

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 31

КИЇВ – 2023

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, 2023. Вип. 31. 126 с. ISSN 2410-1281.

У збірнику висвітлено результати наукових досліджень, проведених ученими науково-дослідних та навчальних установ аграрного профілю України, з актуальних питань новітніх 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 № 22 від 18.12.2023)

*Збірник включено до Переліку наукових фахових видань України
наказ МОН України № 157 від 09.02.2021 (с.-г. науки)
Спеціальності: 201 – Агрономія, 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, 2023

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 31

KYIV – 2023

З М І С Т

СЕЛЕКЦІЯ ТА НАСІННИЦТВО

Орлов С. Д., Корнєєва М. О., Грицишина Л. Г. Джерела цінних ознак для селекції сортів і гібридів сільськогосподарських культур на Ялтушківській ДСС	6
Роїк М. В., Ковальчук Н. С., Федороцук Л. Г. Поліплоїдія в історії селекції Ялтушківської дослідно-селекційної станції: нові методи диференціації і стабілізації тетраплоїдів цукрових буряків	18

РОСЛИННИЦТВО

Володін С. А., Роїк М. В. Стартап національного проєкту «Українська картопля»	28
Карпук Л. М., Титаренко В. А. Уміст сухої речовини та хлорофілів у рослинах павловнії різних років вегетації в умовах Правобережного Лісостепу України	38
Присяжнюк О. І., Шульга С. С., Кононюк Н. О., Завгородній В. М., Половинчук О. Ю., Голіченко Н. Б., Музика О. В., Шевченко О. П., Навроцька Е. Е. Ефективність вирощування буряків цукрових в умовах Степу України	47
Романов С. М., Сторожик Л. І. Продуктивність гороху озимого залежно від азотного удобрення та біологічних препаратів в умовах Степу України	59
Іваніна В. В., Гурська В. М. Формування поживного режиму чорнозему вилугуваного в агроценозі буряків цукрових залежно від удобрення	69
Дрига В. В., Доронін В. А., Кравченко Ю. А., Доронін В. В., Бойко А. І. Насіннєва продуктивність проса прутіподібного залежно від сортових особливостей ...	76
Кукурудза О. Є., Ременюк С. О. Ріст та продуктивність гороху озимого за різних варіантів захисту від бур'янів в умовах Правобережного Лісостепу України	85
Лемешик А. В., Новицька Н. В. Формування фотосинтетичних показників сортів сої залежно від площі живлення в Правобережному Лісостепу України	97
Присяжнюк О. І., Мусіч В. В., Костина Т. П., Кононюк Н. О., Черняк М. О., Гончарук О. М., Качура Є. В. Формування врожайності та якості проса прутіподібного за багаторічного його вирощування на малопродуктивних ґрунтах Правобережного Лісостепу України	110

CONTENTS

PLANT BREEDING AND SEED PRODUCTION

<i>Orlov S. D., Kornieieva M. O., Hrytsyshyna L. H.</i> Sources of valuable traits for the selection of varieties and hybrids of agricultural crops on the Yaltushkiv EBS	6
<i>Roik M. V., Kovalchuk N. S., Fedoroshchak L. H.</i> Polyploidy in the history of breeding at the Yaltushkiv Experimental Breeding Station: new methods of differentiation and stabilisation of sugar beet tetraploids	18

CROP PRODUCTION

<i>Volodin S. A., Roik M. V.</i> Startup of the national project “Ukrainian Potato”	28
<i>Karpuk L. M., Titarenko V. A.</i> The content of dry matter and chlorophylls in paulownia plants of different ages in the Right Bank Forest Steppe of Ukraine	38
<i>Prysiazhniuk O. I., Shulha S. S., Kononiuk N. O., Zavorodnii V. M., Polovynchuk O. Yu., Holichenko N. B., Muzyka O. V., Shevchenko O. P., Navrotska E. E.</i> Efficiency of sugar beet cultivation in the Steppe of Ukraine	47
<i>Romanov S. M., Storozhyk L. I.</i> Productivity of winter pea under the application of nitrogen fertilization and biological preparations in the Steppe of Ukraine	59
<i>Ivanina V. V., Gurska V. M.</i> Formation of the nutritional regime of leached chernozem in the sugar beet agrocenosis depending on fertilization	69
<i>Dryha V. V., Doronin V. A., Kravchenko Yu. A., Doronin V. V., Boiko A. I.</i> Seed productivity of switchgrass depending on varietal characteristics	76
<i>Kukuruza O. Ye., Remeniuk S. O.</i> Growth and productivity of winter pea under different weed control practices in the Right Bank Forest Steppe of Ukraine	85
<i>Lemeshyk A. V., Novytska N. V.</i> The formation of photosynthetic indicators of soybean varieties depending on the nutrition area in the Right Bank Forest Steppe of Ukraine	97
<i>Prysiazhniuk O. I., Musich V. V., Kostyna T. P., Kononiuk N. O., Cherniak M. O., Honcharuk O. M., Kachura Ye. V.</i> Yield and quality of switchgrass in a long-term experiment on low-productive soils in the Right Bank Forest Steppe of Ukraine	110

