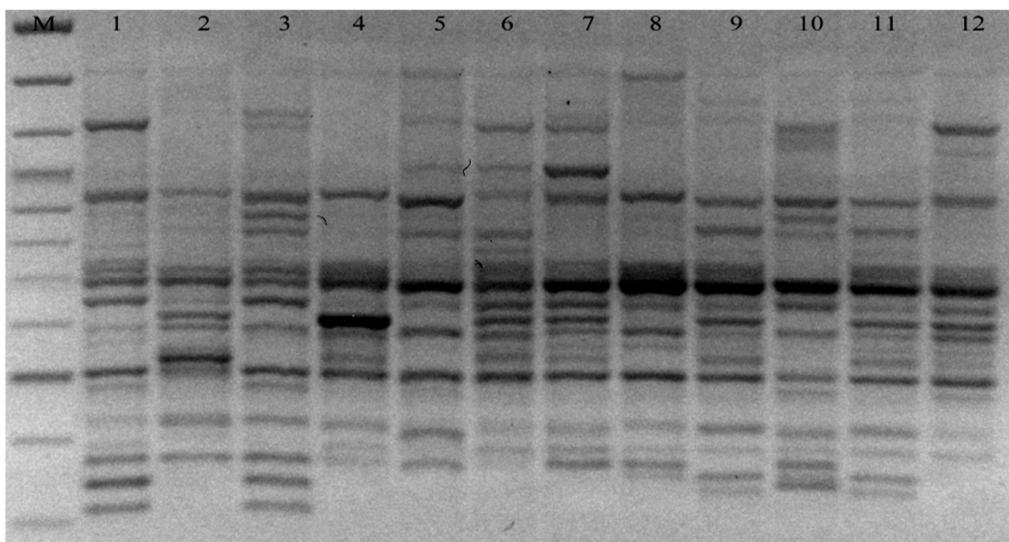


Рис. 3. Електрофореграма розділення продуктів ампліфікації RAPD-PCR з праймером RAP-24: М – маркер молекулярних мас GeneRuler 100 bp (Fermentas, Литва), 1–12 – досліджені сорти малини

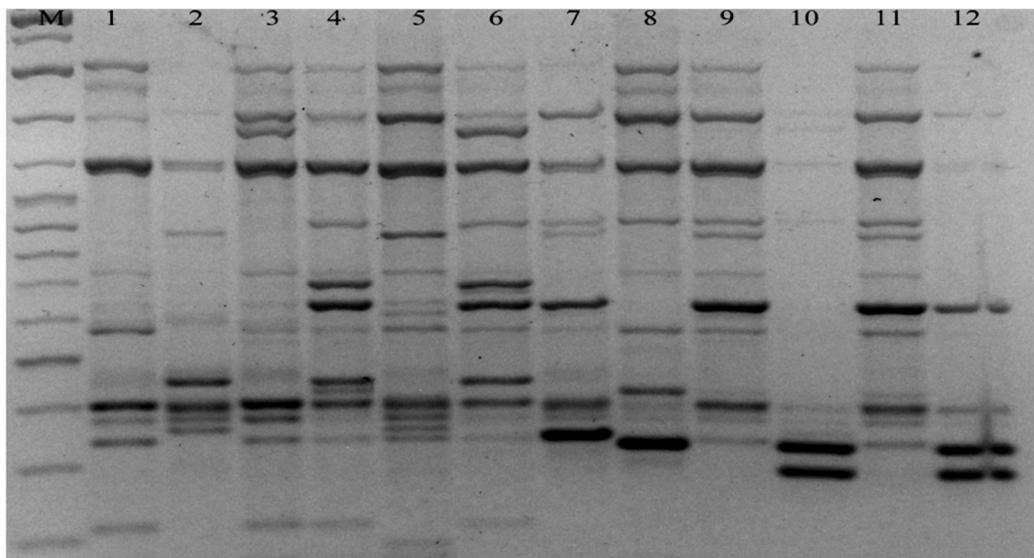


Рис. 4. Електрофореграма розділення продуктів ампліфікації RAPD-PCR з праймером OPA-07: М – маркер молекулярних мас GeneRuler 100 bp (Fermentas, Литва), 1–12 – досліджені сорти малини

Загальна кількість отриманих ДНК-локусів варіювала залежно від використаного праймера у діапазоні від 20 (RAP-15) до 7 (RAP-10). За винятком праймера RAP-10, який показав найменшу кількість поліморфних локусів – 5, спектри з іншими олігонуклеотидами характеризувалися наявністю більш як 10 поліморфних локусів. Максимальну кількість таких ампліконів (17) отримано з праймером RAP-15, мінімальну (11) – з праймером RAP-11. Усі обрані для аналізу генетичного поліморфізму сорти малини праймери показали високий рівень поліморфізму. Для більшості застосованих праймерів цей показник перевищував 80 %.

Наступним етапом роботи було оцінювання ефективності цього методу мультилокусного ДНК-фінгерпринту для визначення рівня генетичного поліморфізму сортів малини, визначення генетичних дистанцій і філогенетичного аналізу. Показники генетичного поліморфізму досліджених сортів представлено в таблиці 3.

Ураховуючи домінуючий тип успадкування переважної більшості RAPD-локусів, середня кількість алелів на локус (N_a) відображає інформативність окремого праймера за

генетичної диференціації досліджених генотипів. У нашому випадку значення N_a перевищувало 1,7 для всіх використаних праймерів (середнє значення – 1,895) та варіювало від 1,714 (RAP-10) до 1,950 (RAP-15).

Таблиця 3

Значення основних показників генетичної мінливості

Праймер	N_a	N_e	I	H_e
RAP-11	1,786±0,114	1,265±0,061	0,307±0,056	0,186±0,038
OPA-07	1,842±0,086	1,334±0,062	0,355±0,049	0,222±0,035
OPAD-10	1,882±0,081	1,501±0,086	0,442±0,059	0,294±0,044
RAP-24	1,833±0,090	1,413±0,074	0,401±0,053	0,259±0,038
RAP-02	1,867±0,091	1,438±0,075	0,429±0,054	0,277±0,038
RAP-15	1,950±0,050	1,499±0,070	0,463±0,044	0,303±0,034
RAP-10	1,714±0,184	1,424±0,170	0,352±0,117	0,237±0,086
Σср	1,895±0,030	1,434±0,030	0,419±0,020	0,270±0,015

Мірою генетичного різноманіття популяції або виду є ефективне число алелів на локус (N_e), оскільки це функція від частки поліморфних локусів, кількості алелів на локус і рівномірності розподілу частот алелів. Спектр ефективного числа алелів у досліджених сортів малини знаходився у межах від 1,265 (RAP-11) до 1,501 (OPAD-10). Середнє значення N_e для використаних у роботі семи RAPD-праймерів становило 1,434.

Оцінювання рівня генетичного поліморфізму досліджених сортів проводили також за показниками очікуваної гетерозиготності (H_e) та індексу гетерогенності Шеннона (I). Значення індексу Шеннона варіювало від 0,307 (RAP-11) до 0,463 (RAP-15). Середнє значення I для всіх праймерів становило 0,419.

Гетерозиготність популяції є важливим показником рівня її генетичної мінливості. Вона визначається як відношення кількості локусів, що знаходяться у гетерозиготному стані у всіх особин даної популяції, до загальної кількості досліджених локусів у цих особин. Середнє значення очікуваної гетерозиготності, обчислене за поліморфізмом RAPD-спектрів у досліджених сортів малини, становило 0,270. Найвищий рівень H_e спостерігали за використання праймера RAP-15 (0,303), найнижчий (0,186) – праймера RAP-11.

Оцінювання генетичних взаємовідносин між дослідженими сортами малини за поліморфізмом 7 RAPD-праймерів проводили за допомогою індексів генетичної ідентичності та генетичних відстаней за N_{eem} (табл. 4).

Середні значення генетичних дистанцій та індексу генетичної спорідненості між сортами малини становило 0,488 і 0,696 відповідно. Розмах генетичних дистанцій між дослідженими сортами малини становив від 0,012 (між сортами 'Космічна' і С5) до 0,719 (між сортами 'Херітейдж' і 'Осінь'), а індексів генетичної спорідненості – 0,987 і 0,487 між цими ж сортами відповідно.

На підставі розрахунку індексів генетичної ідентичності між дослідженими сортами малини проведено кластерний аналіз та побудовано дендрограму генетичних взаємовідносин за використання незваженого парно-групового методу (UPGMA) за поліморфізмом 7 RAPD-праймерів (рис. 5).

Отримана дендрограма складалася з двох основних кластерів. До першого входили чотири сорти: 'Промінь', 'Новокитаївська', 'Осінь' і 'Брусвяна', з яких 'Промінь' і 'Новокитаївська' були значно ближчими між собою ($D = 0,122$). Інші вісім сортів малини на отриманій дендрограмі належать до другого кластера, в межах якого чітко виділяються два підкластери (I і II). I підкластер сформовано сортами 'Херітейдж', С2, С1 і С4, II підкластер – сортами 'Благородна', С3, 'Космічна' і С5, з яких найближчими були сорти 'Космічна' і С5 ($D = 0,012$).

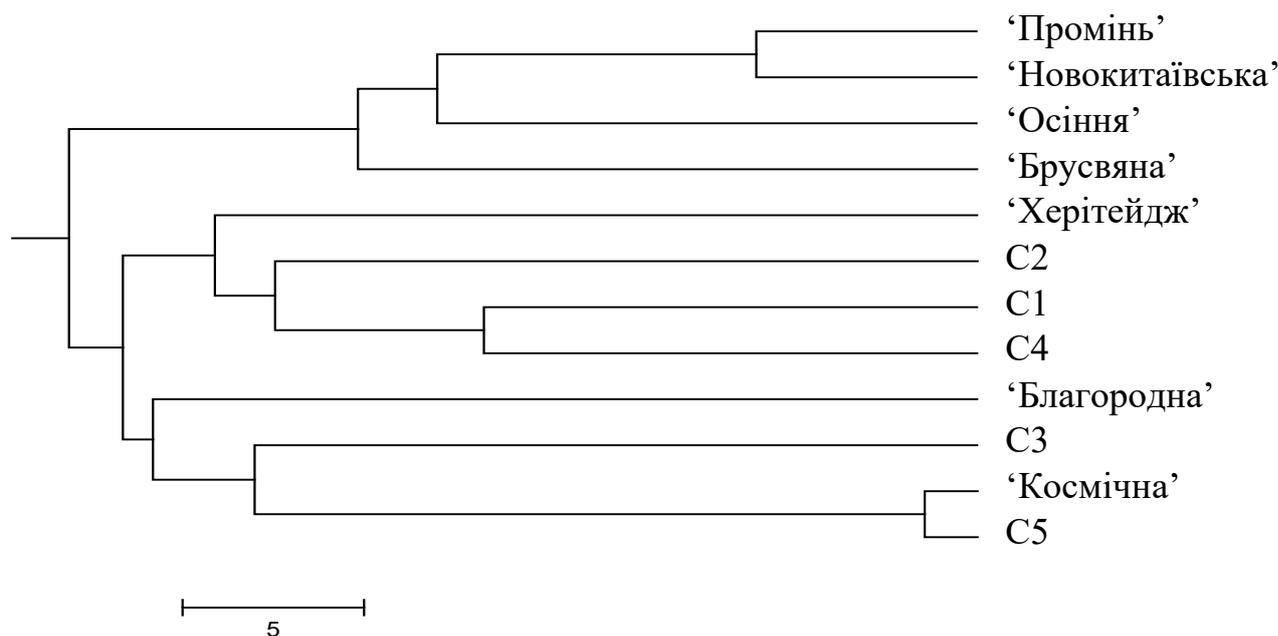
Таблиця 4

**Генетичні взаємовідносини між дослідженими сортами малини,
обчислені за поліморфізмом RAPD-маркерів**

(вище діагоналі – індекси генетичної ідентичності, нижче – генетичні відстані)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	****	0,628	0,884	0,551	0,551	0,512	0,576	0,666	0,602	0,653	0,615	0,653
2	0,464	****	0,538	0,538	0,615	0,551	0,666	0,500	0,641	0,538	0,653	0,487
3	0,122	0,619	****	0,564	0,641	0,551	0,589	0,628	0,512	0,717	0,525	0,666
4	0,595	0,619	0,572	****	0,538	0,807	0,693	0,628	0,512	0,564	0,500	0,692
5	0,595	0,485	0,444	0,619	****	0,576	0,717	0,628	0,641	0,666	0,653	0,589
6	0,667	0,595	0,595	0,213	0,550	****	0,782	0,538	0,551	0,679	0,538	0,653
7	0,550	0,405	0,528	0,367	0,331	0,245	****	0,576	0,641	0,692	0,628	0,641
8	0,405	0,693	0,464	0,464	0,464	0,619	0,550	****	0,653	0,628	0,641	0,730
9	0,506	0,444	0,667	0,667	0,444	0,595	0,444	0,424	****	0,589	0,987	0,538
10	0,424	0,619	0,331	0,572	0,405	0,386	0,367	0,464	0,528	****	0,576	0,641
11	0,485	0,424	0,643	0,693	0,424	0,619	0,464	0,444	0,012	0,550	****	0,525
12	0,424	0,719	0,405	0,367	0,528	0,424	0,444	0,313	0,619	0,444	0,643	****

1 – ‘Промінь’, 2 – ‘Херітейдж’, 3 – ‘Новокитаївська’, 4 – ‘Благородна’, 5 – С2, 6 – С3, 7 – С4, 8 – С1, 9 – ‘Космічна’, 10 – ‘Брусвяна’, 11 – С5, 12 – ‘Осілля’.



**Рис. 5. Дендрограма генетичних взаємовідносин
між дослідженими сортами малини, побудована за поліморфізмом
спектрів ампліфікації RAPD-PCR**

Вивчення генетичної дивергенції за індексами генетичної спорідненості може бути допоміжним для підбору батьківських форм, придатних для отримання гібридів з більшим гетерозисним ефектом і з більшою сегрегацією під час рекомбінації [16]. У нашому випадку, наприклад, найбільш перспективним варіантом може бути схрещування сортів ‘Херітейдж’ та ‘Осілля’, зважаючи на їх більш ніж 70 %-ву відмітність.

Висновки

Підтверджено високу інформативність методу мультилокусного ДНК-профілювання RAPD-PCR для генетичної ідентифікації сортів малини.

Сорти малини, які культивуються в Україні, характеризуються високим рівнем генетичної мінливості за маркерами RAPD-PCR. Зокрема, середня кількість алелів на локус (Na) для досліджених 12 сортів становила 1,895, середнє значення ефективного числа алелів на локус (Ne) для використаних у роботі семи RAPD-праймерів – 1,434, середнє значення індексу гетерогенності Шеннона – 0,419, середнє значення очікуваної гетерозиготності – 0,270. Середні значення генетичних дистанцій та індексу генетичної спорідненості між сортами малини становили 0,488 і 0,696 відповідно.

Досліджені RAPD-маркери можуть бути корисними не тільки для характеристики генетичної структури, розрізнення сортів малини та підбору їх найперспективніших варіантів для схрещування, а й для вирішення юридичних питань на кшталт оцінювання порушень прав селекціонерів.

Використана література

1. Wang Y., Liang J., Luan G. et al. Quantitative analysis of nine phenolic compounds and their antioxidant activities from thirty-seven varieties of raspberry grown in the Qinghai-Tibet Plateau region. *Molecules*. 2019. Vol. 24, Iss. 21. Article 3932. doi: 10.3390/molecules24213932
2. Graham J., McNicol R. J. An examination of the ability of RAPD markers to determine the relationships within and between *Rubus* species. *Theoretical and Applied Genetics*. 1995. Vol. 90. P. 1128–1132. doi: 10.1007/BF00222932
3. Keane B., Smith M. K., Rogstad S. H. Genetic variation in red raspberries (*Rubus idaeus* L., *Rosaceae*) from sites differing in organic pollutants compared with synthetic repeat DNA probes. *Environmental Toxicology and Chemistry*. 1998. Vol. 17. P. 2027–2034. doi: 10.1002/etc.5620171019
4. Ercisli S., Badjakov I., Kondakova V. et al. AFLP-based genetic relationships in wild and cultivated raspberry genotypes (*Rubus idaeus* L.). *Biotechnology and Biotechnological Equipment*. 2008. Vol. 22, Iss. 4. P. 907–910. doi: 10.1080/13102818.2008.10817576
5. Cekic C., Calis O., Ozturk E. S. Genetic diversity of wild raspberry genotypes (*Rubus idaeus* L.) in North Anatolia based on ISSR markers. *Applied Ecology and Environmental Research*. 2018. Vol. 16, Iss. 5. P. 6835–6843. doi: 10.15666/aeer/1605_68356843
6. Castillo N. R. F., Bassil N. V., Wada S., Reed B. M. Genetic stability of cryopreserved shoot tips of *Rubus* germplasm. *In Vitro Cellular and Developmental Biology – Plant*. 2010. Vol. 46, Iss. 3. P. 246–256. doi: 10.1007/s11627-009-9265-z
7. Weber C. A., Pattison J., Samuelian S. Marker assisted selection for resistance to root rot in red raspberry caused by *Phytophthora fragariae* var. *rubi*. *Acta Horticulturae*. 2008. Vol. 777. P. 311–316. doi: 10.17660/Acta Hort.2008.777.46
8. Williams J. G. K., Kubelik A. R., Livak K. J. et al. DNA polymorphisms amplified by arbitrary primers are useful as genetic markers. *Nucleic Acids Research*. 1990. Vol. 18. P. 6531–6535. doi: 10.1093/nar/18.22.6531
9. Graham J., Woodhead M., Smith K. et al. New insight into wild red raspberry populations using simple sequence repeat markers. *Journal of the American Society for Horticultural Science*. 2009. Vol. 134, Iss. 1. P. 109–119. doi: 10.21273/JASHS.134.1.109
10. Simlat M., Ptak A., Kula A., Orzel A. Assessment of genetic variability among raspberry accessions using molecular markers. *Acta Scientiarum Polonorum, Hortorum Cultus*. 2018. Vol. 17, Iss. 5. P. 61–72. doi: 10.24326/asphc.2018.5.6
11. Eu G., Chung B., Bhandopadhyay R. et al. Phylogenetic relationships of *Rubus* species revealed by randomly amplified polymorphic DNA markers. *Journal of Crop Science and Biotechnology*. 2008. Vol. 11, Iss. 1. P. 39–44.