СЕЛЕКЦІЯ ТА НАСІННИЦТВО

УДК 633.41:620.925 (477)

DOI: <https://doi.org/10.47414/np.31.2023.292378>

Джерела цінних ознак для селекції сортів і гібридів сільськогосподарських культур на Ялтушківській ДСС

С. Д. Орлов^{1*}, М. О. Корнєєва¹, Л. Г. Грицишина²

¹Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН України, вул. Клінічна, 25, м. Київ, 03110, Україна, *e-mail: orlov.stanislav48@gmail.com

²Ялтушківська дослідно-селекційна станція Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН України, с. Черешневе, Барський р-н, Вінницька обл., 23021, Україна

Мета. Виділити джерела господарськоцінних ознак для селекційного процесу технічних, зернових та біоенергетичних культур на Ялтушківській ДСС Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН. **Методи.** Гібридизація, добір, польові випробування, аналітичний, математично-статистичний. **Результати.** На Ялтушківській ДСС зосереджено кращі вихідні матеріали буряків іноземної та вітчизняної селекції, які є матеріалом для виділення джерел та донорів цінних ознак. Кращі гібридні комбінації, створені на основі ялтушківських матеріалів, оцінені в сортовипробуванні за програмою «Бетакрос», достовірно перевищували груповий стандарт: за урожайністю (103,6–114,9 %), цукристістю (96,4–105,7 %), збором цукру (110,1–110,8 %). Створено високопродуктивний зразок гречки 'Юліана' з урожайністю 2,2 т/га, вмістом білка 15,0 %, який передано на державне сортовипробування. Дібрано кращі високопродуктивні енергетично цінні зразки проса прутноподібного для вирощування у зонах недостатнього і нестійкого зволоження, що забезпечують урожайність сухої біомаси на рівні 7,5–16,2 т/га, вихід твердого біопалива – 8,2–17,2 т/га, енергії – 112,5–243 ГДж/га. Виділено генотипи із роду Міскантус, які поєднують ознаки толерантності до осмотичного та сольового стресів і високий вихід енергії. **Висновки.** Виділені джерела селекційно значущих ознак стали основою для створення сортів і гібридів сільськогосподарських культур (буряків цукрових 'Барський', 'Черешневий', 'Рутенія 11', 'Рутенія 12', 'Рутенія 13' та ін., гречки 'Юліана', проса прутноподібного 'Морозко' і 'Лядовське' та зразків міскантусу, стійких до абіотичних чинників довкілля). Селекційні зразки та вихідні лінії цих культур передано до Національного центру генетичних ресурсів рослин України.

Ключові слова: сорт; гібрид; вихідні матеріали; методи; буряк цукровий; біоенергетичні культури.

Вступ

Ялтушківська дослідно-селекційна станція (ЯДСС) у 2023 році святкує своє славне 125-річчя з дня заснування. Вона є невід'ємною складовою мережі Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН (ІБКіЦБ), яка впродовж усієї історії з моменту свого створення була одним із флагманів селекції цукрових буряків, а останніми десятиріччями – і інших сільськогосподарських культур – зернових, круп'яних, біоенергетичних [1, 2].

На Ялтушківській ДСС ще у 30-ті роки минулого століття були зосереджені кращі на той час вихідні матеріали буряків як іноземної селекції (це фірми Вільморен,

Кляйнванцлебен та ін.), так і вітчизняної (іванівського, немерчанського, рамонського, уладівського походження). Це дало змогу працювати з генплазмами різного еколого-генетичного походження, що надалі відобразилося на адаптивності до широкого спектру ґрунтово-кліматичних зон кращих сортів і гібридів, оригінатором яких була ЯДСС [3, 4].

Великим як теоретичним, так і практичним здобутком цього закладу стали селекційні матеріали, які характеризувалися однонасінністю. Перспективність цієї форми буряків цукрових для технології вирощування культури була належним чином оцінена відомими селекціонерами, які працювали на цій станції – Л. І. Федоровичем, Г. С. Моканом, а згодом і О. В. Поповим. Фактично з 1946 року Ялтушківський пункт було переведено на селекційно-дослідницьку роботу лише з однонасінною формою цукрових буряків. Селекціонери станції, володіючи розумінням спадкової природи цієї ознаки, використовуючи прогресивний на той час метод індивідуально-родинного добору, створили низку селекційних номерів і рекомбінантних форм, які стали основою багатьох однонасінних сортів цукрових буряків. Результатом селекційної роботи були сорти 'Ялтушківський однонасінний 30', 'Ялтушківський однонасінний 64' та ін. [4]. Впровадження однонасінних сортів гарантувало вилучення з технологічного процесу вирощування цукрових буряків такого трудомісткого процесу як формування густоти рослин [5].

Проте продуктивність перших однонасінних гібридів ще не повністю відповідала кращим світовим зразкам. Для її підвищення проводили схрещування однонасінних тетраплоїдних форм (материнський компонент) з багатонасінними (батьківський компонент), що дозволило створити однонасінні сорти та широко використовувати у виробництві. Отже, світовий пріоритет однонасінних буряків належить вітчизняній селекції, і в цьому велика заслуга вчених О. К. Коломієць, О. В. Попова, Г. С. Мокана, М. Г. Бордонос, І. Ф. Бузанова, В. П. Зосимовича.