12. Patamsytė J., Kleizaitė V., Čėsniėnė T. et al. The genetic structure of red raspberry (*Rubus idaeus* L.) populations in Lithuania. *Central European Journal of Biology*. 2010. Vol. 5, Iss. 4. P. 496–506. doi: 10.2478/s11535-010-0034-0
13. Державний реєстр сортів рослин, придатних до поширення в Україні у 2024 році. URL: <https://minagro.gov.ua/file-storage/reyestr-sortiv-roslin>
14. Аграрії разом. Каталог сортів рослин. URL: <https://agrarii-razom.com.ua/culture-varieties-catalog/malyna>
15. Abdel-Latif A., Osman G. Comparison of three genomic DNA extraction methods to obtain high DNA quality from maize. *Plant Methods*. 2017. Vol. 13, Iss. 1. Article 1. doi: 10.1186/s13007-016-0152-4
16. Morales R. G. F., Resende J. T. V., Faria M. V. et al. Genetic similarity among strawberry cultivars assessed by RAPD and ISSR markers. *Scientia Agricola*. 2011. Vol. 68, Iss. 6. P. 665–670. doi: 10.1590/S0103-90162011000600010

References

1. Wang, Y., Liang, J., Luan, G., Zhang, S., Zhang, S., Zhuoma, Y., Xie, J., & Zhou, W. (2019). Quantitative analysis of nine phenolic compounds and their antioxidant activities from thirty-seven varieties of raspberry grown in the Qinghai-Tibet Plateau region. *Molecules*, 24(21), Article 3932. doi: 10.3390/molecules24213932
2. Graham, J., & McNicol, R. J. (1995). An examination of the ability of RAPD markers to determine the relationships within and between *Rubus* species. *Theoretical and Applied Genetics*, 90, 1128–1132. doi: 10.1007/BF00222932
3. Keane, B., Smith, M. K., & Rogstad, S. H. (1998). Genetic variation in red raspberries (*Rubus idaeus* L., *Rosaceae*) from sites differing in organic pollutants compared with synthetic repeat DNA probes. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 17, 2027–2034. doi: 10.1002/etc.5620171019
4. Ercisli, S., Badjakov, I., Kondakova, V., Atanassov, A., & Todorovska, E. (2008). AFLP-based genetic relationships in wild and cultivated raspberry genotypes (*Rubus idaeus* L.). *Biotechnology and Biotechnological Equipment*, 22(4), 907–910. doi: 10.1080/13102818.2008.10817576
5. Cekic, C., Calis, O., & Ozturk, E. S. (2018). Genetic diversity of wild raspberry genotypes (*Rubus idaeus* L.) in North Anatolia based on ISSR markers. *Applied Ecology and Environmental Research*, 16(5), 6835–6843. doi: 10.15666/aeer/1605_68356843
6. Castillo, N. R. F., Bassil, N. V., Wada, S., & Reed, B. M. (2010). Genetic stability of cryopreserved shoot tips of *Rubus* germplasm. *In Vitro Cellular & Developmental Biology – Plant*, 46(3), 246–256. doi: 10.1007/s11627-009-9265-z
7. Weber, C. A., Pattison, J., & Samuelian, S. (2008). Marker assisted selection for resistance to root rot in red raspberry caused by *Phytophthora fragariae* var. *rubi*. *Acta Horticulturae*, 777, 311–316. doi: 10.17660/ActaHortic.2008.777.46
8. Williams, J. G. K., Kubelik, A. R., Livak, K. J., Rafalski, J. A., & Tingey, S. V. (1990). DNA polymorphisms amplified by arbitrary primers are useful as genetic markers. *Nucleic Acids Research*, 18, 6531–6535. doi: 10.1093/nar/18.22.6531
9. Graham, J., Woodhead, M., Smith, K., Russell, J., Marshall, B., Ramsay, G., & Squire, G. (2009). New insight into wild red raspberry populations using simple sequence repeat markers. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 134(1), 109–119. doi: 10.21273/JASHS.134.1.109
10. Simlat, M., Ptak, A., Kula, A., & Orzel, A. (2018). Assessment of genetic variability among raspberry accessions using molecular markers. *Acta Scientiarum Polonorum, Hortorum Cultus*, 17(5), 61–72. doi: 10.24326/asphc.2018.5.6
11. Eu, G., Chung, B., Bhandopadhyay, R., Yoo, N.-H., Choi, D., & Yun, S. (2008). Phylogenetic relationships of *Rubus* species revealed by randomly amplified polymorphic DNA markers. *Journal of Crop Science and Biotechnology*, 11(1), 39–44.

12. Patamsytė, J., Kleizaitė, V., Čėsniėnė, T., Rančelis, V., & Žvingila, D. (2010). The genetic structure of red raspberry (*Rubus idaeus* L.) populations in Lithuania. *Central European Journal of Biology*, 5(4), 496–506. doi: 10.2478/s11535-010-0034-0
13. Ministry of Agrarian Policy and Food of Ukraine. (2024). *State register of plant varieties suitable for distribution in Ukraine in 2024*. Retrieved from <https://minagro.gov.ua/file-storage/reyestr-sortiv-roslin>
14. Agrarii Razom. (n. d.). *Catalog of plant varieties*. Retrieved from <https://agrarii-razom.com.ua/culture-varieties-catalog/malyna>
15. Abdel-Latif, A., & Osman, G. (2017). Comparison of three genomic DNA extraction methods to obtain high DNA quality from maize. *Plant Methods*, 13(1), Article 1. doi: 10.1186/s13007-016-0152-4
16. Morales, R. G. F., Resende, J. T. V., Faria, M. V., Andrade, M. C., Resende, L. V., Delatorre, C. A., & Silva, P. R. (2011). Genetic similarity among strawberry cultivars assessed by RAPD and ISSR markers. *Scientia Agricola*, 68(6), 665–670. doi: 10.1590/S0103-90162011000600010

UDC 57.085.2:57.082.13:634.71

Dyman, N. O., & Karpuk, L. M.* (2024). Assessment of genetic diversity of raspberry cultivars using RAPD markers. *Scientific Papers of the Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet*, 32, 74–83. [In Ukrainian]

*Bila Tserkva National Agrarian University, 8/1 Soborna Square, Bila Tserkva, Kyiv region, 09100, Ukraine, *e-mail: lesya_karpuk@ukr.net*

Purpose. To evaluate the efficiency of RAPD markers for assessing genetic polymorphism of 12 raspberry varieties cultivated in Ukraine. **Methods.** Young raspberry leaves were used for DNA extraction. DNA was extracted using CTAB buffer. In order to select informative RAPD-PCR markers for raspberry genome analysis, we tested 28 primers. **Results.** High informativeness of RAPD-PCR method for genetic identification of raspberry cultivars was confirmed by using 7 RAPD primers. The studied raspberry cultivars had a high level of genetic variability by RAPD-PCR markers: the average number of alleles per locus (N_a) was 1.895, the average value of the effective number of alleles per locus (N_e) was 1.434, the average value of the Shannon heterogeneity index was 0.419, the average value of the expected heterozygosity was 0.270. The average values of genetic distances and genetic similarity index between raspberry cultivars were 0.488 and 0.696, respectively. **Conclusions.** The studied RAPD markers can be useful not only for characterizing the genetic structure, distinguishing raspberry cultivars and selecting their most promising variants for crossing, but also for solving legal issues such as assessing violations of breeders' rights.

Keywords: *Rubus*; raspberry; RAPD-PCR markers; polymorphism; plant breeding.

Надійшла / Received 05.11.2024

Погоджено до друку / Accepted 26.11.2024

Урожайність зразків горошку посівного (ярого) (*Vicia sativa* L.) у сумісному агроценозі з гірчицею білою

С. Д. Орлов^{1*}, А. О. Гагін², С. В. Синьогуб²

¹Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН України, вул. Клінічна, 25, м. Київ, 03110, Україна, *e-mail: orlov.stanislaw48@gmail.com

²Білоцерківська дослідно-селекційна станція Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН, вул. Центральна, 1, с. Мала Вільшанка, Білоцерківський р-н, Київська обл., 09175, Україна

Мета. Виділити джерела горошку посівного (ярого), адаптованого до вирощування у змішаних посівах із гірчицею білою. **Методи.** Дослідження проводилися на Білоцерківській дослідно-селекційній станції. Попередником була кукурудза на зерно, після якої поле обробили дисковими боронами, а в листопаді провели зяблеву оранку. Під час сівби горошку посівного (ярого) сумісно з гірчицею білою використовували суміш схожих насінин у кількості 1,5 млн/га та 0,2 млн/га відповідно. Селекційні зразки горошку посівного (ярого) порівнювали з двома стандартами у чотириразовій повторності. Збирання суміші горошку посівного (ярого) і гірчиці проводили у фазі повної стиглості прямим комбайнуванням. Погодні умови років досліджень характеризувалися недостатньою кількістю опадів і підвищеною температурою повітря порівняно з багаторічним середнім показником, що негативно вплинуло на ріст і розвиток рослин на всіх фазах онтогенезу горошку посівного (ярого). Це знижувало його продуктивність, проте створювало сприятливі умови для оцінки селекційного матеріалу та добору. **Результати.** Встановлено, що селекційні номери горошку посівного (ярого), які демонструють високу врожайність у чистих посівах, при сумісному вирощуванні з гірчицею часто мають знижену продуктивність, особливо за несприятливих погодних умов протягом вегетаційного періоду. За показником урожайності горошку посівного (ярого) у суміші з гірчицею білою виділено селекційні зразки 728-19, 793-19, 797-19, урожайність яких становила 1,64; 1,52 та 1,18 т/га відповідно, що відповідає рівню середнього стандарту. Для характеристики зразків горошку посівного (ярого) у суміші з гірчицею білою за трирічними даними використано індекси реакції на умови вирощування: чим вищий індекс, тим більше умовні фактори впливають на продуктивність; нижчий індекс свідчить про меншу мінливість і кращу стабільність селекційного зразка. З'ясовано, що у деяких номерів урожайність значною мірою залежала від погодних умов років досліджень, а не від фонового вирощування. Це проявлялося у сортів БЦ 96, Ярослава та селекційних зразків 913-16, 747-17, у яких фенотипова мінливість продуктивності була викликана реакцією на погодні умови. Очевидно, в окремих випадках несприятливі умови року нівелювали вплив змішаних посівів, але деякі зразки горошку посівного (ярого) – 829-17, 715-18, 897-17 – виявилися більш стабільними як до умов вирощування в суміші, так і до погодних факторів. Ці селекційні зразки демонстрували вищу та стабільну продуктивність у сумісному вирощуванні з гірчицею білою порівняно з іншими. **Висновки.** Виділено джерела горошку посівного (ярого), адаптовані до вирощування у змішаних посівах із гірчицею білою. Загалом, дослідження сортовипробування та застосування запропонованого методу дало змогу виділити селекційні номери з високими та стабільними показниками конкурентної стійкості до гірничого фону. Цей селекційний матеріал, після подальшого вивчення в колекційному розсаднику, буде використаний для створення нових сортів вики ярої.

Ключові слова: фенотипова мінливість; урожайність; генотип; екологічна стабільність; сорт.

Вступ

Вирощування горошку посівного (ярого) на насіння потребує використання підтримувальної культури, тобто змішаних посівів, зокрема з гірчицею білою. Саме гірчиця найчастіше застосовується в насінництві та виробництві як підтримувальна культура для сланкого стебла горошку посівного (ярого). Фази дозрівання цих рослин збігаються, а після обмолоту вони легко розділяються на зерноочисних машинах. Згідно з багаторічними спостереженнями, за такого способу вирощування врожайність горошку посівного (ярого) у суміші знижується, особливо за несприятливих погодних умов, які останнім часом спостерігаються дедалі частіше.

Для підвищення адаптації селекційного матеріалу горошку посівного (ярого) проводиться виділення зразків в умовах змішаного вирощування з гірчицею.

Створення нового сорту – це добір генотипів і пошук екологічної ніші, у якій цей генотип забезпечить високу продуктивність та екологічну стабільність [1]. Виходячи з цього, є два способи подолання зниження врожайності, які необхідно поєднати у виробництві насіння горошку посівного (ярого) для досягнення максимально можливої продуктивності. Перший – удосконалення технології вирощування (пошук оптимальної екологічної ніші). Другий – підвищення адаптації створюваних сортів до умов змішаного вирощування шляхом використання селекційних методів, зокрема проведення оцінки та добору генотипів на фоні горошку посівного (ярого)-гірчичного агроценозу.

У наукових публікаціях увагу зосереджено на вивченні продуктивності горошку посівного (ярого) у горошко-вівсяних агроценозах [2–7] або реакції генотипів зразків горошку посівного (ярого) на абіотичні фактори зовнішнього середовища [8, 9]. Дослідження реакції генотипів селекційних зразків горошку посівного (ярого) на сумісні з гірчицею ценози не проводилися; натомість наявні лише роботи, присвячені вивченню деяких сортів у змішаних посівах для отримання врожаю насіння [10].

Мета досліджень – виділити джерела горошку посівного (ярого) адаптовані до вирощування у змішаних посівах із гірчицею білою, для залучення їх у селекційній роботі.

Матеріали та методика досліджень

Дослідження горошку посівного (ярого) проводили на етапі екологічного сортовипробування в полі першої наукової сівозміни відділку «Селекційний» Білоцерківської дослідно-селекційної станції за попередником ячмінь ярий протягом 2021–2023 років і тривають надалі.

Ґрунт дослідного поля характеризується чорноземом типовим, глибоким, малогумусним, крупнопилувато-середньосуглинковим, зі вмістом гумусу 3,85 %. Реакція ґрунтового розчину близька до нейтральної, вміст легкогідролізованого азоту – 120 мг/кг, рухомого фосфору (за Чириковим) – 194 мг/кг і рухомого калію – 104 мг/кг ґрунту.

Весняний обробіток ґрунту полягав у закритті вологи та передпосівній культивуванні. Для сівби горошку посівного (ярого) спільно з гірчицею білою використовували суміш схожих насінин у кількості 1,5 млн/га та 0,2 млн/га відповідно. Сорт гірчиці – ‘Кароліна’. Сівбу проводили селекційною сівалкою ССФК-7М із шириною міжрядь 15 см. Облікова площа ділянки – 5 м².

Щорічно досліджували селекційні зразки горошку посівного (ярого) порівняно з двома стандартами в чотириразовій повторності. Відбирали проби для визначення складу суміші горошку посівного (ярого) і гірчиці білої.

Збирання суміші проводили у фазі повної стиглості прямим комбайнуванням селекційним комбайном Samro-130.

Для статистичної обробки даних проведено дисперсійний аналіз та визначено співвідношення компонентів в отриманих зразках.

Зразки досліджували на етапі екологічного сортовипробування. Щороку випробовують 16 номерів, після чого визначають їхню продуктивність та інші господарсько-цінні ознаки. Частина зразків вибраковується або потрапляє до розсадника попереднього розмноження.

Лише деякі з них випробовуються протягом кількох років. У більшості випадків дослідження зразків у горошково-гірчичному ценозі триває один рік, а для деяких – два роки. За кормовою та насінневою продуктивністю окремі зразки можуть виявитися непродуктивними, тому їх зазвичай вибраковують. Однак деякі зразки, навіть ті, що вибраковуються за іншими ознаками, у ценозі з гірчицею ростуть і розвиваються інакше. Дослідження спрямовані на перевірку конкурентоспроможності щодо гірчиці, щоб не втратити цінний матеріал для подальшої селекційної роботи.

Зазвичай пластичність і стабільність ознак визначають за регресією та середньоквадратичним відхиленням відповідно. Однак для цього необхідно досліджувати зразки горошку посівного (ярого) у суміші з гірчицею протягом багатьох років.

Показники кращих зразків мають лише дворічні дані, отримані в різні роки, що унеможливає їхнє порівняння за регресією та середньоквадратичним відхиленням. У статистиці є лише один можливий спосіб порівняти їх між собою – метод індексів. Саме індекси дають змогу порівняти дві сукупності показників, елементи яких різняться в просторі й часі та не можуть бути безпосередньо порівняні.

Для порівняння врожайності горошку посівного (ярого) в різні роки за різних сумішей отримані показники було переведено в індекси відносно середніх даних дослідів. Це дало змогу представити врожайність у відносних показниках для взаємного порівняння та визначити вплив умов вирощування на продуктивність.

Отримані індекси урожайності порівнювали між собою для визначення індексу реакції на умови вирощування горошку посівного (ярого). Фактично визначено, як змінювалася реакція генотипу, прирівняна до середнього показника по досліді (сортівипробуванню), на умови вирощування у два різні роки та за двох різних умов. У даному випадку, чим вищий індекс, тим більше впливали умови на продуктивність, а нижчий індекс свідчить про меншу мінливість і кращу стабільність селекційного зразка за досліджуваною ознакою.

Погодні умови років досліджень були несприятливими для росту рослин горошку посівного (ярого), але слугували добрим фоном для оцінки селекційного матеріалу та добору.

У 2021 та 2023 роках початок вегетаційного періоду був сприятливим для отримання дружних сходів горошку посівного (ярого) завдяки значним запасам вологи в ґрунті. Проте, починаючи з фази кушіння і до повної стиглості, спостерігалися несприятливі погодні умови: недостатня кількість опадів і висока температура повітря. Це негативно вплинуло на ріст і розвиток горошку посівного (ярого) на всіх етапах онтогенезу, що знизило продуктивність.

У 2022 році погодні умови були подібними у другій половині вегетації, але на початку вегетаційного періоду випало лише 23,9 мм опадів (на 56,5 % менше за середній багаторічний рівень), що відразу після сходів сповільнило ріст і розвиток рослин.

Результати досліджень

Дослідженнями з'ясовано, що селекційні номери горошку посівного (ярого), які мають високу урожайність у чистому посіві, при сумісному вирощуванні з гірчицею часто демонструють нижчу урожайність, особливо за несприятливих погодних умов, що склалися впродовж вегетаційних періодів.

На етапах масового добору гібридів горошку посівного (ярого) проведено дослідження з посилення тиску добору на ранніх етапах селекційного процесу при сумісному вирощуванні з вівсом і білонасінним сортом горошку посівного (ярого) [14, 15]. Деякі з цих гібридів горошку посівного (ярого) були виділені як нові селекційні номери, які у 2021–2023 рр. досягли етапу випробувань в агроценозі з гірчицею.

У 2021 році середня урожайність суміші горошку посівного (ярого) і гірчиці у сортівипробуванні становила 2,59 т/га, проте абіотичні умови негативно позначилися на співвідношенні компонентів суміші. У більшості зразків переважали рослини гірчиці, за винятком селекційних номерів 859-18, 782-17 (понад 58 %) (табл. 1).

Урожайність селекційних номерів у сортовипробуванні суміші горошку посівного (ярого) із гірчицею білою, 2021 р.

Селекційний номер	Походження, сорт	Урожайність				Співвідношення, %	
		вико-гірчиця		в. т.ч. вики		вика	гірчиця
		т/га	% до St	т/га	% до St		
859-18	Добір із гібридної популяції	2,88	119	1,67	183	58,0	42,0
782-17	787-04 / Вінницька 48	2,74	113	1,64	180	60,0	40,0
748-16	Веснянка / 880-09	3,25	134	1,46	160	44,9	55,1
893-17	Веснянка / 880-09	2,76	114	1,34	147	48,6	51,4
715-18	Ізида / Орловська 84	2,51	105	1,24	136	48,7	51,3
829-17	Добір із гібридної популяції	3,15	130	1,23	135	39,1	60,9
St	Ярослава	2,70	111	1,23	135	45,6	54,4
897-17	Ярослава / К-33111	2,71	112	1,19	130	43,9	56,1
922-18	787-04 / Ліла	2,55	105	1,18	129	46,2	53,8
747-17	Озіряна / Подільська 18	2,61	107	1,18	129	45,1	54,9
824-18	Добір із гібридної популяції	2,40	99	1,09	120	45,6	54,4
908-18	Ярослава / К-36148	2,44	100	0,97	106	39,7	60,3
727-18	Добір із гібридної популяції	2,23	92	0,96	105	43,1	56,9
St	Середній стандарт	2,43	100	0,91	100	37,5	62,5
913-16	Добір із гібридної популяції	2,49	102	0,89	98	35,9	64,1
746-17	Озіряна / Подільська 18	2,71	112	0,89	97	32,7	67,3
839-18	Добір із гібридної популяції	2,12	87	0,85	93	40,0	60,0
857-18	Добір із гібридної популяції	2,21	91	0,81	88	36,5	63,5
St	Білоцерківська 96	2,17	89	0,59	65	27,4	72,6
	Середнє	2,59	107	1,13	124	43,4	56,6
	НІР _{0,05}	0,24	–	0,10	–	–	–

У сортовипробуванні середня урожайність горошку посівного (ярого) у суміші була 1,13 т/га. Із залученням методу природного добору виділено селекційні номери 859-18, 829-17 та штучного добору – 782-17, 748-16, 893-17, 715-18 з високою урожайністю горошку посівного (ярого) у суміші з гірчицею, які перевищили стандартні сорти Ярослава та Білоцерківська 96.

Селекційні зразки 859-18, 782-17 з високою продуктивністю [в яких переважав горошок посівний (ярий) у суміші з гірчицею], використані у колекційному розсаднику, як джерела цієї ознаки для подальшого залучення їх до гібридизації.

У сортовипробуванні 2022 року середня урожайність горошку посівного (ярого) у суміші з гірчицею була 1,90 т/га і нижчою порівняно з попереднім роком, але насіння горошку посівного (ярого) в суміші становило від 54,2 до 76,3 % (табл. 2).

За результатами дослідження виділено селекційні зразки 893-17, 719-19, 710-19, 728-19, 798-19, 829-17 горошку посівного (ярого), які переважали стандартні сорти за показниками урожайності від 2,45 до 2,08 т/га горошку посівного (ярого) у суміші з гірчицею. Селекційні зразки горошку посівного (ярого) 829-17 та 893-17 відібрані як джерела, що адаптивні до вирощування у змішаних посівах за несприятливих погодних умов і повторно підтвердили високі показники урожайності насіння.

Урожайність селекційних номерів у сортовипробуванні суміші горошку посівного (ярого) із гірчицею білою, 2022 р.

Селекційний номер	Походження, сорт	Урожайність				Співвідношення, %	
		вико-гірчиця		в. т.ч. вики		вика	гірчиця
		т/га	% до St	т/га	% до St		
893-17	Веснянка / 880-09	2,45	155	1,66	173	67,9	32,1
719-19	782-04 / 738-07	2,08	132	1,59	165	76,3	23,7
710-19	Добір із гібридної популяції	2,08	132	1,53	159	73,4	26,6
728-19	738-07 / 855-05	2,17	137	1,48	154	68,2	31,8
793-19	890-11 / Ярослава	1,98	126	1,47	153	74,2	25,8
829-17	Добір із гібридної популяції	2,39	151	1,46	152	61,1	38,9
797-19	Акварель / 738-07	1,88	119	1,35	140	71,5	28,5
715-18	Ізида / Орловська 84	2,06	130	1,35	140	65,5	34,5
879-19	Веснянка / Novi Beograd	2,06	130	1,33	138	64,5	35,5
897-17	Ярослава / К-33111	2,01	127	1,30	136	64,6	35,4
886-19	Добір із гібридної популяції	1,95	123	1,27	132	64,9	35,1
913-16	Добір із гібридної популяції	1,74	110	1,25	130	71,8	28,2
875-19	БЦ 96 / К-33113	1,55	98	1,10	114	70,9	29,1
747-17	Озіряна / Подільська 18	1,80	114	1,08	112	59,6	40,4
St	Ярослава	1,98	125	1,07	111	54,2	45,8
746-19	Орловська 84 / 855-05	1,50	95	0,98	102	65,5	34,5
St	Середній стандарт	1,58	100	0,96	100	60,8	39,2
803-19	Епіка / Гібридна 97	1,40	88	0,87	91	62,3	37,7
St	Білоцерківська 96	1,19	75	0,84	88	70,6	29,4
	Середнє	1,90	120	1,28	133	67,1	32,9
	HP _{0,05}	0,16	–	0,11	–	–	–

У сортовипробуванні 2023 року урожайність горошку посівного (ярого) в суміші з гірчицею була від 2,08 до 1,17 т/га, але більше переважав компонент горошку посівного (ярого). Очевидно умови року для гірчиці білої були більш несприятливими ніж для горошку посівного (ярого). У зразків, що досліджували у сортовипробуванні, горошок посівний (ярий) в суміші становив 55,8–83,7 %, але перевершити сорт-стандарт Білоцерківська 96 (82,0 %) вдалося селекційному зразку 702-20, що проходив випробування за співвідношенням компонентів горошку посівного (ярого) у суміші з гірчицею (табл. 3).

За показником урожайності горошку посівного (ярого) у суміші з гірчицею виділилися селекційні зразки 728-19, 793-19, 797-19, урожайність яких була на рівні середнього стандарту (в межах похибки) і становила відповідно 1,64; 1,52 та 1,18 т/га. Високі показники урожайності отримано у селекційних зразків 922-20, 929-20, 702-20, 720-20, 893-17. Вони вивчалися вперше й мали дещо нижчі за середній стандарт показники урожайності (1,54 т/га), проте були до нього наближені.

Урожайність селекційних номерів у сортовипробуванні суміші горошку посівного (ярого) із гірчицею білою, 2023 р.

Селекційний номер	Походження, сорт	Урожайність				Співвідношення, %	
		вико-гірчиця		в. т.ч. вики		вика	гірчиця
		т/га	% до St	т/га	% до St		
St	Білоцерківська 96	2,08	102	1,70	111	82,0	18,0
728-19	738-07 / 855-05	2,17	107	1,64	106	75,4	24,6
St	Середній стандарт	2,03	100	1,54	100	75,9	24,1
793-19	890-11 / Ярослава	2,07	102	1,52	99	73,3	26,7
922-20	Озіряна / Гібридна 13	1,93	95	1,49	96	77,0	23,0
929-20	Добір із гібридної популяції	1,95	96	1,47	95	75,5	24,5
702-20	738-07 / Веснянка	1,74	86	1,45	94	83,7	16,3
720-20	БЦ 96 / Веснянка	1,92	95	1,45	94	75,4	24,6
897-17	Ярослава / К-33111	1,96	96	1,42	92	72,7	27,3
St	Ярослава	1,98	98	1,38	89	69,5	30,5
900-20	890-11 / Ярослава	1,74	86	1,31	85	75,4	24,6
893-17	Веснянка / 880-09	1,75	86	1,31	85	74,6	25,4
719-19	782-04 / 738-07	1,93	95	1,21	79	62,9	37,1
797-19	Акварель / 738-07	2,11	104	1,18	77	56,0	44,0
784-19	890-11 / Ярослава	1,61	79	1,15	75	71,3	28,7
717-20	Ярослава / Гібридна 85	1,60	79	0,99	64	61,9	38,1
926-20	Веснянка / Novi Beograd	1,49	74	0,86	56	57,4	42,6
742-20	Ярослава / БЦ 5-09	1,61	79	0,73	48	45,7	54,3
744-20	БЦ 70 / Акварель	1,17	58	0,65	42	55,8	44,2
	Середнє	1,82	90	1,27	83	69,2	30,8
	HP _{0,05}	0,19		0,08			

Чим вищий індекс, тим більший вплив умов на продуктивність, тоді як нижчий індекс свідчить про меншу мінливість і кращу стабільність селекційного зразка (рисунок).

За результатами аналізу з'ясовано, що у деяких селекційних зразків і сортів горошку посівного (ярого) урожайність насіння значною мірою залежала від погодних умов років досліджень, а не від вико-гірчичного фону. Це особливо помітно у сортів БЦ 96, Ярослава, а також зразків 913-16 та 747-17, фенотипова мінливість продуктивності яких була зумовлена передусім реакцією на погодні умови. Очевидно, в окремих випадках несприятливі погодні фактори нівелювали вплив суміші рослин.

Водночас деякі зразки горошку посівного (ярого) – 829-17, 715-18, 897-17 – виявилися більш стабільними як до умов вирощування в суміші, так і до погодних змін. Завдяки цьому вони мають вищу та стабільнішу продуктивність у суміші з гірчицею білою порівняно з іншими зразками.

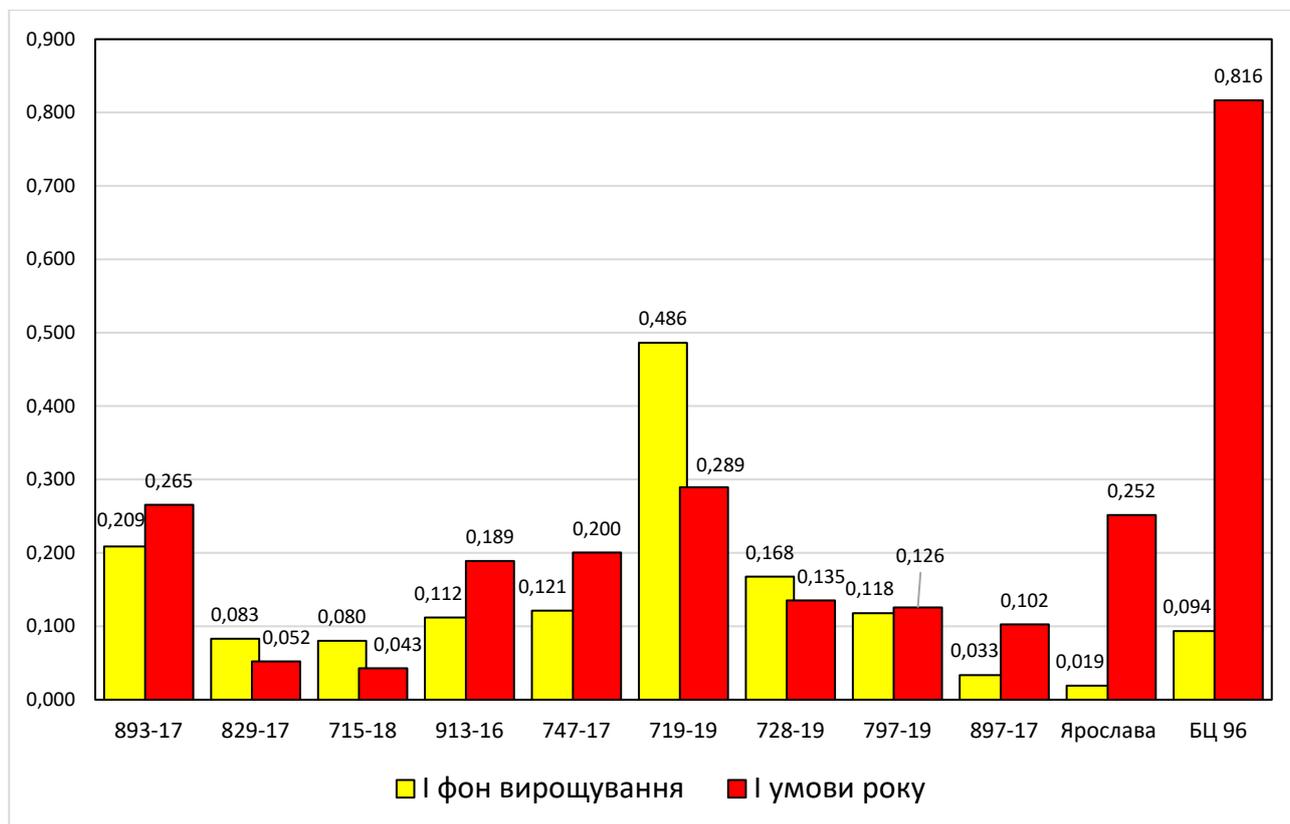


Рис. Індекс реакції селекційних зразків, сортів за умов вирощування горошку посівного (ярого) у сортовипробуванні, 2021–2022, 2022–2023 рр.

Висновки

За результатами дослідження селекційних зразків визначено джерела горошку посівного (ярого), адаптовані до вирощування у змішаних посівах із гірчицею білою. Аналіз сортовипробування та застосування запропонованого методу дозволили виділити селекційні номери 829-17, 715-18, 897-17, які характеризуються високою та стабільною конкурентною стійкістю до гірчичного фону. Ці зразки, після подальшого вивчення у колекційному розсаднику, буде використано як вихідний матеріал для створення нових сортів горошку посівного (ярого).

Використана література

1. Аралов В. І., Аралов О. В., Аралова Т. С., Гуменна Н. І. Методи і результати селекції горошку (вики ярої). *Корми і кормовиробництво*. 2012. № 73. С. 93–96.
2. Wang B., Deng J., Wang T., Ni W., Feng Q., Lan J. Effect of Seeding Options on Interspecific Competition in Oat (*Avena sativa* L.) – Common Vetch (*Vicia sativa* L.). *Forage Crops – Agronomy*. 2022. Vol. 12. P. 3119.
3. Cakmakci S., Acikgoz E. Components of Seed and Straw Yield in Common Vetch (*Vicia sativa* L.). *Plant Breeding*. 2010. No. 113. P. 71–74.
4. Erol A., Kaplan M., Kizilmsek M. Oats (*Avena sativa*) – Common Vetch (*Vicia sativa*) Mixtures Grown on a Low-Input Basis for a Sustainable Agriculture. *Tropical Grasslands*. 2009. Vol. 43. P. 191–196.
5. Lithourgidis A. S., Vasilakoglou I. B., Dhima K. V., Dordas C. A., Yiakoulaki M. D. Forage Yield and Quality of Common Vetch Mixtures with Oat and Triticale in Two Seeding Ratios. *Field Crops Research*. 2006. Vol. 99. P. 106–113.
6. Tuna C., Orak A. Yield and Yield Components of Some Important Common Vetch (*Vicia sativa* L.) Genotypes. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*. 2002. P. 215–218.

7. Tuna C., Orak A. The Role of Intercropping on Yield Potential of Common Vetch (*Vicia sativa* L.) / Oat (*Avena sativa* L.) Cultivated in Pure Stand and Mixtures. *Journal of Agricultural and Biological Science*. 2007. Vol. 2, No. 2. P. 14–19.
8. Abbasi A. R., Sarvestani R., Mohammadi B., Bagheri A. Drought Stress-Induced Changes at Physiological and Biochemical Levels in Some Common Vetch (*Vicia sativa* L.) Genotypes. *Journal of Agricultural Science and Technology*. 2014. Vol. 16. P. 505–516.
9. Berger J. D., Robertson L. D., Cocks P. S. Genotype–Environment Interaction for Yield and Other Plant Attributes among Undomesticated Mediterranean *Vicia* Species. *Euphytica*. 2002. Vol. 126. P. 421–435.
10. Kozak M. Cultivation Value and Use of Common Vetch (*Vicia sativa* L.) Grown for Seeds in a Mixed and Pure Stand. *Zeszyty Naukowe Akademii Rolniczej we Wroclawiu. Rozprawy (Poland)*. 2004. P. 122–135.
11. Ермантраут Е. П., Бобро М. А., Гопцій Т. І. Методика наукових досліджень в агрономії. Харків, 2008. 64 с.
12. Eberhart S. A., Russell W. A. Stability Parameters for Comparing Varieties. *Crop Science*. 1966. Vol. 6, No. 1. P. 36–40.
13. Тарасова В. В. Екологічна статистика. Київ : Центр учбової літератури 2008. 392 с.
14. Гагін А. О. Мінливість та успадкування ознак в популяціях F₃ вики ярої, вирощених в агроценозі з підтримуючими культурами. *Вісник Уманського національного університету*. 2015. № 1. С. 55–57.
15. Гагін А. О., Синьогуб С. В., Орлов С. Д. Селекція вики ярої для багатоконпонентних посівів. *Корми і кормовиробництво*. 2013. № 74. С. 37–40.