Прогрес у селекції цукрових буряків пов'язаний з селекцією на гетерозис [6, 7]. Тому внаслідок міжсорткової гібридизації сорту 'Ялтушківський однонасінний' і сорту-стандарту 'Рамонський 06' було створено продуктивний на той час Ялтушківський гібрид на фертильній основі. Однак генетична структура таких гібридів не дозволяла формувати їх зі 100%-ю гібридністю через внутрішньоконпонентне (всередині сортів) перезапилення. Пізніше, починаючи з 80-х рр. минулого століття, з використанням явища цитоплазматичної чоловічої стерильності, цю проблему було усунуто. Однак це потребувало створення як материнського компоненту (ЦЧС лінії і закріплювачі стерильності), так і інбредних ліній-запилувачів. На ЯДСС було створено колекцію таких ліній (селекціонер М. В. Роїк), які послуговували компонентами однонасінних гібридів на стерильній основі.

Відомими такими гібридами, що тривалий час використовувалися у вітчизняних посівах буряків цукрових були 'Ювілейний', 'Білоцерківський ЧС 57', 'Іванівський ЧС 33' та інші.

Як відомо, буряк цукровий при формуванні світових ресурсів цукру не є основним джерелом. Якщо брати цукрову сировину – цукровий буряк і цукрову тростину, то в світі 70–75 % припадає саме на цукрову тростину, яку вирощують в умовах тропіків і яка має врожайність 60,0–70,0 т/га. Із цієї позиції виробництво цукру буде ефективним, якщо урожай цукрових буряків буде на рівні 60,0 т/га. Сучасні гібриди, які вводяться в Державний реєстр сортів рослин, придатних для поширення в Україні, володіють саме таким потенціалом.

Уже в період 2006–2012 рр. була досягнута така висока продуктивність сучасних гібридів, створених у тому числі і селекціонерами ЯДСС, кращі з них перевищували груповий стандарт на 9,0–11,0 т/га (рис. 1, 2).

У цей період до Державного реєстру було внесено 13 гібридів селекції ІБКіЦБ. За результатами Державного сортопробування до Реєстру занесено гібриди буряків цукрових на стерильній основі цукристого напрямку (19 %) 'Рутенія 11', 'Рутенія 12' і 'Рутенія 13', які за роки випробування (2020–2022 рр.) виявилися найпродуктивнішими з усіх зарубіжних і вітчизняних гібридів, що вивчались. Всього у Реєстрі на 2022 р. знаходиться 72 гібриди селекції ІБКіЦБ.

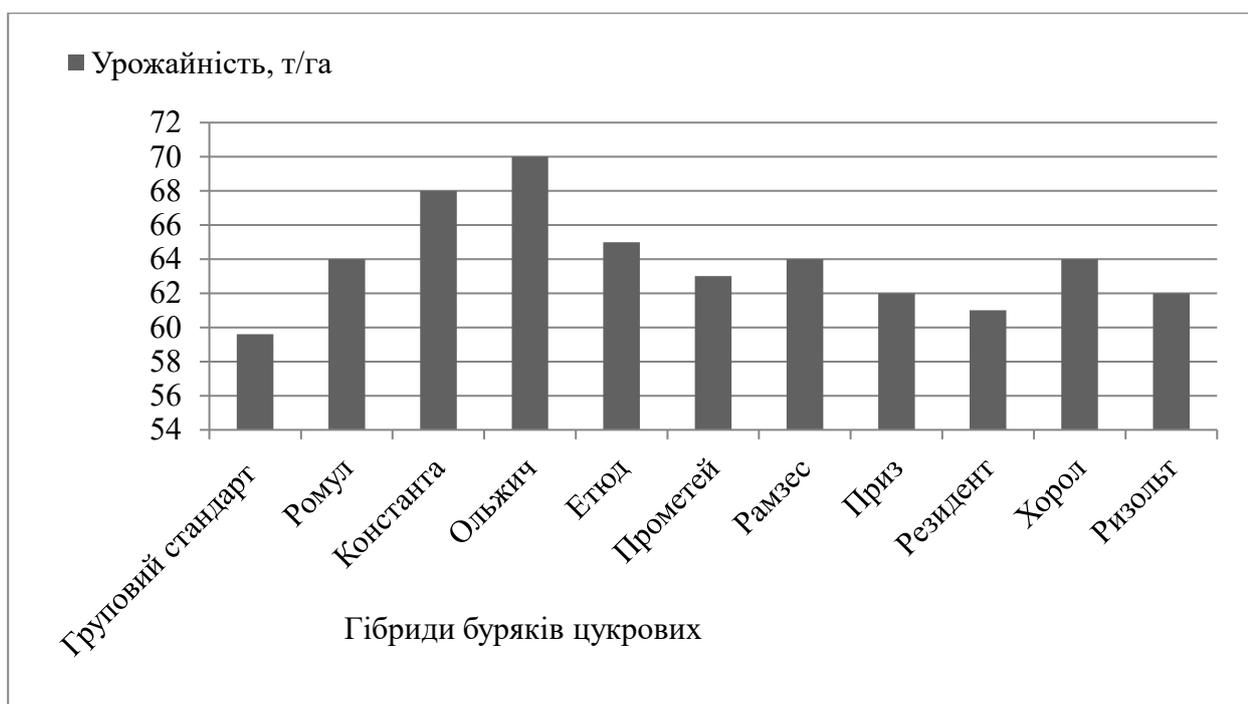
НІР_{0,05} = 0,78 т/га

Рис. 1. Урожайність ЦЧС гібридів буряків цукрових (2006–2012 рр.)