References

1. Aralov, V. I., Aralov, O. V., Aralova, T. S., & Humenna, N. I. (2012). Methods and results of pea (spring vetch) breeding. *Forage and Feed Production*, 73, 93–96. [In Ukrainian]
2. Wang, B., Deng, J., Wang, T., Ni, W., Feng, Q., & Lan, J. (2022). Effect of seeding options on interspecific competition in oat (*Avena sativa* L.) – Common vetch (*Vicia sativa* L.). *Forage Crops – Agronomy*, 12, 3119.
3. Cakmakci, S., & Acikgoz, E. (2010). Components of seed and straw yield in common vetch (*Vicia sativa* L.). *Plant Breeding*, 113, 71–74.
4. Erol, A., Kaplan, M., & Kizilmsek, M. (2009). Oats (*Avena sativa*) – Common vetch (*Vicia sativa*) mixtures grown on a low-input basis for sustainable agriculture. *Tropical Grasslands*, 43, 191–196.
5. Lithourgidis, A. S., Vasilakoglou, I. B., Dhima, K. V., Dordas, C. A., & Yiakoulaki, M. D. (2006). Forage yield and quality of common vetch mixtures with oat and triticale in two seeding ratios. *Field Crops Research*, 99, 106–113.
6. Tuna, C., & Orak, A. (2002). Yield and yield components of some important common vetch (*Vicia sativa* L.) genotypes. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 8, 215–218.
7. Tuna, C., & Orak, A. (2007). The role of intercropping on yield potential of common vetch (*Vicia sativa* L.) / oat (*Avena sativa* L.) cultivated in pure stand and mixtures. *Journal of Agricultural and Biological Science*, 2(2), 14–19.
8. Abbasi, A. R., Sarvestani, R., Mohammadi, B., & Bagheri, A. (2014). Drought stress-induced changes at physiological and biochemical levels in some common vetch (*Vicia sativa* L.) genotypes. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 16, 505–516.
9. Berger, J. D., Robertson, L. D., & Cocks, P. S. (2002). Genotype–environment interaction for yield and other plant attributes among undomesticated Mediterranean *Vicia* species. *Euphytica*, 126, 421–435.
10. Kozak, M. (2004). Cultivation value and use of common vetch (*Vicia sativa* L.) grown for seeds in a mixed and pure stand. *Scientific Papers of the Wroclaw University of Agriculture, Dissertations*, 122–135. [In Ukrainian]
11. Ermantrout, E. P., Bobro, M. A., & Hoptsi, T. I. (2008). *Methodology of scientific research in agronomy*. Kharkiv. [In Ukrainian]

12. Eberhart, S. A., & Russell, W. A. (1966). Stability parameters for comparing varieties. *Crop Science*, 6(1), 36–40.
13. Tarasova, V. V. (2008). *Ecological statistics*. Kyiv: Center for Educational Literature. [In Ukrainian]
14. Hahin, A. O. (2015). Variability and inheritance of traits in F₃ populations of spring vetch grown in agrocenoses with supporting crops. *Bulletin of Uman National University*, 1, 55–57. [In Ukrainian]
15. Hahin, A. O., Syniogub, S. V., & Orlov, S. D. (2013). Breeding of spring vetch for multi-component crops. *Forage and Feed Production*, 74, 37–40. [In Ukrainian]

UDC 633.352:631.52

Orlov, S. D.^{1*}, Hahin, A. O.², & Syniohub, S. V.² (2024). Yield of spring vetch (*Vicia sativa* L.) cultivars in mixed crops with white mustard. *Scientific Papers of the Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet*, 32, 84–92. <https://doi.org/10.47414/np.32.2024.325647> [In Ukrainian]

¹*Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet, NAAS of Ukraine, 25 Klinichna St., Kyiv, 03141, Ukraine, *e-mail: orlov.stanislav48@gmail.com*

²*Bila Tserkva Research and Breeding Station of the Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet of the NAAS of Ukraine, 1 Centralna St., Mala Vilshanka, Bila Tserkva district, Kyiv region, 09175, Ukraine*

Purpose. To identify the cultivars of spring vetch adapted for mixed cropping with white mustard. **Methods.** The research was conducted at the Bila Tserkva Experimental and Breeding Station. The preceding crop was grain corn. Soil tillage – disk harrowing of the field was carried out in summer and in November, the field was ploughed. A seed mixture of spring vetch and white mustard was sown at the seeding rates of 1.5 million/ha and 0.2 million/ha, respectively. Breeding cultivars of spring vetch were compared with two standard vetch cultivars in four replications. Harvesting of the mixed crops was performed at the full maturity stage by direct combine harvesting. Weather conditions in the years of the study were characterised by insufficient precipitation and higher air temperatures compared to the long-term averages, which negatively affected vetch growth at all stages of development. As the result, the productivity was reduced. At the same time, there were favourable conditions for evaluating and selecting breeding cultivars. **Results.** The research revealed that breeding cultivars of spring vetch with high yields as monocrop often had lower yields in mixed cropping with mustard, especially under unfavourable weather conditions. Breeding cultivars 728-19, 793-19, and 797-19 showed high yields in the mixed cropping with white mustard, showing results comparable to the average standard and yields of 1.64, 1.52, and 1.18 t/ha, respectively, which is comparable with standard varieties. Indices based on three-year data were used to characterise spring vetch in mixed crops with white mustard. Higher indices indicated a greater influence of conditions on productivity, while lower indices indicated better stability. It was found that weather conditions had a greater impact on seed yield than the mixed cropping, especially in varieties ‘BTs 96’, ‘Yaroslava’, and breeding cultivars 913-16, 747-17, in which phenotypic variability was caused by reactions to weather conditions. In some cases, adverse annual conditions diminished the effect of the mixed crops, but certain vetch cultivars (829-17, 715-18, 897-17) showed greater stability. These cultivars demonstrated higher and more stable productivity in mixed crops with mustard compared to others. **Conclusions.** Cultivars of spring vetch adapted for mixed cropping with white mustard have been identified. In general, variety testing and application of the proposed method allowed to select breeding genotypes with high and stable parameters of competitive stability in mixed sowings with mustard. These breeding genotypes will be further used to develop new varieties of spring vetch.

Keywords: phenotypic variability; yield; genotype; ecological stability; variety.

Надійшла / Received 15.10.2024

Погоджено до друку / Accepted 27.11.2024

Формування насіннєвої продуктивності сої залежно від біометричних показників рослин та умов року вирощування

 А. О. Діянова,  М. І. Кулик*

Полтавський державний аграрний університет, вул. Г. Сковороди, 1/3, м. Полтава, 36003, Україна, *e-mail: kulykmaxym@ukr.net

Мета. Установити цінність господарських ознак та кореляційні зв'язки між ними у сортів сої полтавської селекції. **Методи.** Польові дослідження проводили впродовж 2022–2024 рр. у селекційній сівоzmіні (ФГ «Грига», Полтавська обл.). Об'єктом досліджень були п'ять українських скоростиглих сортів сої: 'Антрацит', 'Адамос', 'Александрит', 'Авантюрин' та 'Аквамарин'. **Результати.** У сприятливих умовах 2022 року максимальні кількісні показники спостерігалися в сортів 'Адамос' та 'Аквамарин'. Високу масу 1000 насінин (185,45–168,1 г) відзначено в сортів 'Антрацит' та 'Александрит'. В оптимальних умовах 2023 року найбільшу кількість насінин формували сорти 'Адамос' (138 шт.) та 'Антрацит' (93 шт.). Крім того, ці сорти характеризуються високою масою 1000 насінин (179 та 183 г відповідно). У спекотних умовах 2024 року максимальна кількість насінин з рослини зафіксована в сортів 'Адамос' (139,9 шт.) та 'Аквамарин' (140,3 шт.). Ці ж сорти мали й найбільшу середню масу 1000 насінин – 166,0 г. У середньому за три роки найбільшу насіннєву продуктивність забезпечували сорти 'Адамос' (32,7 г/рослину) та 'Антрацит' (20,3 г/рослину), тоді як інші сорти – менше 20,0 г/рослину. Продуктивність насіння сортів сої формується за рахунок біометричних показників рослин, як-от кількість бобів на рослину, кількість насіння з рослини, Індекс 2 (відношення висоти рослин до висоти прикріплення нижнього бобу) за коефіцієнтів кореляції $r > 0,71$. **Висновки.** За різних погодних умов, продуктивність насіння у полтавських сортів сої залежить від формування біометричних показників рослин. Упродовж років досліджень найвищі показники насіннєвої продуктивності формували сорти 'Адамос' та 'Антрацит'.

Ключові слова: соя; сорти; мінливість; коефіцієнт кореляції; генотип; добір; елементи структури; продуктивність.

Вступ

Серед зернобобових культур соя культурна [*Glycine max* (L.) Merrill.] вирізняється не лише високим потенціалом зернової продуктивності, а й найвищим загальним показником вмісту білка та олії, що може досягати 70 % [1, 2]. Це зумовлює значний попит на цю культуру як в Україні та Європі, так і у світі загалом. Лідерами з виробництва сої є США, Бразилія, Аргентина, які стабільно забезпечують стабільні врожаї цієї культури [3].

На сьогодні, з урахуванням передових технології та сортименту, світове виробництво сої становить майже 352 млн тонн. Для підтримання високого рівня виробництва сої в Україні необхідно використовувати генотипи, які поєднують високу врожайність, комплекс цінних господарських ознак, ефективне засвоєння поживних речовин, а також підвищений вміст олії та білка в насінні. Важливим аспектом є оцінювання генотипів сої за агроморфологічними та господарськими ознаками із застосуванням сучасних методів селекційного добору [4], ідентифікування їх за кількісними ознаками та селекційними індексами [5]. У процесі добору продуктивних генотипів необхідно враховувати фенотипову мінливість і варіюванням умов вирощування, що впливає на точність ідентифікування генотипів за фенотипом. Кожному сорту властива певна структура насіннєвої продуктивності, ступінь мінливості її елементів та наявність найцінніших ознак, які

характеризуються стабільністю. Продуктивність сорту значною мірою залежить від кількісного (комплексного) прояву всіх структурних елементів. Кореляційні зв'язки між ознаками та стабільність їхнього прояву суттєво впливають на рівень варіювання показників. У селекції сої набуває актуальності створення сортів адаптивного типу з високою врожайністю насіння [6, 7].

Особливістю цього напрямку є оцінювання селекційної цінності за макроознаками, які мають кореляційний зв'язок з урожайністю та визначають комерційну цінність сорту [8]. Ці взаємозв'язки широко використовують у процесі розроблення вдосконалених моделей сортів, адаптованих до конкретних регіональних умов вирощування [9, 10].

Комплекс основних морфологічних і господарських ознак визначає продуктивність будь-якого сорту сої [11–17]. Важливим також є вивчення реакції сортів на агроекологічні умови вирощування [18]. Крім того, оцінювання сортів сої на основі кореляційних зв'язків та індексів [19–21] є важливим інструментом впливу господарських ознак на продуктивність сортів [22–23].

Мета досліджень – установити цінність господарських ознак та кореляційні зв'язки між ними у сортів сої полтавської селекції.

Матеріали та методика досліджень

Польові дослідження проводили впродовж 2022–2024 рр. у селекційній сівозміні (ФГ «Грига», с. Василівка, Полтавський р-н, Полтавська обл.). Ґрунт дослідних ділянок – чорнозем опідзолений. Попередник – пшениця озима.

Об'єктом досліджень були сорти сої полтавської селекції, що належать до групи скоростиглих і є найбільш пристосованими до умов Полтавщини. Створені вони в різних ґрунтово-кліматичних умовах (на межі Степу та Лісостепу, різних типах ґрунтів з показниками рН від 5,2 до 6,5 і недостатньою кількістю опадів).

Досліджували п'ять сортів сої з високим рівнем урожайності. Вони визначені як носії важливих складових елементів продуктивності (кількісних показників). Це українські сорти: 'Антрацит', 'Адамос', 'Александрит', 'Авантюрин' та 'Аквамарин'.

Досліди щорічно закладали вручну в першій декаді травня. Ширина міжрядь становила 45 см, відстань між рослинами в рядку – 10 см. Площа ділянки – 2,25 м².

Протягом вегетаційного періоду здійснювали фенологічні спостереження та аналізували елементи структури врожаю за Широким уніфікованим класифікатором роду *Glycine max* (L.) Merr [24] і Методикою проведення експертизи та державного випробування сортів рослин зернових, круп'яних та зернобобових культур [25, 26].

Математичну обробку експериментальних даних проводили на основі дисперсійного та кореляційно-регресійного аналізів за кількісними показниками (висота рослин, висота прикріплення нижнього бобу, кількість на рослині гілок, кількість вузлів на головному стеблі, кількість вузлів на гілках, кількість бобів на рослині, кількість насінин з рослини, маса насінин з рослини, маса 1000 насінин) та насінневою продуктивністю сортів сої [27].

Визначення прояву та мінливості біометричних показників сої, особливо в умовах зміни клімату, є основою теоретичного добору з урахуванням агроекологічних умов регіону. Останніми роками в Полтавській області впродовж вегетаційного періоду часто трапляються посухи (рис. 1).

Зокрема, у 2020 р. зафіксовано мінімальну кількість опадів протягом вегетаційного періоду (квітень – серпень) за весь час досліджень (121,1 мм за середньобогаторічної норми 268 мм). У 2024 р. спостерігалася сильна посуха, при цьому за вегетацію сої випало лише 102 мм опадів.

За середнього багаторічного значення гідротермічного коефіцієнта (ГТК) 1,1, у відносно оптимальному 2022 р. він був на рівні 1,0, у сприятливому 2023-му – 1,2; у посушливому 2024 р. – лише 0,8.

РОСЛИННИЦТВО

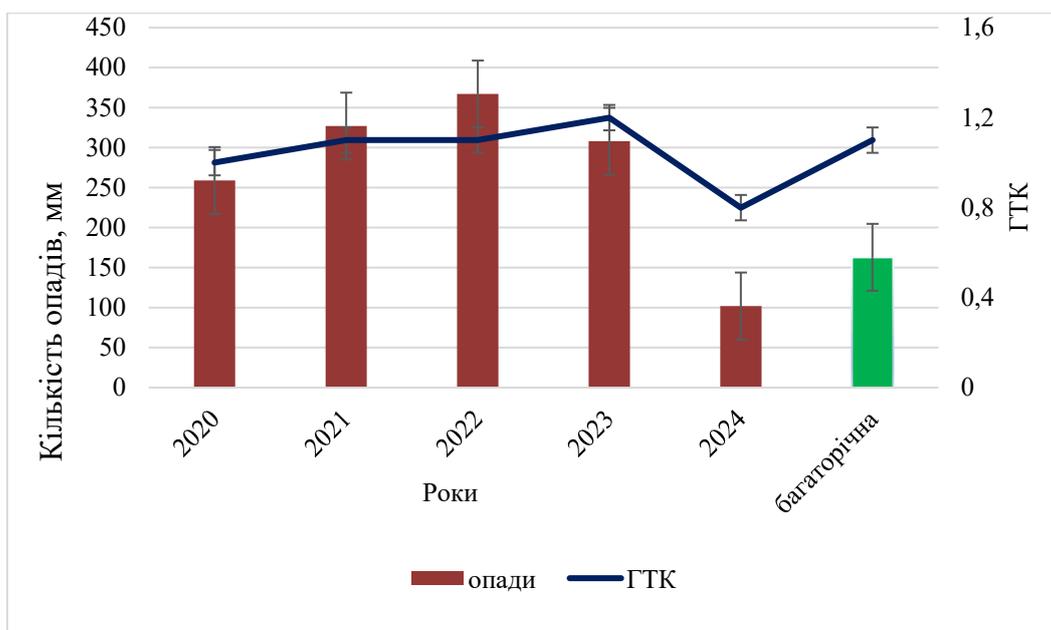


Рис. 1. Динаміка кількості опадів за вегетаційний період сої (квітень – серпень) на фоні середньобагаторічних та ГТК в Полтавській області (2022–2024 рр., за даними Полтавського ГМЦ)

Результати досліджень

Полтавські сорти сої характеризуються високою посухостійкістю, стійкістю до коливань температури протягом доби та фотоперіодичною нейтральністю. Вони формують стабільно високу врожайність насіння високої якості, а також відзначаються високою стійкістю до розтріскування бобів та вилягання рослин.

За результатами трирічних досліджень встановлено мінливість біометричних показників рослин сої в розрізі сортів, узятих на вивчення (табл. 1–3).

Таблиця 1

Кількісні показники рослин сортів сої (2022 р.)

Сорт	Показники							
	ВР	ВПнб	КВст	КБр	КНр	МТН	Інд1	Інд2
‘Антрацит’	77,75	8,65	14,85	47,40	83,55	185,45	0,11	0,46
‘Аквамарин’	74,2	10,1	13,8	67,7	110,8	153,0	0,1	0,7
‘Адамос’	79,8	10,4	13,1	92,6	161,5	175,0	0,1	1,0
‘Александрит’	79,7	16,5	11,9	42,4	86,8	168,1	0,2	0,5
‘Авантюрин’	72,0	13,0	13,0	56,0	108,0	148,0	0,1	1,0
Середнє	76,7	11,7	13,3	61,2	110,1	165,9	0,1	0,7

Примітка. ВР – висота рослини, см; ВПнб – висота прикріплення нижнього бобу, см; КВст – кількість вузлів на стебло, шт.; КБр – кількість бобів на рослину, шт.; КНр – кількість насіння з рослини, шт.; МТН – маса 1000 насінин, г; Інд1 – індекс відношення ВР до ВПнб, Інд2 – індекс відношення КНр до МТН.

У 2022 р. травень, червень та липень були значно прохолоднішими за середні багаторічні показники. Це ускладнило умови проростання насіння та початкового розвитку рослин. Завдяки наявності опадів висота рослин варіювала в межах 72,0–79,8 см. Середня висота кріплення нижнього бобу була значною – 11,7 см. Кількість вузлів на стеблі змінювався в діапазоні 11,9–14,8 шт. Середня кількість бобів на рослину становила 61,2 шт., із максимальними значеннями в сортів ‘Адамос’ (92,6 шт.) та ‘Аквамарин’ (67,7 шт.). Сорти ‘Антрацит’ та ‘Александрит’ відзначалися відносно малою кількістю насінин (відповідно 83,55 і 86,8 шт.), проте мали високу масу 1000 насінин (відповідно 185,45 та 168,1 г). У сорту ‘Адамос’ цей показник був на рівні 175,0 г.

Таблиця 2

Кількісні показники рослин сортів сої (2023 р.)

Сорт	Показники							
	ВР	ВПнб	КВст	КБр	КНр	МТН	Інд1	Інд2
‘Антрацит’	76,7	8,7	13,9	93,5	179,1	183,5	0,1	1,0
‘Аквамарин’	75,3	12,3	12,3	41,5	91,6	160,7	0,2	0,7
‘Адамос’	71,0	9,0	12,0	138,0	266,0	179,0	0,1	1,0
‘Александрит’	78,2	11,2	11,9	80,3	158,6	174,7	0,1	0,9
‘Авантюрин’	72,0	9,0	15,0	50,0	104,0	167,0	0,1	0,6
Середнє	74,6	10,0	13,0	80,7	159,9	173,0	0,1	0,8

Примітка. ВР – висота рослини, см; ВПнб – висота прикріплення нижнього бобу, см; КВст – кількість вузлів на стебло, шт.; КБр – кількість бобів на рослину, шт.; КНр – кількість насіння з рослини, шт.; МТН – маса 1000 насінин, г; Інд1 – індекс відношення ВР до ВПнб, Інд2 – індекс відношення КНр до МТН.

У 2023 р. погодні умови були дуже сприятливими для вегетації сої. Середньомісячна температура повітря в травні становила 15,4 °С. З червня до серпня спостерігалася висока середньомісячна температура повітря, тоді як вересень був прохолодним. Розподіл опадів також був оптимально сприятливим: у травні випало 54,7 мм, у червні та липні – відповідно 35,5 й 54,9 мм. У серпні випало 69,9 мм опадів, що на 20,0 мм більше за середньобогаторічний показник. Найбільша кількість опадів випала у вересні – 96,6 мм (у 2022 р. – 101,3 мм), що вдвічі перевищувало норму.

У 2023 р. (табл. 2) середня висота прикріплення нижнього бобу становила 10,0 см. Відмічено стабільний прояв сортових ознак. Кількість вузлів на стеблі варіювала в межах 11,9–15,0 шт. Середня кількість бобів на рослину становила 80,7 шт., що майже на 20,0 шт. більше, ніж у 2022 р. Максимальні показники сформували сорти ‘Адамос’ та ‘Антрацит’. Найбільша кількість насінин на рослині також відзначена в сортів ‘Адамос’ та ‘Антрацит’ (138,0 та 93,0 шт. відповідно). Ці сорти демонстрували високу масу 1000 шт. – 179,0 та 183,5 г відповідно.

Таблиця 3

Кількісні показники рослин сортів сої (2024 р.)