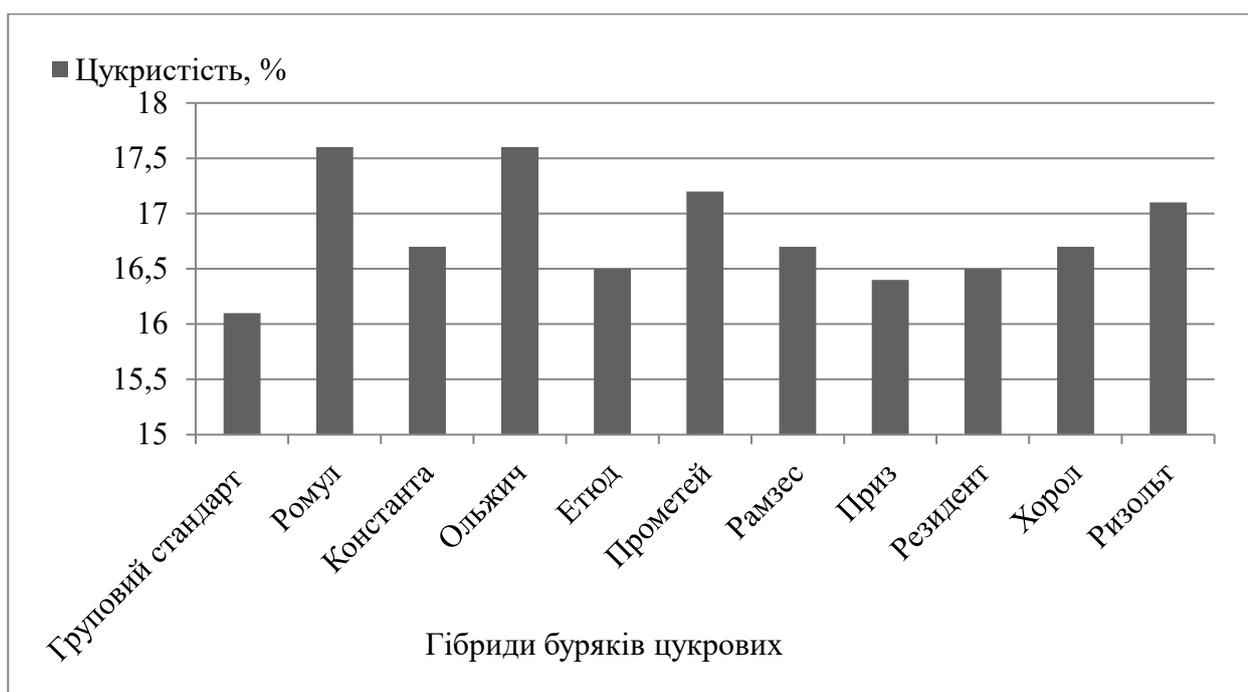
НІР_{0,05} = 0,23%

Рис. 2. Цукристість ЦЧС гібридів буряків цукрових (2006–2012 рр.)

Мета дослідження – виділити джерела господарсько-цінних ознак для селекційного процесу технічних, зернових та біоенергетичних культур на Ялтушківській ДСС Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН.

Матеріали та методика досліджень

Досліджували селекційні зразки буряків цукрових, кормових, ячменю пивоварного, генотипів гречки, проса прутюподібного, міскантусу та ін. Використовували селекційно-генетичні методи та їх комбінування (рекомбігенез, різні типи доборів, рекурентна селекція, біотехнологічні методи), гібридизація у польових умовах. Вирощування

сільськогосподарських культур, оцінювання їх продуктивності та ідентифікації кращих генотипів здійснювали, використовуючи методику селекційного експерименту (в рослинництві), методики проведення досліджень у буряківництві, оцінку та отримання нових форм міскантусу, толерантних до абіотичних стресових факторів в умовах *in vitro* [8–10] та ін. Результати польових випробувань обробляли математико-статистичним методом.