Сорт	Показники							
	ВР	ВПнб	КВст	КБр	КНр	МТН	Інд1	Інд2
‘Антрацит’	76,2	8,7	13,9	39,2	78,7	168,3	0,1	0,5
‘Аквамарин’	75,5	10,0	13,6	73,7	140,3	154,2	0,1	1,0
‘Адамос’	79,7	10,4	13,1	80,1	139,9	170	0,1	0,8
‘Александрит’	81,8	16,9	11,3	36,8	71,5	170,8	0,2	0,4
‘Авантюрин’	73,3	13,0	12,5	41,9	90,9	166,9	0,2	0,6
Середнє	77,3	11,8	12,9	54,3	104,3	166,0	0,14	0,7

Примітка. ВР – висота рослини, см; ВПнб – висота прикріплення нижнього бобу, см; КВст – кількість вузлів на стебло, шт.; КБр – кількість бобів на рослину, шт.; КНр – кількість насіння з рослини, шт.; МТН – маса 1000 насінин, г; Інд1 – індекс відношення ВР до ВПнб, Інд2 – індекс відношення КНр до МТН.

У посушливих умовах 2024 року травень і червень були спекотними. Липень установив рекорд за температурними показниками, відзначаючись значним підвищенням середньодобової температури повітря (25,9 °С), що на 5,8 °С вище середньобогаторічну норму. Загалом 2024 рік був надзвичайно посушливим, особливо в період вегетації рослин сої. За винятком червня, опади практично були відсутні. У травні їхня кількість становила 13,6 мм, у липні – 2,0, у серпні – 1,0 мм, що суттєво нижче середньобогаторічної норми для серпня (46,0 мм).

У посушливих умовах 2024 р. (табл. 3) висота рослин сої варіювала в межах 73,3–81,8 см. На початкових етапах розвитку рослини сформували значну середню висоту прикріплення нижнього бобу – 11,8 см. Проте у фазі «цвітіння – формування бобів» вони зазнавали температурного стресу. Кількість вузлів на стеблі була значно меншою порівняно з попередніми роками. Середня кількість бобів на рослину становила 54,3 шт., з максимальними значеннями в сортів ‘Адамос’ (80,1 шт.) та ‘Аквармарин’ (73,7 шт.). Ці ж сорти формували максимальну кількість насінин – 139,9 та 140,3 шт. відповідно. Середня маса 1000 насінин серед досліджуваних сортів становила 166,0 г.

Таким чином, за різних погодних умов високі біометричні показники продемонстрували сорти ‘Адамос’, ‘Аквармарин’ та ‘Антрацит’, що сприяло формуванню їхньої високої продуктивності.

Установлено, що залежно від сорту та умов року продуктивність насіння сої варіювала у широких межах – від 12,1 до 47,0 г/рослину (табл. 4).

Таблиця 4

Продуктивність сортів сої, г/рослину (2022–2024 рр.)

Сорт (фактор Б)	Рік (фактор А)			Середнє за роками
	2022	2023	2024	
‘Антрацит’	15,3	32,3	13,2	20,3
‘Аквармарин’	18,5	14,5	20,7	17,9
‘Адамос’	27,3	47,0	23,7	32,7
‘Александрит’	14,5	26,9	12,1	17,8
‘Авантюрин’	16,0	17,0	14,9	16,0
Середнє за сортами	18,3	27,5	16,9	20,9
НІР _{0,05} : А – 5,28; Б – 6,41; АБ – 0,18				

Серед досліджуваних сортів сої, як у розрізі окремих років, так і в середньому за роки досліджень, найпродуктивнішим виявився ‘Адамос’ (32,7 г/рослину). Суттєво нижчий, але загалом високий рівень продуктивності відзначено в сорту ‘Антрацит’ (20,3 г/рослину). Найменший показник продемонстрував ‘Авантюрин’ (16,0 г/рослину). Отримані результати підтверджені даними тримірної моделі залежності насінневої продуктивності від року випробувань та сорту сої, що описується рівнянням лінійної регресії $z = 182,53 - 0,71x - 0,7y$ (рис. 2).

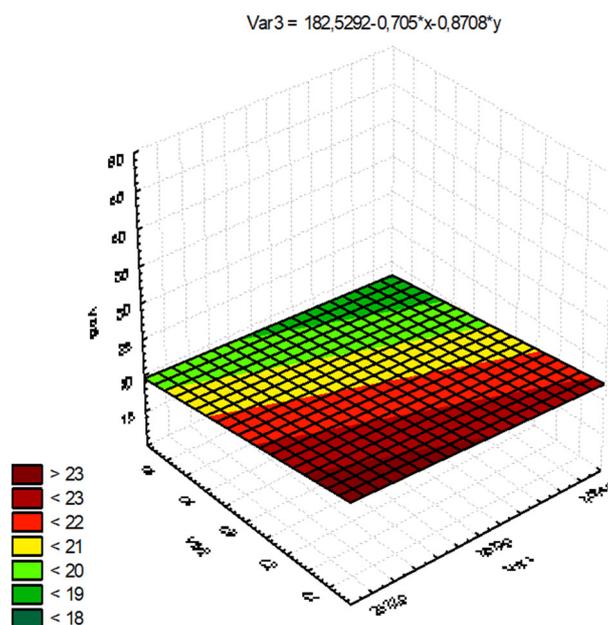


Рис. 2. Тримірна залежність продуктивності сої від сорту та року дослідження (2022–2024 рр.)

Аналіз даних (рис. 2) свідчить, що в усі роки вегетації найбільша продуктивність демонстрував сорту 'Адамос', у якого цей показник варіював від 23,7 до 47,0 г/рослину, з максимумом у 2023 році. Порівняно високу насінневу продуктивність також забезпечили сорти 'Антрацит' (32,3 г/рослину) та 'Александрит' (26,9 г/рослину) в умовах 2023 року. Інші досліджувані сорти мали суттєво нижчий рівень продуктивності. У 2024 році продуктивність усіх сортів сої була суттєво нижчою порівняно з попередніми роками досліджень.

Кореляційно-регресійний аналіз дав змогу визначити напрямок і силу зв'язку між кількісними показниками рослин (зокрема й індексами) та насінневою продуктивністю сортів сої (рис. 5–7).

Таблиця 5

Кореляційні залежності між кількісними показниками рослин та продуктивністю сортів сої (2022 р.)

Показники	ВР	ВПнб	КВст	КБр	КНр	МТН	Інд1	Інд2
'Антрацит'	-0,28	-0,05	0,18	0,75	0,96	-0,22	0,02	0,88
'Акварин'	0,26	-0,28	0,46	0,76	0,83	-0,39	-0,34	0,74
'Адамос'	0,20	-0,58	0,45	0,82	0,92	-0,49	-0,66	0,82
'Александрит'	-0,39	-0,55	0,26	0,64	0,91	0,18	-0,56	0,70
'Авантюрин'	0,51	-0,04	0,34	0,75	0,87	-0,29	-0,18	0,72

Примітка. ВР – висота рослини, см; ВПнб – висота прикріплення нижнього бобу, см; КВст – кількість вузлів на стебло, шт.; КБр – кількість бобів на рослину, шт.; КНр – кількість насіння з рослини, шт.; МТН – маса 1000 насінин, г; Інд1 – індекс відношення ВР до ВПнб, Інд2 – індекс відношення КНр до МТН.

Для умов 2022 року, згідно з коефіцієнтом кореляції (r), встановлено обернений вплив середньої сили висоти прикріплення нижнього бобу на продуктивність сортів сої 'Адамос' і 'Александрит' ($r = -0,58$ та $-0,55$ відповідно). Прямолінійний кореляційний зв'язок середнього ступеня виявлено між кількістю вузлів на стеблі та насінневою продуктивністю сортів 'Акварин' та 'Адамос' ($r = 0,46$ та $0,45$ відповідно). Середня кореляція спостерігалася між продуктивністю і масою 1000 насінин ($r = -0,49$), а також між індексом відношення висоти рослин до висоти прикріплення нижнього бобу ($r = -0,66$ для сорту 'Антрацит' і $-0,49$ для 'Александрит'). Сильний прямолінійний кореляційний зв'язок встановлено між кількістю бобів на рослину, кількістю насіння з рослини, Індексом 2 та продуктивністю насіння всіх досліджуваних сортів сої ($r > 0,71$).

Таблиця 6

Кореляційні залежності між кількісними показниками рослин та продуктивністю сортів сої (2023 р.)

Показники	ВР	ВПнб	КВст	КБр	КНр	МТН	Інд1	Інд2
'Антрацит'	-0,61	-0,73	-0,19	0,83	0,94	-0,28	-0,55	0,83
'Акварин'	-0,03	-0,10	-0,08	0,72	0,79	0,06	-0,10	0,54
'Адамос'	-0,34	-0,38	0,48	0,58	0,95	-0,57	-0,27	0,89
'Александрит'	0,27	-0,25	-0,24	0,94	0,95	-0,39	-0,15	0,86
'Авантюрин'	0,53	-0,45	0,25	0,88	0,99	-0,30	-0,49	0,95

Примітка. ВР – висота рослини, см; ВПнб – висота прикріплення нижнього бобу, см; КВст – кількість вузлів на стебло, шт.; КБр – кількість бобів на рослину, шт.; КНр – кількість насіння з рослини, шт.; МТН – маса 1000 насінин, г; Інд1 – індекс відношення ВР до ВПнб, Інд2 – індекс відношення КНр до МТН.

В умовах 2023 р. вирізнявся сорт 'Антрацит', у якого встановлено обернений зв'язок середньої сили між продуктивністю насіння та висотою рослин ($r = -0,61$), а також з Індексом 1 ($r = -0,55$) і прямолінійний – для сорту 'Авантюрин' ($r = 0,53$). Висота прикріплення нижнього бобу мала сильну обернену кореляцію з продуктивністю ($r = -0,73$).

У сорту сої 'Адамос' визначено середню кореляцію між масою 1000 насінин та насінневою продуктивністю культури ($r = -0,57$). Для всіх досліджуваних сортів сої встановлено сильний прямолінійний кореляційний зв'язок між кількістю бобів на рослині, кількістю насіння з рослини, індексом 2 та насінневою продуктивністю ($r > 0,71$).

Таблиця 7

Кореляційні залежності між кількісними показниками рослин та продуктивністю сортів сої (2024 р.)

Показники	ВР	ВПнб	КВст	КБр	КНр	МТН	Інд1	Інд2
'Антрацит'	-0,18	0,05	0,26	0,73	0,78	0,41	0,08	0,41
'Аквармарин'	0,36	-0,09	0,13	0,91	0,97	-0,60	-0,19	0,93
'Адамос'	0,06	-0,58	0,17	0,90	0,97	-0,10	-0,61	0,90
'Александрит'	0,02	-0,36	0,09	0,62	0,94	-0,56	-0,44	0,86
'Авантюрин'	0,26	0,10	0,19	0,60	0,94	-0,46	0,02	0,86

Примітка. ВР – висота рослини, см; ВПнб – висота прикріплення нижнього бобу, см; КВст – кількість вузлів на стебло, шт.; КБр – кількість бобів на рослину, шт.; КНр – кількість насіння з рослини, шт.; МТН – маса 1000 насінин, г; Інд1 – індекс відношення ВР до ВПнб, Інд2 – індекс відношення КНр до МТН.

У посушливих умовах 2024 року досить чітко проявилася міжсортна реакція сої. Установлено обернену кореляцію між висотою прикріплення нижнього бобу, Індексом 1 та продуктивністю насіння сорту 'Адамос' ($r = -0,58$ та $-0,61$ відповідно). Маса 1000 насінин мала обернену середню кореляцію з насінневою продуктивністю сортів 'Аквармарин' ($r = -0,60$) та 'Александрит' ($r = -0,56$).

Для сорту 'Адамос' встановлено обернений зв'язок між індексом відношення висоти рослин до висоти прикріплення нижнього бобу ($r = -0,61$). Для всіх сортів сої зафіксовано сильний прямолінійний кореляційний зв'язок між кількістю бобів на рослині, кількістю насіння з рослини, Індексом 2 та насінневою продуктивністю ($r > 0,71$), окрім сорту 'Антрацит', у якого виявлено середній рівень кореляції з Індексом 2.

Висновки

У сприятливих умовах 2022 року максимальні кількісні показники спостерігалися в сортів 'Адамос' та 'Аквармарин'. Високу масу 1000 насінин (185,45–168,1 г) відзначено в сортів 'Антрацит' та 'Александрит'.

В оптимальних умовах 2023 року найбільшу кількість насінин формували сорти 'Адамос' (138 шт.) та 'Антрацит' (93 шт.). Крім того, ці сорти характеризуються високою масою 1000 насінин (179 та 183 г відповідно).

У спекотних умовах 2024 року максимальна кількість насінин з рослини зафіксована в сортів 'Адамос' (139,9 шт.) та 'Аквармарин' (140,3 шт.). Ці ж сорти мали й найбільшу середню масу 1000 насінин – 166,0 г.

У середньому за три роки найбільшу насінневу продуктивність забезпечували сорти 'Адамос' (32,7 г/рослину) та 'Антрацит' (20,3 г/рослину), тоді як інші сорти – менше 20,0 г/рослину.

Продуктивність насіння сортів сої формується за рахунок біометричних показників рослин, як-от кількість бобів на рослину, кількість насіння з рослини, Індекс 2 (відношення висоти рослин до висоти прикріплення нижнього бобу) за коефіцієнтів кореляції $r > 0,71$.

Використана література

1. Мазур В. А., Ткачук О. П., Панцирева Г. В., Купчук І. М. Соя в інтенсивному землеробстві. Вінниця : Нілан-ЛТД, 2022. 220 с.
2. Петриченко В. Ф., Лихочвор В. В., Іванюк С. В. та ін. Соя / за ред. В. Ф. Петриченка, С. В. Іванюка. Вінниця : Діло, 2016. 392 с.

3. Огурцов Є. М., Міхеєв В. Г., Белінський Ю. В., Клименко І. В. Адаптивна технологія вирощування сої у Східному Лісостепу України. Харків : ХНАУ, 2016. 272 с.
4. das Chagas P. H. M., Teodoro L. P. R., Santana D. C. et al. Understanding the combining ability of nutritional, agronomic and industrial traits in soybean F₂ progenies. *Scientific Reports*. 2023. Vol. 13. Article 17909. doi: 10.1038/s41598-023-45271-4
5. Мазур О. В. Ідентифікація ознак зернобобових рослин за селекційними індексами. *Сільське господарство та лісівництво*. 2020. № 16. С. 119–133. doi: 10.37128/2707-5826-2020-9
6. Кириченко В. В., Рябуха С. С., Кобизєва Л. Н. та ін. Соя (*Glycine max* (L.) Merr.). Харків, 2016. 400 с.
7. Щербина О. З., Ткачик С. О., Тимошенко О. О., Шостак Н. О. Оцінка сортів сої культурної [*Glycine max* (L.) Merrill] за стабільністю прояву господарсько-цінних ознак. *Plant Varieties Studying and Protection*. 2020. Т. 16, № 1. С. 90–96. doi: 10.21498/2518-1017.16.1.2020.201331
8. Wamanrao A. N., Kumar V., Meshram D. Correlation and Path Coefficient Analysis of Grain Yield and its Growth Components in Soybean (*Glycine max* L.). *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*. 2020. Vol. 9, Iss. 3. P. 2445–2451. doi: 10.20546/ijemas.2020.903.280
9. Білявська Л. Г., Присяжнюк О. І. Модель ранньостиглого сорту сої. *Новітні агротехнології*. 2018. № 6. doi: 10.21498/na.6.2018.165365
10. Білявська Л. Г., Діянова А. О. Модель дуже скоростиглих сортів сої в умовах зміни клімату для зон Степу і Лісостепу України. *Грааль науки*. 2021. № 4. С. 160–165. doi: 10.36074/grail-of-science.07.05.2021.029
11. Базиленко Є. О., Марченко Т. Ю., Лавриненко Ю. О. Прояв і мінливість ознаки «кількість бобів на продуктивних вузлах рослини» у гібридів та сортів сої різних груп стиглості. *Аграрні інновації*. 2022. Вип. 15. С. 128–133. doi: 10.32848/agrar.innov.2022.15.19
12. Зінченко О. С., Ведмедева К. В., Якубенко О. В. Пластичність, стабільність та мінливість сортів сої за господарсько-цінними ознаками у екологічному сортовипробуванні. *Науково-технічний бюлетень Інституту олійних культур НААН*. 2018. № 25. С. 50–60.
13. Лавриненко Ю. О., Марченко Т. Ю., Боровик В. О. та ін. Прояв і мінливість ознаки «маса насіння з рослини» у гібридів та сортів сої різних груп стиглості. *Зернові культури*. 2018. Т. 2, № 2. С. 201–211. doi: 10.31867/2523-4544/0026
14. Лавриненко Ю. О., Вожегова Р. А., Клубук В. В., Марченко Т. Ю. Прояв і мінливість ознак «висота рослин» і «висота кріплення нижнього бобу» у сортів та гібридів сої різних груп стиглості при зрошенні. *Таврійський науковий вісник*. 2013. № 83. С. 65–72.
15. Мазур О. В., Мазур О. В. Відмінності зернобобових культур за пластичністю і стабільністю господарсько-цінних ознак. *Сільське господарство та лісівництво*. 2019. № 12. С. 69–86.
16. Вожегова Р. А., Лавриненко Ю. О., Марченко Т. Ю. та ін. Мінливість ознаки «маса насіння з рослини» у гібридів сої різних груп стиглості. *Фактори експериментальної еволюції організмів*. 2019. Т. 24. С. 53–58. doi: 10.7124/FEEO.v24.1078
17. Іванів М. О., Возняк В. В. Біометричні показники та урожайність сортів сої різних груп стиглості залежно від елементів технології. *Таврійський науковий вісник*. 2023. № 130. С. 68–76. doi: 10.32851/2226-0099.2023.130.11
18. Belyavskaya L., Belyavskiy Y., Kulyk M., Taranenko A., Didovich S. Soybean growing under inoculation by *Bradyrhizobium japonicum* strains in the Forest-steppe and Steppe zones of Ukraine. *Zemdirbyste-Agriculture*. 2022. Vol. 109, No 3. P. 203–210. doi: 10.13080/z-a.2022.109.026
19. Коханюк Н. В. Оцінка зразків сої на основі кореляції кількісних ознак та індексів. *Селекція і насінництво*. 2014. № 106. С. 71–76. doi: 10.30835/2413-7510.2014.42130
20. Singh P. K., Shrestha J. Evaluation of soybean [*Glycine max* (L.) Merrill] genotypes for agro-morphological traits using multivariate analysis. *Nepalese Journal of Agricultural Sciences*. 2019. Vol. 18. P. 100–107.