Результати досліджень

Селекційним успіхам сприяє те, що лінії – компоненти гібридів, які перманентно створюються в селекційному процесі на ЯДСС, постійно оцінюються за методами ідентифікації генетичної цінності: комбінаційною здатністю, однонасінністю, стійкістю до хвороб. Кращі із них щороку передавали для сортовипробування до програми «Бетакрос» для формування кінцевих (комерційних) гібридів. У комплексній програмі «Бетакрос» конструюються гібриди нового покоління, що володіють не лише високою продуктивністю, але і високою адаптивною здатністю. Щорічно близько десяти таких селекційних номерів надходять як складові ідентичних наборів материнських форм для схрещування з багатонасінними запилювачами селекції інших станцій мережі ІБКіЦБ, і часто мають переваги за багатьма ознаками (однонасінністю, стерильністю, комбінаційною здатністю, стійкістю до хвороб і шкідників). Тому гібриди, створені на основі ялтушківських матеріалів, значно перевищують груповий стандарт, до складу якого входять кращі зарубіжні і вітчизняні гібриди. За підсумками тринадцяти циклів програми «Бетакрос», виділено 295 кращих гібридів, які рекомендовано для передачі до Державного сортовипробування, в тому числі 90 гібридів (30,5 % від усієї кількості), що створені за участю станції. Найвищий ефект гетерозису забезпечували при гібридизації ЦЧС ліній ялтушківської селекції, стійких до гнилей коренеплодів, з запилювачами Білоцерківської, Верхняцької, Веселоподільської дослідно-селекційних станцій та філіалу ІБКіЦБ. Ураженість комплексом збудників гнилей коренеплодів на інфекційному фоні в кращих гібридах становила 76,7–86,9 %. Кращі гібриди перевищували груповий стандарт за урожайністю коренеплодів на 5,8–12,7 %, цукристістю – до 0,9–4,6 %, збором цукру – 7,4–15,1 % і виходом цукру – 7,2–16,0 % [11–13].

Продуктивність новостворених у 2015–2018 рр. ЦЧС гібридів буряків цукрових вітчизняної селекції, особливо їх новітнє покоління, мало ще більш високі показники врожайності, яка стабільно «тримається» на рівні 60,0 т/га при зборі цукру понад 10,0 т/га ($НІР_{0,05} = 0,55$ т/га). Такими гібридами є 'Кіборг', 'Айдар', 'Герой', 'Козак' і 'Джура', у створенні яких брали участь як селекціонери, так і методичні напрацювання з оцінки і добору компонентів, розроблених на ЯДСС. Ці гібриди найкраще проявили себе в зоні Степу, що свідчить про необхідність врахування генотип-середовищних взаємодій [14] (рис. 3).

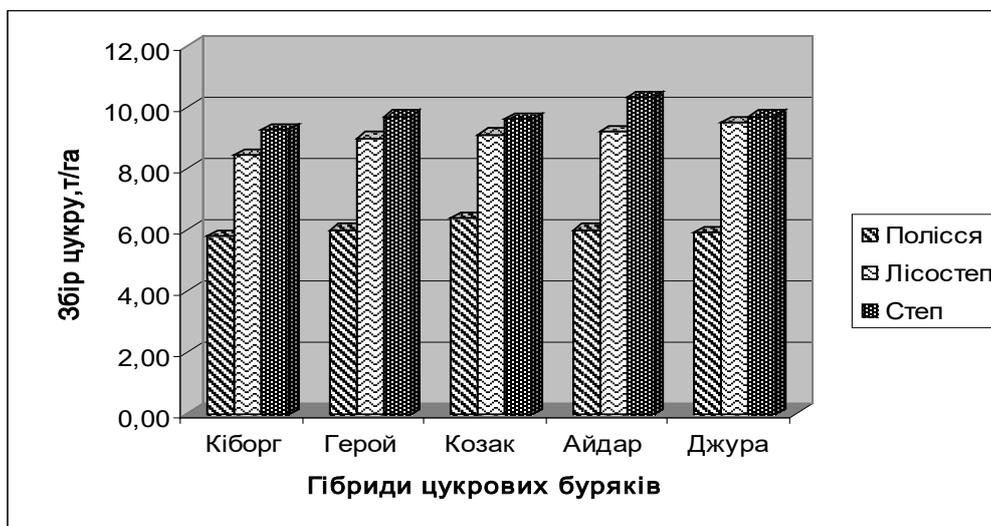


Рис. 3. Збір цукру гібридів буряків цукрових нового покоління залежно від зон бурякосіяння (2015–2018 рр.)

До успіхів ЯДСС у створенні гібридів буряків цукрових за використання явища ЦЧС і гетерозису можна віднести сучасні гібриди, які внесено до Реєстру сортів рослин України. Це – гібриди ‘Ялтушківський ЧС 72’, ‘Білоцерківський ЧС 57’, ‘Ворскла’, ‘Максим’, ‘Анічка’, ‘Ромул’, ‘Яхіл’, ‘Смарагд’, ‘Етюд’, ‘Ольжич’, ‘Явір’, ‘Шевченківський’, ‘Гарант’, стійкий до ризоманії вітчизняний гібрид ‘Ризольт’, ‘КВ-Дніпро’, ‘КВ-Десна’, ‘КВ-Ялтушків’, ‘КВ-Збруч’, ‘КВ-Бар’, ‘КВ-Вінниця’, ‘КВ-Буг’ та ін. Щороку така тенденція зберігається. У таблиці 1 наведено список кращих за показниками збору цукру та виходу цукру з гектара рекомендованих гібридів буряків цукрових, що випробовувалися в циклах програми Бетакрос за 2021–2022 рр. (табл. 1).

Таблиця 1

Продуктивність кращих гібридів буряків цукрових, оцінених за програмою «БЕТАКРОС» на дослідно-селекційних станціях ІБКіЦБ (2021 р.)

ЦЧС компонент		Запилювач			Однонасі́нність, %	Стерильність, %	Шифр гібрида 2020	Густина стояння, тис./га	Показники у % від стандарту			
шифр 2018	оригі-натор	шифр 2019	оригі-натор	позна-чення					урожай корене-плодів	вміст цукру	збір цукру	вихід цукру
1842	ul	1913	Ял	БКМ Я/Макс	96	100	СЦ 200616	70	112,0	99,3	111,5	103,4
1805	bc	1913	Ял	БКМ Я/Макс	95	94	СЦ 200412	60	112,1	99,1	111,9	115,2
1828	um	1913	Ял	БКМ Я/Макс	94	98	СЦ 201112	63	115,0	96,0	111,0	107,1
1819	iv	1913	Ял	БКМ Я/Макс	98	99	СЦ 200630	64	105,0	102,0	107,8	103,3
НІР _{0,05}		–	–	–	–	–	–	–	1,2	0,3	–	–

Гібриди буряків цукрових, створені на основі ялтушківських матеріалів за одностійності 94–98 % за збором цукру достовірно перевищували стандарт на 7,8–11,9 % (табл. 1).

У 2022 р. до відтворення рекомендовано шість гібридів, де материнською формою слугували ЦЧС матеріали ЯДСС (табл. 2).

Продуктивність цих гібридів була високою: за урожайністю вона коливалася у межах 103,6–116,6 %, за цукристістю – 99,6–105,6 %, за збором цукру – 111,3–116,7 % до групового стандарту. Серед гібридів, рекомендованих до екологічного сортовипробування у 2023 р. у 8 гібридів материнськими компонентами були матеріали Ялтушківської ДСС (шість були створені за участю материнських компонентів станції, два – запилювачів станції).

За високої урожайності (103,6–114,9 %), цукристості (96,4–105,7 %) збір цукру перевищував груповий стандарт на 10,1–10,8 %. Ці гібриди є перспективними і з їх компонентами проводиться подальша селекційна робота, спрямована на їх вдосконалення.

У 2019 р. до Реєстру сортів рослин України внесено гібриди ‘Барський’ і ‘Черешневий’, які рекомендовані до вирощування у зоні Лісостепу і Полісся.

Необхідно зазначити, що науково-дослідні роботи на Ялтушківській ДСС диверсифіковано, оскільки на ній ведеться робота також із іншими культурами (гречка, імбир, міскантус, просо прутоподібне, верба енергетична, тополя), що є джерелом як вихідних форм, так і донорів селекційно значущих ознак для нових сортів.

Концептуальні положення насінництва групи зернових і зернобобових культур (пшениці, ячменю, вівса, проса, гороху, багаторічних трав та ін.) було закладено ще на початку минулого століття за застосування спочатку методів масового, а згодом більш прогресивного індивідуального добору, який враховував генетичну складову прояву ознаки у потомстві.

Показники збору цукру кращих гібридів цукрових буряків,
% від стандарту (2022 р.)

ЦЧС компонент		Запилювач			Шифр гібрида 2020	Показники у % від стандарту			
Шифр 2020	Оригі-натор	Шифр 2021	Оригі-натор	Позна-чення		урожай корене-плодів	вміст цукру	збір цукру	вихід цукру
2023	Ял 06	2101	БЦ	БцММ(4х)	СЦ 220124	116,6	99,7	116,6	116,6
2030	Ял 07	2102	БЦ	1010(4х)	СЦ 220418	112,9	102,0	114,4	116,7
2039	Ял 10	2110	Ял	Ял 21-255	СЦ 220113	113,0	99,6	113,1	113,7
2021	Ял 09	2106	ВП	ВП15427 4х	СЦ 220220	113,0	99,9	112,9	112,0
2038	Ял 08	2101	БЦ	БцММ(4х)	СЦ 220223	110,8	101,0	112,0	111,9
2023	Ял 06	2110	Ял	Ял 21-255	СЦ 220218	103,6	105,6	111,3	112,4
2025	БЦ 03	2110	Яа	Ял 21-255	СЦ 220128	108,4	101,8	110,1	109,8
2019	Ве 06	2110	Яа	Ял 21-255	СЦ 220129	114,9	96,4	110,8	110,3
2023	Ял 06	2106	ВП	ВП15427 4х	СЦ 220221	110,0	99,8	109,6	*****
2023	Ял 06	2105	ВП	ВП16570 2х	СЦ 220124	100,6	106,4	108,7	*****
2030	Ял 07	2104	Ве	В 11302	СЦ 220124	108,2	101,5	109,8	117,6
2021	Ял 09	2108	УЛ	УЛ 1948	СЦ 220118	109,6	101,1	110,8	*****
2021	Ял 09	2107	Ів	Ів31266 2х	СЦ 220109	103,6	105,7	109,6	*****
2021	Ял 09	2109	УЛ	УЛ КМ 2	СЦ 220117	106,4	103,3	109,5	*****
НІР _{0,05}		–	–	–	–	0,8	0,2	–	–