21. Mesfin H., Abush T. Progress of soybean [*Glycine max* (L.) Merrill] breeding and genetics research in Ethiopia: A review. *Journal of Natural Sciences Research*. 2018. Vol. 8, Iss. 13. P. 67–77.
22. Sareo H., Devi H. N., Devi T. H. R. et al. Genetic diversity analysis among soybean (*Glycine max*) genotypes based on agro morphological characters. *Indian Journal of Agricultural Sciences*. 2018. Vol. 88, Iss. 12. P. 1839–1842.
23. Deresse H. D., Hirpa L. G. Correlation and Path analysis studies among yield and yield related traits in Soybean (*Glycine max* (L.) Merrill) varieties grown at Bako Tibe Western Ethiopia. *International Journal of Plant Breeding and Crop Science*. 2018. Vol. 5, Iss. 1. P. 352–360.
24. Кобизева Л. Н., Рябчун В. К., Безугла О. М. та ін. Широкий уніфікований класифікатор роду *Glycine max* (L.) Merr. Харків : Магда LTD, 2004. 37 с.
25. Методика проведення експертизи та державного випробування сортів рослин зернових, круп'яних та зернобобових культур / за ред. В. В. Волкодава. Київ, 2003. Вип. 2. С. 218–239.
26. Методика проведення кваліфікаційної експертизи сортів рослин на придатність до поширення в Україні. Загальна частина / уклад.: С. О. Ткачик, О. І. Присяжнюк, Н. В. Лещук. 4-те вид., випр. і доп. Вінниця : ФОП Корзун Д. Ю., 2016. 118 с.
27. Ермантраут Е. Р., Присяжнюк О. І., Шевченко І. Л. Статистичний аналіз агрономічних дослідних даних в пакеті Statistica 6.0 : методичні рекомендації. Київ : ПоліграфКонсалтинг, 2007. 56 с.

References

1. Mazur, V. A., Tkachuk, O. P., Pantsyрева, H. V., & Kupchuk, I. M. (2022). *Soybean in intensive farming*. Vinnytsia: Nilan-LTD. [In Ukrainian]
2. Petrychenko, V. F., Lykhochvor, V. V., Ivaniuk, S. V., Korniiichuk, O. V., Kolisnyk, S. I., Kobak, S. Ya., & Zakharova, O. M. (2016). *Soybean*. V. F. Petrychenko, & S. V. Ivaniuk (Eds.). Vinnytsia: Dilo. [In Ukrainian]
3. Ohurtsov, Ye. M., Mikhieiev, V. H., Bielinskyi, Yu. V., & Klymenko, I. V. (2016). *Adaptive technology of soybean cultivation in the Eastern Forest-Steppe of Ukraine*. Kharkiv: KhNAU. [In Ukrainian]
4. das Chagas, P. H. M., Teodoro, L. P. R., Santana, D. C., Filho, M. C. M. T., Coradi, P. C., Torres, F. E., Bhering, L. L., & Teodoro, P. E. (2023). Understanding the combining ability of nutritional, agronomic and industrial traits in soybean F₂ progenies. *Scientific Reports*, 13, Article 17909. doi: 10.1038/s41598-023-45271-4
5. Mazur, O. V. (2020). Identification of legume plant traits by selection indices. *Agriculture and Forestry*, 16, 119–133. doi: 10.37128/2707-5826-2020-9 [In Ukrainian]
6. Kyrychenko, V. V., Riabukha, S. S., Kobyzieva, L. N., Posylaieva, O. O., & Chernyshenko, P. V. (2016). *Soybean (Glycine max (L.) Merr.)*. Kharkiv. [In Ukrainian]
7. Shcherbyna, O. Z., Tkachyk, S. O., Tymoshenko, O. O., & Shostak, N. O. (2020). Assessment of various soybean varieties [*Glycine max* (L.) Merrill.] on the stability of manifestation of economically valuable traits. *Plant Varieties Studying and Protection*, 16(1), 90–96. doi: 10.21498/2518-1017.16.1.2020.201331 [In Ukrainian]
8. Wamanrao, A. N., Kumar, V., & Meshram, D. (2020). Correlation and path coefficient analysis of grain yield and its growth components in soybean (*Glycine max* L.). *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 9(3), 2445–2451. doi: 10.20546/ijemas.2020.903.280
9. Biliavska, L. H., & Prysiazniuk, O. I. (2018). A model of early-maturing soybean variety. *Advanced Agritechnologies*, 6. doi: 10.21498/na.6.2018.165365 [In Ukrainian]
10. Biliavska, L. H., & Dianova, A. O. (2021). Model of ultra-early soybean varieties under climate change conditions for the Steppe and Forest-Steppe zones of Ukraine. *Grail of Science*, 4, 160–165. doi: 10.36074/grail-of-science.07.05.2021.029 [In Ukrainian]
11. Bazilenko, Ye. O., Marchenko, T. Yu., & Lavrynenko, Yu. O. (2022). Manifestation and

variability of the trait “number of beans on the productive nodes of the plant” in hybrids and soybean varieties of different maturity groups. *Agrarian Innovations*, 15, 128–133. doi: 10.32848/agrar.innov.2022.15.19 [In Ukrainian]

12. Zinchenko, O. S., Vedmedeva, K. V., & Yakubenko, O. V. (2018). Plasticity, stability and variability of soybean varieties for agronomically-important traits in ecological variety trial. *Scientific and Technical Bulletin of the Institute of Oil Crops NAAS*, 25, 50–60. [In Ukrainian]

13. Lavrynenko, Yu. O., Marchenko, T. Yu., Borovyk, V. O., Mykhailenko, I. V., Ivaniv, M. O., & Klubuk, V. V. (2018). Display and variability of the sign “mass of seeds per a plant” in the soybeans hybrids and varieties of the different groups of ripeness. *Grain Crops*, 2(2), 201–211. doi: 10.31867/2523-4544/0026 [In Ukrainian]

14. Lavrynenko, Yu. O., Vozhegova, R. A., Klubuk, V. V., & Marchenko, T. Yu. (2013). Manifestation and variability of the traits “plant height” and “lower pod attachment height” in soybean varieties and hybrids of different maturity groups under irrigation. *Taurida Scientific Herald*, 83, 65–72. [In Ukrainian]

15. Mazur, O. V., & Mazur, O. V. (2019). Distinctions of leguminous crops for plasticity and stability of commercial indicators. *Agriculture and Forestry*, 12, 69–86. [In Ukrainian]

16. Vozhegova, R. A., Lavrynenko, Yu. O., Marchenko, T. Yu., Borovyk, V. O., & Klubuk, V. V. (2019). Variability of the “mass of seeds from a plant” sign in the soybeans hybrids of the different groups of ripeness. *Factors of Experimental Evolution of Organisms*, 24, 53–58. doi: 10.7124/FEEO.v24.1078 [In Ukrainian]

17. Ivaniv, M. O., & Vozniak, V. V. (2023). Biometric indicators and productivity of soybean varieties of different maturity groups depending on the elements of technology. *Taurida Scientific Herald*, 130, 68–76. doi: 10.32851/2226-0099.2023.130.11 [In Ukrainian]

18. Belyavskaya, L., Belyavskiy, Y., Kulyk, M., Taranenko, A., & Didovich, S. (2022). Soybean growing under inoculation by *Bradyrhizobium japonicum* strains in the Forest-Steppe and Steppe zones of Ukraine. *Zemdirbyste-Agriculture*, 109(3), 203–210. doi: 10.13080/z-a.2022.109.026

19. Kokhanyuk, N. V. (2014). Evaluation of soybean varieties based on correlation quantitative traits and indexes. *Plant Breeding and Seed Production*, 106, 71–76. doi: 10.30835/2413-7510.2014.42130 [In Ukrainian]

20. Singh, P. K., & Shrestha, J. (2019). Evaluation of soybean (*Glycine max* (L.) Merrill) genotypes for agro-morphological traits using multivariate analysis. *Nepalese Journal of Agricultural Sciences*, 18, 100–107.

21. Mesfin, H., & Abush, T. (2018). Progress of soybean (*Glycine max* (L.) Merrill) breeding and genetics research in Ethiopia: A review. *Journal of Natural Sciences Research*, 8(13), 67–77.

22. Sareo, H., Devi, H. N., Devi, T. H. R., Devi, T. S., Karam, N., & Devi, L. S. (2018). Genetic diversity analysis among soybean (*Glycine max*) genotypes based on agro-morphological characters. *Indian Journal of Agricultural Sciences*, 88(12), 1839–1842.

23. Deresse, H. D., & Hirpa, L. G. (2018). Correlation and path analysis studies among yield and yield-related traits in soybean (*Glycine max* (L.) Merrill) varieties grown at Bako Tibe, Western Ethiopia. *International Journal of Plant Breeding and Crop Science*, 5(1), 352–360.

24. Kobzyieva, L. N., Riabchun, V. K., Bezugla, O. M., Drepina, T. O., Drebin, I. M., Potomkina, L. M., ... Biliavska, L. H. (2004). *A broad unified classifier of the genus Glycine max* (L.) Merr. Kharkiv: Magda LTD. [In Ukrainian]

25. Volkodav, V. V. (Ed.). (2003). *Methodology for conducting examination and state testing of grain, cereal, and legume crop varieties* (Vol. 2, pp. 218–239). Kyiv. [In Ukrainian]

26. Tkachyk, S. O., Prysiazhniuk, O. I., & Leshchuk, N. V. (Comps.). (2016). *Methodology for conducting qualification examination of plant varieties for suitability for distribution in Ukraine. General part* (4th ed., rev. and enl.). Vinnytsia: FOP Korzun D. Yu. [In Ukrainian]

27. Ermantraut, E. R., Prysiazhniuk, O. I., & Shevchenko, I. L. (2007). *Statistical analysis of agronomic research data in the Statistica 6.0 package: Methodical Recommendations*. Kyiv: PolihrafKonsaltnh. [In Ukrainian]

UDC 635.655:631.527

Diianova, A. O., & Kulyk, M. I.* (2024). Soybean seed productivity as affected by biometric parameters of plants and cultivation conditions. *Scientific Papers of the Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet*, 32, 93–103. <https://doi.org/10.47414/np.32.2024.326050> [In Ukrainian]

Poltava State Agrarian University, 1/3 Skovorody St., Poltava, 36003, Ukraine,
**e-mail: kulykmaksym@ukr.net*

Purpose. To determine the value of economically important traits and the correlation between them in soybean varieties of Poltava origin. **Methods.** Field experiments were conducted from 2022 to 2024 in a breeding crop rotation (FE “Hryha”, Poltava region). Five early-maturing Ukrainian soybean varieties were studied: ‘Anratsyt’, ‘Adamos’, ‘Aleksandryt’, ‘Avantiuryyn’, and ‘Akvamaryn’. **Results.** Under favourable conditions in 2022, the highest quantitative indicators were observed in the varieties ‘Adamos’ and ‘Akvamaryn’. The varieties ‘Anratsyt’ and ‘Aleksandryt’ demonstrated a high 1000-kernel weight (185.45–168.1 g). In optimal conditions of 2023, the highest numbers of seeds per plant were formed by the varieties ‘Adamos’ (138 seeds) and ‘Anratsyt’ (93 seeds). Additionally, these varieties had a high 1000-kernel weight (179 g and 183 g, respectively). In the hot conditions of 2024, the maximum number of seeds per plant was recorded in the varieties ‘Adamos’ (139.9 seeds) and ‘Akvamaryn’ (140.3 seeds), which also had the highest average 1000-kernel weight (66.0 g). Over the three-year period, the highest seed productivity was ensured by the varieties ‘Adamos’ (32.7 g/plant) and ‘Anratsyt’ (20.3 g/plant), while other varieties yielded less than 20.0 g/plant. Seed productivity in soybean varieties is formed by biometric plant indicators such as the number of pods per plant, the number of seeds per plant, and Index 2 (the ratio of plant height to the height of attachment of the lowest pod) with correlation coefficients $r > 0.71$. **Conclusions.** Under varying weather conditions, seed productivity in Poltava soybean varieties depends on the development of biometric plant indicators. Throughout the study years, the varieties ‘Adamos’ and ‘Anratsyt’ demonstrated the highest seed productivity.

Keywords: soybean; varieties; variability; correlation coefficient; genotype; selection; structural elements; productivity.

Надійшла / Received 01.11.2024

Погоджено до друку / Accepted 09.12.2024

УДК 631.527.5.048:631.811.98:633.17(477.7) DOI: <https://doi.org/10.47414/np.32.2024.327514>

Продуктивність сорго зернового залежно від агротехнічних заходів в умовах Північного Степу України

 Д. В. Сухіна*,  Н. В. Новицька

*Національний університет біоресурсів і природокористування України, вул. Героїв Оборони, 15, м. Київ, 03041, Україна, *e-mail: sukhina.denis@gmail.com*

Мета. Визначити вплив гібридів, густоти рослин і застосування регулятора росту на продуктивність сорго зернового в умовах степової зони України. **Методи.** Дослідження проводили в умовах недостатнього зволоження Північного Степу України протягом 2022–2024 рр. Під час досліджень застосовували такі методи: польовий – спостереження за фенологічними фазами росту й розвитку культури, оцінювання впливу досліджуваних елементів на врожайність сорго зернового; табличний – для систематизації, впорядкування й подання отриманих даних; графічний – для візуалізації результатів дослідження. Наукова програма передбачала вивчення впливу технологічних елементів на фенологічні, біометричні, структурно-морфологічні показники та врожайність сорго зернового. Відповідно до поставленої мети було розроблено схему трифакторного дослідження, у якій першим фактором були гібриди сорго зернового різних груп стиглості: ‘Калатур’, ‘ЕС Алізе’, ‘ЕС Фоен’, ‘Албанус’ та ‘ЕС Муссон’. Другим фактором була густина рослин – 170, 200 та 230 тис. шт./га. Третім – застосування регулятора росту Аппетайзер у фазах 4–5 та 7–8 листків із нормою витрати препарату 0,5 л/га та робочого розчину – 150 л/га. **Результати.** Упродовж років досліджень найвищу врожайність зерна забезпечили середньоранні гібриди ‘ЕС Фоен’ (5,17 т/га), ‘Калатур’ (5,13 т/га) та ‘ЕС Муссон’ (5,11 т/га) за густоти 200 тис. шт./га із застосуванням регулятора росту Аппетайзер. За густоти 170 тис. шт./га найвищу продуктивність сформували: ранньостиглий гібрид ‘Албанус’ – 4,02 т/га, середньоранні – ‘ЕС Муссон’ та ‘ЕС Фоен’ – 4,01 і 3,79 т/га відповідно. Серед загущених посівів (230 тис. шт./га) високими показниками врожайності відзначилися гібриди ‘ЕС Муссон’ (4,60 т/га), ‘Албанус’ (4,51 т/га) та ‘ЕС Фоен’ (4,37 т/га). **Висновки.** Доведено провідну роль густоти рослин і застосування регулятора росту в реалізації продуктивного потенціалу гібридів сорго зернового. Збільшення густоти рослин від 170 до 200 тис. шт./га забезпечує високу врожайність на рівні 4,43–4,87 т/га (за середніми показниками протягом досліджень) для гібридів французької селекції ‘Калатур’, ‘ЕС Алізе’, ‘ЕС Фоен’, ‘Албанус’ та ‘ЕС Муссон’. Подальше підвищення густоти до 230 тис. шт./га спричиняє пригнічення рослин і зниження врожайності на 4–16 %. Регулятор росту Аппетайзер можна вважати сучасним адаптивним елементом технології вирощування, оскільки він забезпечує приріст урожайності на 0,17–0,41 т/га, будучи економічно й технологічно ефективним. Правильне регулювання густоти рослин має вирішальне значення, адже надмірна густина може призводити до конкуренції за поживні речовини та вологу, знижуючи продуктивність. Таким чином, поєднання оптимальної густоти з використанням регулятора росту в технології вирощування здатне суттєво підвищити врожайність сорго зернового в умовах степової зони України.

Ключові слова: *урожайність; реалізація генетичного потенціалу; гібрид; густина рослин; регулятор росту рослин; технологія вирощування; екстракт морських водоростей.*

Вступ

Сорго зернове має високу господарську цінність, яка полягає в широкому спектрі використання зерна на кормові, харчові та технологічні цілі. Його зерно містить близько 70–75 % крохмалю, 12–15 % білка та 2,4–4,8 % жиру, що за хімічним складом є наближеним до кукурудзи й є важливим джерелом поживних речовин для годівлі худоби в південних областях України.

Завдяки невибагливості, посухостійкості та адаптивності до несприятливих умов сорго зернове є стратегічно важливою культурою для України. Передумовою вибору цієї нішевої культури є її переваги у вигляді низьких норм висіву та тривалого строку збереження схожості насіння [1], а також можливість пізніх строків сівби навесні завдяки низькому транспіраційному коефіцієнту – на рівні 300 вагових одиниць води на вагову одиницю врожаю. Це на 11,3 % менше порівняно з транспіраційним коефіцієнтом кукурудзи (338), на 41,5 % – пшениці (513) та на 59 % менше порівняно з горохом (730). Тобто ці умови роблять сорго зернове потенційно стратегічною культурою для пересіву загнаних озимих та ярих культур у разі аномальної посухи.

Водночас його посівні площі в Україні становили від 13,9 до 136,9 тис. га протягом 2010–2024 років, або 0,13–0,95% від площі всіх зернових культур. У розрізі вказаного періоду спостерігалася динаміка зростання посівних площ сорго протягом 2010–2013 рр. із поступовим зниженням – з 83,1 до 42,8 тис. га протягом 2014–2021 рр. та критичним падінням до 15,2 тис. га у 2022 році після повномасштабного вторгнення РФ та зниження експортної спроможності України. Зокрема, це зумовлено другорядністю цієї культури через малу вивченість технології її вирощування та продуктивного потенціалу.

Хоч урожайний потенціал сорго зернового ще не реалізований повною мірою, проте із залученням сучасних гібридів та вдосконаленими агротехнологіями є реальні можливості для досягнення високого рівня його продуктивності [2]. Регулятори росту рослин вважаються сучасним методом впливу на фізіологічні процеси рослин: вони здатні активізувати вегетативний ріст, прискорити цвітіння та досягання, підвищити стійкість до стресових чинників і врожайність [3]. Нині цей клас речовин представлений синтетичними та природними сполуками, які регулюють життєві процеси через активізацію синтезу білків і РНК або зміну матричної доступності ДНК, але при цьому не є джерелами живлення. Більшість регуляторів росту на ринку представлені комплексом гормонів: гіберелінів, ауксинів, цитокінінів, гумінових та фульвокислот, амінокислот, грибів та екстрактів морських водоростей [4]. Останні нині активно застосовуються у виробництві біостимуляторів, оскільки бурі водорості, зокрема *Fucus* spp., *Laminaria* spp., *Sargassum* spp., *Ecklonia* spp., *Durvillaea* spp. та *Turbinaria* spp., можуть досягати високих рівнів біомаси й дуже поширені у світі [5].