Науковцями М. В. Роїком, Г. С. Гончаруком, В. В. Литвинюком, Й. М. Федорошак, Н. М. Хіміч, Л. Г. Грицишиною, В. І. Старосудом та ін. проводяться дослідження із селекції та насінництва буряків, круп'яних, біоенергетичних і інших культур. Під керівництвом та за участі д.с.г.н. проф. М. В. Роїка співробітниками д.с.г.н., с.н.с. С. Д. Орловим, к.с.г.н. с.н.с. С. М. Громовим, к.с. г. н., с.н.с. В. І. Старосудом, к.с.г.н. с.н.с. Н. О. Кононюк, с.н.с. С. М. Бровком, с.н.с., Й. М. Федорошак, с.н.с. Н.М. Хіміч, с.н.с. О. М. Явнюк проводиться селекційна робота зі створення нових генотипів гречки у поєднанні ознак стійкості до осипання та високої продуктивності. Створено й занесено до Державного реєстру сорт ярого ячменю пивоварного напрямку використання – 'Оксамитовий' (2005 р), сорт гречки з неосипаючими плодами 'Крупнозелена' (2008 р). [1].

Колекційний розсадник поповнено селекційними номерами, які використовуються при гібридизації, та константними лініями з оригінальним поєднанням ознак (низкорослість, детермінантність), комплексом господарськоцінних ознак і властивостей (стійкість до вилягання та обсіпання насіння та інші). Упродовж періоду вегетації зразків гречки проводяться фенологічні спостереження у порівнянні зі стандартом 'Антарія', за ознаками: стійкість до осипання, урожайність, крупноплідність, індекс озерненості (відношення маси зерна індивідуальної рослини до кількості суцвіть), співвідношення вегетативних і генеративних органів, висота рослини, кучність, розміщення насіння

За урожайністю виділено зразки гречки УС 0100322, УС 0101066, УС0101708, УС 0100128, УС 0100987, УС 0101961, які мали рівень урожайності понад 1,2 т/га порівняно із

стандартом. Та зразки гречки UC 0100322, UC 0101721, UC 0100127, UC 0100506, UC 0101698, UC 0100987, UC 0101961 із підвищеними параметрами продуктивності рослини більше 0,5 г (порівняно з іншими зразками та на фоні стандарту), як основної складової урожайності [15].

Основним трендом у селекції гречки на сучасному етапі є добори на крупноплідність, яка є елементом структури урожаю. Ця ознака має значення при технологічній переробці насіння. За ознакою маса 1000 насінин виділено 19 кращих зразків, параметри ознаки яких коливаються у межах 27–30 г, які залучено до подальшого селекційного процесу при створенні високопродуктивних сортів культури [16, 17].

Потенційну продуктивність рослин як елемент структури урожаю характеризує показник «кількість суцвіть на рослині». У зв'язку з необхідністю впливу на формування оптимальних параметрів генеративної здатності рослин гречки було відібрано селекційні зразки з найвищим індексом (понад 5,0): UC 0100127, UC 0100506, UC 0101961, які перевищували за цим показником стандартні сорти.

На продуктивні властивості рослин гречки впливає морфогенетична структура рослини, і в першу чергу співвідношення вегетативних і генеративних вузлів як показників розвитку асимілюючої і споживаючої систем рослини. Добори здійснювалися за співвідношенням «ступінь відтоку асимілянтів до насіння (збиральний індекс)», який характеризує донорно-акцепторні зв'язки генотипів. З'ясовано, що зі збільшення показника співвідношення вузлів у зоні гілкування до зони плодоношення підвищується стійкість рослин до вилягання. Серед продуктів добору за співвідношенням кількості генеративних і вегетативних вузлів (> 1,5) вирізнявся зразок: UC 0100320, який є джерелом цієї ознаки в селекції на стійкість до вилягання.

До морфогенетичних ознак, які корегуються доборами, відноситься і ознака висота рослин гречки. Цей параметр також впливає на стійкість до вилягання. Кращими селекційними зразками виявилися UC 0101320, UC 0101069, UC 0100340, UC 0100988, що характеризувалися висотою рослин (до 100 см), що можуть слугувати донорами низькорослості.

Селекційно значущою проблемою для культури гречки є стійкість до осипання плодів. Як толерантні до осипання насіння (після досягання, під час транспортування та обмолоту) виділено зразки: № UC 0101068, UC 0101069, UC 0101202, UC 010196, однак повністю стійких не виявлено [18, 19].

За результатами дослідження отримано вихідні характеристики зразків гречки за господарськоцінними ознаками та відібрано генотипи з донорськими ознаками.

У результаті створено високопродуктивний зразок гречки з урожайністю 2,2 т/га, вмістом білка 15,0 %, плівковістю 25,0 %, виходом крупи 75,0 %, масою 1000 шт. насінин 24,0 г, групою стиглості як скоростиглий, придатністю до механізованого збирання, бал (1–9) – 9, стійкістю проти збудників хвороб (борошниста роса, аскохітоз, пероноспороз), бал (1–9) – 9 із робочою назвою 'Юліана' який переданий на державне сорто випробування.