Регулятор росту рослин Аппетайзер був обраний для дослідження через високий уміст екстракту бурих водоростей *Ascophyllum nodosum* GA-142 (95,2 %), який включає широкий комплекс біоактивних сполук: полі- та олігосахариди (ламінаран, фукан, альгінат), бетаїни, стероли, амінокислоти, макро- та мікроелементи, фітогормони (абсцизинова кислота, цитокініни та ауксини). Це дало змогу повною мірою оцінити вплив екстракту морських водоростей на продуктивність сорго зернового в посушливих умовах вирощування.

Дослідження елементів технології вирощування та її оптимізація щодо потенціалу сорго зернового є актуальними для подальшого розвитку культури в аграрному виробництві як провідної зернової культури поряд із пшеницею, кукурудзою, рисом та ячменем.

Згідно з дослідженнями Г. М. Каражбей [6, 7], сорго зернове також є важливою енергетичною культурою з високим сортовим потенціалом, що підкреслює його значення для АПК України в умовах глобальних агрокліматичних змін. Продуктивність сорго досліджували Л. А. Правдива, О. В. Яланський та інші, які встановили, що елементи структури врожайності значною мірою визначаються сортовими особливостями (група стиглості), площею живлення (густота посіву та ширина міжряддя) [8–10].

За результатами досліджень М. О. Бойка [11], гібриди сорго зернового ‘Сонцедар’ та ‘Даш Е’ в зоні Південного Степу України забезпечували врожайність 6,54–6,69 т/га за ранніх строків сівби та густоти рослин на рівні 140–180 тис. шт./га, а за пізніх строків врожайність становила лише близько 4,00 т/га за густоти 180–220 тис. шт./га.

Результати досліджень А. Д. Гирки та Я. В. Алексеева свідчать про важливу роль таких елементів технології вирощування, як високоврожайні пластичні гібриди та сорти (‘Вінець’, ‘Дніпровський 39’, ‘Прайм’), ширина міжрядь (45 та 70 см), а також густота рослин (120–

140 тис. шт./га) для реалізації адаптивного та генетично обумовленого потенціалу продуктивності сорго зернового з високими якісними показниками зерна та забезпечення економічної ефективності [12, 13]. Позитивні висновки щодо ефективності ширини міжрядь для формування елементів продуктивності сорго зробили також С. Ю. Давиденко, А. О. Рожков та інші, відзначивши високу врожайність досліджуваних гібридів 'Сват' (5,87 т/га) та 'Флагг' (4,75 т/га) [14].

Мета досліджень – визначити вплив гібридів, густоти рослин і застосування регулятора росту на продуктивність сорго зернового в умовах степової зони України.

Матеріали та методика досліджень

Дослідження виконували протягом 2022–2024 рр. на полях ТОВ «Зоря» (с. Гаврилівка, Синельниківський р-н, Дніпропетровська обл.). Згідно із зональним розподілом, район належить до північної частини степової зони України з недостатнім і нестійким зволоженням та посушливими погодними умовами.

Урожайність сорго зернового характеризувалася мінливістю за роками, зумовленою передусім погодними умовами, зокрема кількістю опадів (табл. 1), середньомісячними температурами (табл. 2) та сумою активних температур за вегетаційний період (табл. 3).

Таблиця 1

Метеорологічні показники середньомісячної кількості опадів (мм) за період досліджень та середні багаторічні показники (1991–2020 рр.) за даними спостережень метеостанції Синельникове

Місяці	2022 р.	2023 р.	2024 р.	Середні багаторічні показники
Квітень	84	89	7	41
Травень	22	36	4	51
Червень	23	31	17	69
Липень	21	107	3	48
Серпень	124	39	1	41
Вересень	52	23	8	39
Разом період	326	325	40	289

Згідно із зафіксованими даними, 2022 та 2023 роки були більш вологозабезпеченими порівняно із середніми багаторічними показниками, переважаючи їх на 12,4–12,8 %. Проте за гідротермічним коефіцієнтом вони вважалися середньо- та сильнопосушливими. Однак велика кількість опадів у серпні 2022 року та липні 2023-го сприяла розвитку рослин і формуванню структурно-морфологічних показників під час проходження фенологічних фаз від викидання волоті до молочно-воскової стиглості. При цьому сума активних температур у 2022 році співпадала із середньою багаторічною, а показник 2023 року перевищував її на 13,9 %. Фактична сума ефективних температур 2022 року була меншою за середню багаторічну на 4,7 %, а 2023-го – більшою на 6,8 %.

Таблиця 2

Метеорологічні показники середньомісячної температури повітря (°C) за період досліджень та середні багаторічні показники (1991–2020 рр.) за даними спостережень метеостанції Синельникове

Місяці	2022 р.	2023 р.	2024 р.	Середні багаторічні показники
Квітень	9,9	10,1	15,1	10,0
Травень	14,4	15,4	15,8	16,3
Червень	21,4	19,6	23,2	20,2
Липень	21,3	22,2	25,7	22,3
Серпень	23,9	23,5	24,8	21,7
Вересень	14,5	18,7	19,4	16,0
Разом період	10,0	10,8	12,1	9,3

Натомість 2024 рік характеризувався відсутністю продуктивних опадів, які є лімітуючим фактором при формуванні продуктивності сільськогосподарських культур у зоні Степу України. Сума опадів за весняно-літній період становила 40 мм, що становило 13,8 % від середніх багаторічних показників.

Водночас 2024 рік виявився найбільш теплозабезпеченим, перевищуючи середній багаторічний показник на 17,9 % за сумою активних та на 14,5 % за сумою ефективних температур.

Таблиця 3

Середні багаторічні (1991–2020 рр.) та фактичні суми активних і ефективних температур повітря (°C) понад 10 °C за даними спостережень метеостанції Синельникове

Показники	2022 р.	2023 р.	2024 р.	Середня багаторічна $\Sigma t^{\circ}\text{C} > 10$
Фактична сума активних температур	3250	3702	3832	3250
Фактична сума ефективних температур	1451	1625	1742	1521

Ґрунти місця проведення дослідів – чорноземи звичайні з високим умістом гумусу. Ґрунтові запаси елементів живлення становили 260–270 кг/га мінерального азоту, 240–260 кг/га фосфору та 860–880 кг/га калію. Уміст гумусу за роки досліджень коливався в межах 4,48–4,55 %.

Агротехніка в досліді була загальноприйнята для зони Степу України, за винятком способу сівби (ширина міжряддя – 45 см) та досліджуваних елементів. Попередник – пшениця озима. У досліді вивчали гібриди сорго зернового французької селекції від компанії Lidea різних груп стиглості: ранньостиглий – ‘Албанус’, середньо-ранній – ‘Калатур’, ‘ЕС Фоен’ та ‘ЕС Муссон’, пізньостиглий – ‘ЕС Алізе’.

Ранньостиглий гібрид ‘Албанус’ (еквівалент ФАО кукурудзи 300–350) має вегетаційний період 92–100 діб. Висота рослин становить 115–116 см. Зерно білого кольору, маса 1000 зерен – 25,9–29,0 г. Уміст білка в зерні становить 12,6–13,0 %, крохмалю – 74,3–74,8 %.

Середньо-ранній гібрид ‘Калатур’ (еквівалент ФАО кукурудзи 400–450) має вегетаційний період 108–109 діб. Висота рослин становить 114–120 см. Зерно білого кольору, маса 1000 зерен – 25,4–29,5 г. Уміст білка в зерні становить 12,4–12,8 %, крохмалю – 74,0–74,8 %.

Середньо-ранній гібрид ‘ЕС Фоен’ (еквівалент ФАО кукурудзи 380–450) має вегетаційний період 108–111 діб. Висота рослин – у межах 107–120 см. Зерно червоного кольору, маса 1000 зерен – 24,7–30,0 г. Уміст білка в зерні становить 12,0–12,8 %, крохмалю – 73,8–74,3 %.

Середньо-ранній гібрид ‘ЕС Муссон’ (еквівалент ФАО кукурудзи 320–400) має вегетаційний період 103–108 діб. Висота рослин становить 105–114 см. Зерно білого кольору, маса 1000 зерен – 26,2–26,5 г. Уміст білка в зерні становить 11,4–12,8 %, крохмалю – 71,8–73,9 %.

Пізньостиглий гібрид ‘ЕС Алізе’ (еквівалент ФАО кукурудзи 400–480) має вегетаційний період 117–120 діб. Висота рослин становить 107–120 см. Зерно червоного кольору, маса 1000 зерен – 26,9–28,4 г. Уміст білка в зерні становить 10,2–11,6 %, крохмалю – 74,6–76,4 %.

Другим досліджуваним фактором була густина рослин, яка становила 170, 200 та 230 тис. шт./га.

Третім досліджуваним фактором було двократне застосування регулятора росту рослин Аппетайзер, який стимулює фізіологічні процеси та поліпшує живлення рослин у стресових умовах. Препаративна форма – водний розчин (ВР). Діюча речовина – екстракт морських водоростей (GA-142) – 952 г/л, солі цинку (1 %) та марганцю (1 %).

Перше внесення регулятора росту у варіантах досліді проводили у фазі 4–5 листків, друге – 7–8 листків з нормою витрати 0,5 л/га за витрати робочого розчину 150 л/га. Для

забезпечення якісного внесення препарату відповідно до рекомендацій виробника, використовували інжекторні двохфакельні форсунки IDKT 04 з розміром крапель 350–480 МОД μm . Обробляли посіви у вечірній час за температури повітря в межах +15–20 °С, відносної вологості повітря 20–30 % та швидкості вітру 3–4 м/с.

Загальна площа дослідної ділянки становила 8 га. Облікова площа ділянки варіанту – 600 м² (6 × 100 м. п.), а загальна – 673,2 м² (6,6 × 102 м. п.). Розміщення варіантів – систематичне у три яруси (30 варіантів). Повторність досліду чотириразова.

Урожай збирали прямим комбайнуванням за допомогою комбайна NewHolland CX 5040 з зерною жаткою, зважували у причепі на автомобільних підкладних вагах на чотири платформи з наступним перерахунком на стандартні вологість (14 %) і чистоту (100 %).

Статистичну обробку результатів досліджень проводили за методикою дисперсійного аналізу даних багатофакторних дослідів з використанням комп'ютерного програмного забезпечення Microsoft Excel.

Результати дослідження

У результаті проведення польових досліджень у 2022–2024 рр. було отримано дані щодо врожайності сорго зернового залежно від досліджуваних факторів. Отримані результати згруповано за густотою рослин за роками, а також усереднено за три роки для оцінювання продуктивності гібридів залежно від впливу регулятора росту.

Зокрема, за густоти рослин 170 тис. шт./га (рис. 1), відповідно до усереднених показників, найвищу врожайність продемонстрували середньоранній гібрид 'ЕС Муссон' (3,80 т/га), ранньостиглий 'Албанус' (3,79 т/га) та середньоранній 'ЕС Фоен' (3,57 т/га) за використання регулятора росту Аппетайзер. На контрольних варіантах найвищі показники сформували гібриди 'ЕС Муссон' та 'Албанус' – по 3,55 т/га зерна.

Приріст урожаю внаслідок застосування регулятора росту становив 6,6–8,2 %, що у натуральному вираженні відповідало 0,19–0,26 т/га.

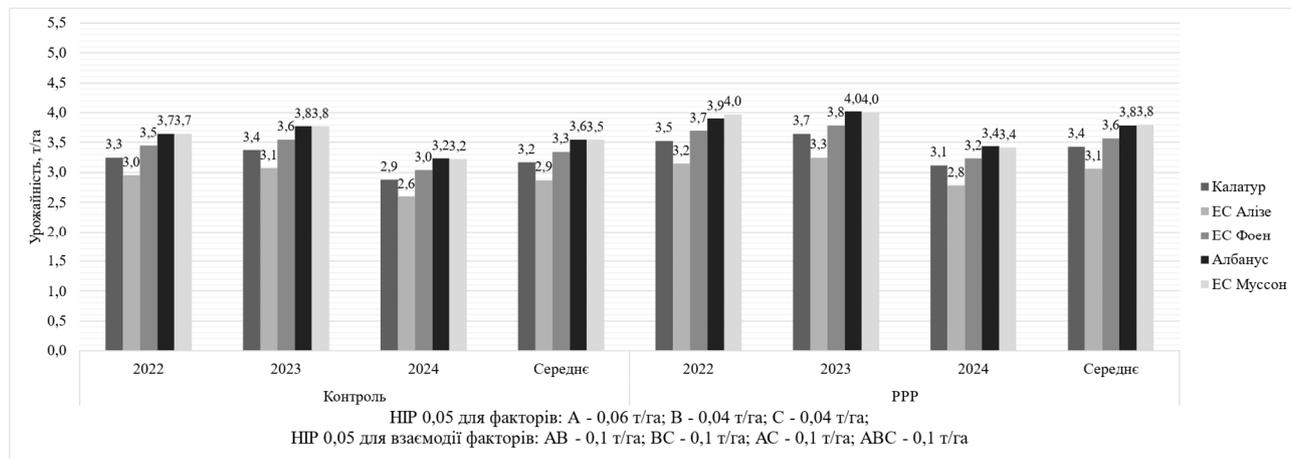


Рис. 1. Урожайність гібридів сорго зернового (т/га) протягом 2022–2024 рр. та середнє значення за густоти рослин 170 тис. шт./га

На основі отриманих даних щодо врожайності встановлено, що за густоти рослин 200 тис. шт./га спостерігалось найменше ценотичне навантаження. У цих умовах найвищу продуктивність серед досліджуваних варіантів забезпечили середньоранні гібриди: 'ЕС Фоен' – 4,87 т/га, 'Калатур' – 4,86 т/га та 'ЕС Муссон' – 4,82 т/га за умови застосування регулятора росту «Аппетайзер».

Приріст урожайності внаслідок використання регулятора росту порівняно з контролем становив 6,3–6,6 %. Урожайність контрольних варіантів відповідала 4,58 т/га ('ЕС Фоен'), 4,56 т/га ('Калатур') та 4,53 т/га ('ЕС Муссон'). Таким чином, зі збільшенням густоти рослин до 200 тис. шт./га відзначено зростання врожайності.

РОСЛИНИЦТВО

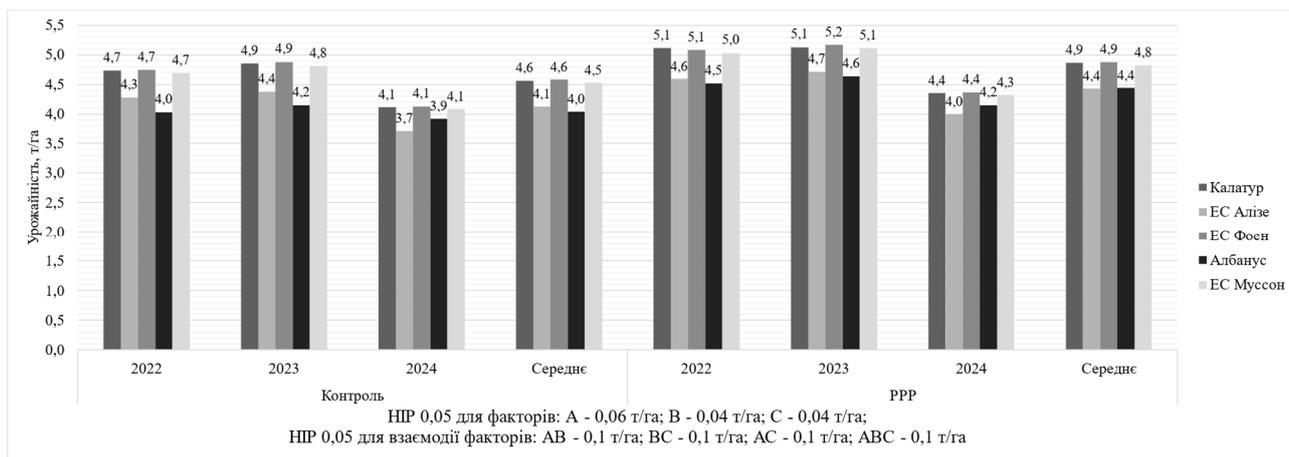


Рис. 2. Урожайність гібридів сорго зернового (т/га) протягом 2022–2024 рр. та середнє значення за густоти рослин 200 тис. шт./га

Однак подальше збільшення щільності агроценозу до 230 тис. шт./га призводило до зниження врожайності на 4–16 %, що відповідало 0,17–0,76 т/га натуральної різниці. Водночас контрольний варіант ранньостиглого гібрида ‘Албанус’ за густоти 230 тис. шт./га не продемонстрував зменшення врожайності порівняно з варіантом 200 тис. шт./га, що свідчить про його генетичну адаптивність до підвищеної щільності агроценозу та високу конкурентоспроможність.

За цієї густоти найбільшу врожайність (за усередненими значеннями за роками) забезпечили гібриди середньоранньої групи стиглості ‘ЕС Муссон’ – 4,38 т/га та ранньостиглий ‘Албанус’ – 4,27 т/га за умови застосування регулятора росту, що зумовило приріст на 0,17–0,29 т/га.

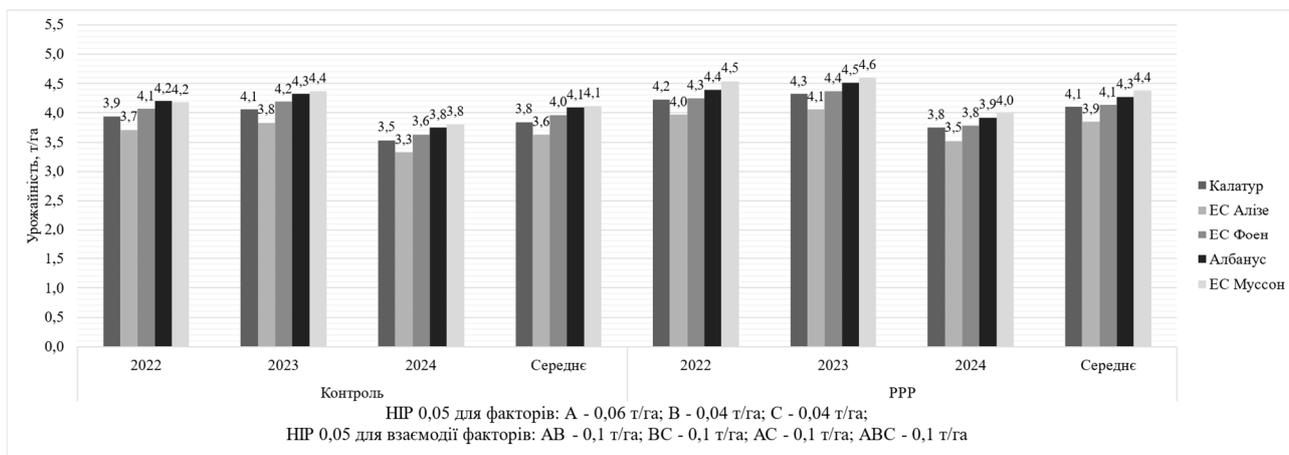


Рис. 3. Урожайність гібридів сорго зернового (т/га) протягом 2022–2024 рр. та середнє значення за густоти рослин 230 тис. шт./га

При цьому було визначено коефіцієнти суттєвості відхилень (K_c) кількості опадів і середньомісячних температур від середніх багаторічних показників (табл. 4). Аналіз отриманих даних свідчить, що погодні умови весняно-літнього періоду 2022, 2023 та 2024 років суттєво відрізнялися від кліматичної норми. Відтак, ці умови можуть розглядатися як супутній фактор впливу на продуктивність зернового сорго.

За результатами розрахунків встановлено, що за рівнем зволоження найвологішими були умови вегетаційного періоду 2023 року. Водночас загалом рік характеризувався кризовим дефіцитом вологи у червні ($K_c = -6,6$). Найбільший дефіцит вологи спостерігався у травні (K_c у межах від $-1,1$ до $-3,6$) та червні (K_c у межах від $-6,6$ до $-9,1$) досліджуваних років. Вищий рівень зволоження, порівняно із середніми багаторічними показниками, відзначено у квітні 2022 та 2023 рр.

Коефіцієнти суттєвості відхилень кількості опадів та середньомісячних температур за вегетаційний період 2022–2024 рр. від середніх багаторічних

Опади, мм				K _c		
Місяць	Середнє багаторічне	Середнє квадратичне відхилення	Середнє за місяцями	Рік		
				2022	2023	2024
Квітень	41	38	60	1,1	1,3	-0,9
Травень	51	13	21	-2,2	-1,1	-3,6
Червень	69	6	24	-8,0	-6,6	-9,1
Липень	48	45	44	-0,6	1,3	-1,0
Серпень	41	51	55	1,6	0,0	-0,8
Вересень	39	18	28	0,7	-0,9	-1,7
Температура, °C				K _c		
Місяць	Середнє багаторічне	Середнє квадратичне відхилення	Середнє за місяцями	Рік		
				2022	2023	2024
Квітень	10,0	2,4	11,7	0,0	0,0	2,1
Травень	16,3	0,6	15,2	-3,2	-1,5	-0,8
Червень	20,2	1,5	21,4	0,8	-0,4	2,0
Липень	22,3	1,9	23,1	-0,5	-0,1	1,8
Серпень	21,7	0,5	24,1	4,0	3,3	5,7
Вересень	16,3	2,2	17,5	-0,8	1,1	1,4

Примітка. Рівень коефіцієнтів суттєвості відхилень відповідає градації: K_c = 0–1 – умови, близькі до звичайних; K_c = 1–2 – умови, що сильно відрізняються від середніх багаторічних; K_c > 2 – умови, наближені до рідкісних.

У процесі дисперсійного аналізу отриманих даних було розраховано частку впливу окремих факторів і їхньої взаємодії (рис. 4).

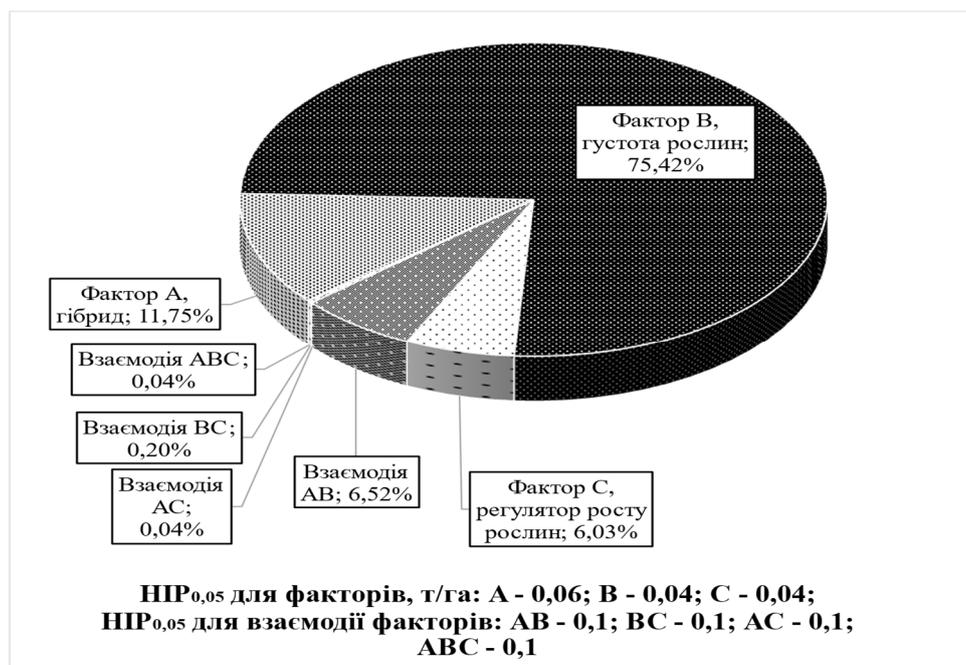


Рис. 4. Вплив досліджуваних факторів та їх взаємодія на врожайність сорго зернового за результатами дисперсійного аналізу (середнє за 2022–2024 рр.), % у факторної суми квадратів

Вищенаведені розрахунки свідчать про те, що серед досліджуваних факторів вирішальний вплив на продуктивність сорго зернового мала густина рослин – 75,42 %. Друге місце за значущістю посіла група стиглості гібридів – 11,75 %, третє – застосування регулятора росту рослин – 6,52 %. Важливою виявилася також взаємодія оптимальної густоти рослин із групою стиглості гібридів, частка впливу якої становила 6,52 %.

Висновки

Результати польових досліджень засвідчили істотний вплив досліджуваних елементів технології вирощування сорго зернового на рівень його продуктивності. Водночас істотну роль відігравали й погодні умови років дослідження. Найвищу врожайність упродовж дослідного періоду сформували середньоранні гібриди: 'ЕС Фоен' – 5,17 т/га, 'Калатур' – 5,13 т/га та 'ЕС Муссон' – 5,11 т/га за густоти рослин 200 тис. шт./га із застосуванням регулятора росту Аппетайзер. На структуру врожаю істотно впливали генетичні особливості гібридів, що підкреслює важливість ретельного добору гібридного складу сорго зернового відповідно до екологічних умов зони вирощування.

Аналіз даних урожайності дає змогу зробити висновок, що збільшення густоти рослин від 170 до 200 тис. шт./га є ефективним агротехнічним прийомом для підвищення продуктивності сорго зернового. Натомість загушення посівів до 230 тис. шт./га призводить до пригнічення рослин і зниження врожайності. Регулятор росту Аппетайзер можна вважати сучасним адаптивним елементом технології вирощування, який забезпечує приріст урожайності в межах 0,17–0,41 т/га, демонструючи економічну та технологічну ефективність.

Використана література

1. Кващук О. В., Сучек М. М., Хоміна В. Я., Пастух О. Д. Круп'яні культури. Кам'янець-Подільський : Медобори-2006, 2013. 288 с.
2. Жатова Г., Коваленко М. Біологічні особливості культури сорго. *Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія : Агронія і біологія*. 2020. Вип. 40, № 2. С. 14–22. doi: 10.32782/agrobio.2020.2.2
3. Yakhin O. I., Lubyaynov A. A., Yakhin I. A., Brown P. H. Biostimulants in Plant Science: A Global Perspective. *Frontiers in Plant Science*. 2017. Vol. 7. Article number 2049. doi: 10.3389/fpls.2016.02049
4. Філіпова Л. Огляд українського ринку препаратів рістстимулювальної дії. *Theoretical and practical aspects of modern scientific research* : Collection of scientific papers «ЛОГОΣ» with Proceedings of the II International Scientific and Practical Conference (Seoul, April 28, 2023). Seoul, 2023. P. 101–106. doi: 10.36074/logos-28.04.2023.32
5. De Saeger J., Van Praet S., Vereecke D. et al. Toward the molecular understanding of the action mechanism of *Ascophyllum nodosum* extracts on plants. *Journal of Applied Phycology*. 2020. Vol. 32. P. 573–597. doi: 10.1007/s10811-019-01903-9
6. Каражбей Г. М. Стан і перспективи сорго зернового в Україні. *Селекція і насінництво*. 2012. № 101. С. 150–155. doi: 10.30835/2413-7510.2012.59749
7. Слюсар С. М. Особливості росту та розвитку сорго в Правобережному Лісостепу. *Землеробство*. 2017. Вип. 2. С. 63–67.
8. Правдива Л. А., Яланський О. В. Продуктивність та елементи структури врожайності різних сортів сорго звичайного двокольорового (*Sorghum bicolor* L.). *Новітні агротехнології*. 2022. Т. 10, № 3. doi: 10.47414/na.10.3.2022.270497
9. Abreha K. B., Enyew M., Carlsson A. S. et al. Sorghum in dryland: Morphological, physiological, and molecular responses of sorghum under drought stress. *Planta*. 2022. Vol. 255. Article number 20. doi: 10.1007/s00425-021-03799-7
10. Правдива Л. А., Доронін В. А., Ганженко О. М. Формування продуктивності сорго зернового та соризу залежно від строків сівби в умовах східної частини Лісостепу України. *Новітні агротехнології*. 2021. № 9. doi: 10.47414/na.9.2021.253364

11. Wojko M. Increasing the yield and grain quality of grain sorghum hybrids in the Southern Steppe zone of Ukraine. *Вісник аграрної науки*. 2024. Т. 102, № 8. С. 73–80. doi: 10.31073/agrovisnyk202408-08
12. Гирка А. Д., Алексеев Я. В. Сортова реакція рослин сорго зернового сорту Вінець на площу живлення в умовах Північного Степу України. *Аграрні інновації*. 2021. № 3. С. 21–25. doi: 10.32848/agrar.innov.2020.3.4
13. Гирка А. Д., Алексеев Я. В. Особливості росту і розвитку сорго зернового сорту Дніпровський 39 залежно від щільності агроценозу в умовах Північного Степу України. *Аграрні інновації*. 2021. № 4. С. 18–22. doi: 10.32848/agrar.innov.2020.4.3
14. Davydenko S., Rozhkov A., Karpuk L. et al. Elements of plant productivity and biological yield capacity of grain sorghum hybrids depending on the inter-row width and seed sowing rate. *Scientific Horizons*. 2022. Vol. 25, Iss. 6. P. 55–64. doi: 10.48077/scihor.25(6).2022.55-64

References

1. Kvashchuk, O. V., Suchek, M. M., Khomina, V. Ya., & Pastukh, O. D. (2013). *Cereal crops*. Kamianets-Podilskyi: Medobory-2006. [In Ukrainian]
2. Zhatova, H., & Kovalenko, M. (2020). Biological characteristics of sorghum crop. *Bulletin of Sumy National Agrarian University. Series: Agronomy and Biology*, 40(2), 14–22. doi: 10.32782/agrobio.2020.2.2
3. 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, Article number 2049. doi: 10.3389/fpls.2016.02049
4. Filipova, L. (2023). Overview of the Ukrainian market of plant growth-stimulating products. In *Theoretical and Practical Aspects of Modern Scientific Research: Collection of Scientific Papers “ΛΟΓΟΣ” with Proceedings of the II International Scientific and Practical Conference* (pp. 101–106). Seoul. doi: 10.36074/logos-28.04.2023.32
5. De Saeger, J., Van Praet, S., Vereecke, D., Park, J., Jacques, S., Han, T., & Depuydt, S. (2020). Toward the molecular understanding of the action mechanism of *Ascophyllum nodosum* extracts on plants. *Journal of Applied Phycology*, 32, 573–597. doi: 10.1007/s10811-019-01903-9
6. Karazhbei, H. M. (2012). Status and prospects of grain sorghum in Ukraine. *Breeding and Seed Production*, 101, 150–155. doi: 10.30835/2413-7510.2012.59749 [In Ukrainian]
7. Sliusar, S. M. (2017). Growth and development features of sorghum in the Right-Bank Forest-Steppe. *Agriculture*, 2, 63–67. [In Ukrainian]
8. Pravdyva, L. A., & Yalanskyi, O. V. (2022). Productivity and yield structure elements of different varieties of common two-colored sorghum (*Sorghum bicolor* L.). *Modern Agrotechnologies*, 10(3). doi: 10.47414/na.10.3.2022.270497 [In Ukrainian]
9. Abreha, K. B., Enyew, M., Carlsson, A. S., Vetukuri, R. R., Feyissa, T., Motlhaodi, T., Ng'uni, D., & Geleta, M. (2022). Sorghum in dryland: Morphological, physiological, and molecular responses of sorghum under drought stress. *Planta*, 255(1), Article number 20. doi: 10.1007/s00425-021-03799-7
10. Pravdyva, L. A., Doronin, V. A., & Hanzhenko, O. M. (2021). Formation of Sorghum vulgare and Sorghum orysooidum productivity as affected by sowing dates in the conditions of the eastern part of the Forest-Steppe of Ukraine. *Advanced Agritechnologies*, 9. doi: 10.47414/na.9.2021.253364 [In Ukrainian]
11. Boiko, M. (2024). Increasing the yield and grain quality of grain sorghum hybrids in the Southern Steppe zone of Ukraine. *Bulletin of Agricultural Science*, 8, 73–80. doi: 10.31073/agrovisnyk202408-08 [In Ukrainian]
12. Hyrka, A. D., & Alekseev, Ya. V. (2021). Varietal reaction of grain sorghum plants variety Vinets' to the nutrition area in the conditions of the Northern Steppe of Ukraine. *Agrarian Innovations*, 3, 21–25. doi: 10.32848/agrar.innov.2020.3.4 [In Ukrainian]
13. Hyrka, A. D., & Alekseev, Ya. V. (2021). Peculiarities of growth and development of grain sorghum variety Dniprov's'kyi 39 depending on the density of agroecosis in the conditions of

the Northern Steppe of Ukraine. *Agrarian Innovations*, 4, 18–22. doi: 10.32848/agrar.innov.2020.4.3 [In Ukrainian]

14. Davydenko, S., Rozhkov, A., Karpuk, L., Popov, S., & Mykhailyn, V. (2022). Elements of plant productivity and biological yield capacity of grain sorghum hybrids depending on the inter-row width and seed sowing rate. *Scientific Horizons*, 25(6), 55–64. doi: 10.48077/scihor.25(6).2022.55-64

UDC 631.527.5.048:631.811.98:633.17(477.7)

Sukhina, D. V.*, & **Novytska, N. V.** (2024). Productivity of Sorghum bicolor as affected by agronomical practices in the Northern Steppe of Ukraine. *Scientific Papers of the Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet*, 32, 104–113. <https://doi.org/10.47414/np.32.2024.327514> [In Ukrainian]

*National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, 15 Heroiv Oborony St., Kyiv, 03041, Ukraine, *e-mail: sukhina.denis@gmail.com*

Purpose. To determine the impact of the factors of hybrid, plant density, and growth regulator application on the productivity of *Sorghum bicolor* in the steppe zone of Ukraine. **Methods.** The study was conducted under the conditions of insufficient moisture in the Northern Steppe of Ukraine from 2022 to 2024. The research methods included: Field observations to monitor phenological stages and assess the impact of studied factors on grain sorghum yield. Tabular method for data systematization, arrangement, and presentation. Graphical method for visualizing research results. The scientific program aimed to study the influence of technological elements on phenological, biometric, structural-morphological indicators, and grain sorghum yield. To achieve the objective, a three-factor experiment was designed: hybrid (different maturity groups of grain sorghum hybrids – ‘Kalatur’, ‘ES Alize’, ‘ES Foehn’, ‘Albanus’, and ‘ES Musson’; plant density (170, 200, and 230 thousand plants per hectare); growth regulator (growth regulator ‘Appetizer’ applied at the 4–5 and 7–8 leaf stages at a rate of 0.5 l/ha with a working solution of 150 l/ha). **Results.** Over the study years, the highest grain yield was achieved by the medium-early hybrids: ‘ES Foen’ (5.17 t/ha), ‘Kalatur’ (5.13 t/ha), and ‘ES Musson’ (5.11 t/ha) at a plant density of 200 thousand per hectare with ‘Appetizer’ growth regulator application. At 170 thousand plants per hectare, the highest productivity was observed in the early-maturing hybrid ‘Albanus’ (4.02 t/ha) and the medium-early hybrids ‘ES Musson’ (4.01 t/ha) and ‘ES Foen’ (3.79 t/ha). At 230 thousand plants per hectare, high yields were recorded for ‘ES Musson’ (4.60 t/ha), ‘Albanus’ (4.51 t/ha), and ‘ES Foen’ (4.37 t/ha). **Conclusions.** The study confirmed the significant role of plant density and growth regulator application in optimizing the productive potential of grain sorghum hybrids. Increasing plant density from 170 to 200 thousand plants per hectare ensured high yields ranging between 4.43 and 4.87 t/ha (on average across study years) for hybrids ‘Kalatur’, ‘ES Alize’, ‘ES Foehn’, ‘Albanus’, and ‘ES Musson’. However, further increasing density to 230 thousand plants per hectare led to plant suppression and yield reduction by 4–16%. The ‘Appetizer’ growth regulator proved to be a modern adaptive cultivation technology element, increasing yield by 0.17–0.41 t/ha, demonstrating both economic and technological efficiency. Proper regulation of plant density is crucial, as excessive density may result in competition for nutrients and moisture, reducing productivity. Therefore, combining optimal density with growth regulator application in cultivation technology significantly enhances grain sorghum yield in the steppe zone of Ukraine.

Keywords: yield; genetic potential realization; hybrid; plant density; plant growth regulator; cultivation technology; seaweed extract.

Надійшла / Received 18.11.2024

Погоджено до друку / Accepted 11.12.2024

**НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ АГРАРНИХ НАУК УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ БІОЕНЕРГЕТИЧНИХ КУЛЬТУР І ЦУКРОВИХ БУРЯКІВ**

НАУКОВЕ ВИДАННЯ

**НАУКОВІ ПРАЦІ
ІНСТИТУТУ БІОЕНЕРГЕТИЧНИХ КУЛЬТУР
І ЦУКРОВИХ БУРЯКІВ**

**ЗБІРНИК НАУКОВИХ
ПРАЦЬ**

ВИПУСК 32

**За достовірність викладених у публікаціях фактів
відповідають автори**

Підписано до друку __. __.2024
Формат ____. Папір офсетний. Друк офсетний.
Умовн. друк. арк. __. Обл. - видавн. арк. __
Гарнітура Time New Roman. Наклад 50 прим. Зам. № __
Віддруковано з оригіналів замовника
ФОП Корзун Д. Ю.
Тел. (0432) 69-67-69