Сорт гречки 'Юліана' має середньорослу рослину, квітка біла, насіння звичайне, висота рослин – 105 см, пагонів 1-го порядку – 3,3 шт., 2-го – 4,6 шт., кількість пазушних суцвіть в середньому 14,3 шт., а зерен з однієї рослини – 0,53 г, пустозерних – 15 шт. Плоди ромбічні. Крила добре виражені, грані не широкі. Маса 1000 насінин становить 28,6 г, урожайність – 1,8–2,2 т/га, стійкість до осипання і вилягання – 8 балів

Вчені мережі ІБКіЦБ одними із перших зрозуміли важливість використання як джерел, що придатні для виробництва енергетичної сировини – біопалива, високоврожайних культур довготривалого використання, зокрема міскантусу, енергетичної верби, цукрового сорго та інших видів, які можна вирощувати на маргінальних землях. У зв'язку з тим, що на початку досліджень, пов'язаних із зеленою енергетикою, генофонд біоенергетичних культур, які давали б економічно вигідний вихід біомаси і енергії, на полях Ялтушківської дослідно-селекційної станції стали проводити досліді із інтродукції проса прутоподібного (*Panicum virgatum* L.). У 2008–2014 рр. була доведена не лише доцільність використання цієї культури

в енергетичних цілях, але здійснено вивчення біолого-морфологічних особливостей різних її видів, що походять із різних екологічних зон, на основі чого відібрано зразки, які формують високу урожайність надземної маси та характеризуються високою енергетичною цінністю, а також виявлено залежності цих структурних елементів урожайності від сортових особливостей, вихідної густоти стояння рослин та передпосівної підготовки насіння [20]. Це дало змогу удосконалити деякі елементи технології, зокрема, способи передпосівної обробки насіння та способи розмноження цієї культури, а також розробити методики для практичного використання [21, 22].

ЯДСС одна з найперших долучилася до вивчення біоенергетичних культур як можливих альтернативних джерел енергії. Проведені упродовж останніх 15-ти років дослідження дозволили виділити високопродуктивні енергетично цінні зразки проса прутноподібного, які добре зарекомендували себе у зонах недостатнього і нестійкого зволоження. Оцінка урожайності сухої біомаси різних сортів показала, що максимальний показник цієї ознаки було зафіксовано на рівні 16,2 т/га, вихід твердого біопалива – 17,2 т/га, енергії – 243 ГДж/га. На основі кращих зразків проса прутноподібного в Інституті біоенергетичних культур і цукрових буряків у 2015 р. створено сорт 'Морозко'. Потенціал його продуктивності сягає за врожайністю сухої біомаси 17,3 т/га, за виходом енергії – 259,5 ГДж/га.

Успіхом селекційної роботи цієї культури можна вважати внесений до Реєстру сортів рослин, придатних для поширення в Україні, новий високопродуктивний сорт проса прутноподібного 'Лядовське' (2018 р.). Науковцями ЯДСС разом з вченими ІБКіЦБ було досліджено елементи технології вирощування проса прутноподібного в зоні Лісостепу, впровадження яких забезпечує річний економічний ефект, на рівні 6,3–9,5 тис. грн/га [22].

Сорти проса прутноподібного 'Морозко' та 'Лядовське' як джерела високої продуктивності передано до Національного центру генетичних ресурсів рослин України.

На ЯДСС в польових умовах за біоенергетичними показниками було досліджено колекцію видів роду Міскантус. На основі застосування біотехнологічних методів було створено нові генотипи, толерантні до посухи і засолення ґрунтів. Модифіковані в лабораторії ІБКіЦБ селективні середовища дозволили в культурі *in vitro* їх оцінити в лабораторних умовах, а випробувати – в умовах *in vivo* в теплиці і на полях ЯДСС.

У результаті досліджень на колекції міскантусу було вдосконалено існуючі та розроблено нові експрес-методи оцінки ступенів толерантності рослин до абіотичних чинників, які дозволило виділити перспективні генотипи *M. giganteus* походженням із Німеччини та Польщі. Ці генотипи характеризуються толерантністю до осмотичного та сольового стресів. Вони мають високі значення виходу енергії з достовірним перевищенням на 26,2–59,4 % середнього значення по групі досліджуваних номерів [23].

Подальші дослідження спрямовані на поглиблення знань про успадкування кількісних і якісних ознак із залученням раціональних схем селекції і біотехнологічних методів збереження цінних генотипів, що володіють оригінальними ознаками. Актуальними є вихідні матеріали з генетично закріпленими ознаками, що сприяють оптимізації фотосинтезу рослин і покращеного розподілу цукрів у коренеплодах, а також округлі форми без ортистихи, що унеможливають виніс ґрунту з поля із урожаєм. Продовжується робота над удосконаленням селекційно-генетичних методів і їх комбінування (рекомбінез, різні типи доборів, рекурентна селекція), що дає змогу одержати будь-яку рекомбінацію генотипу і створити форми з високим потенціалом продуктивності, здатним конкурувати зі світовими аналогами.

Перспективним є вивчення явища апоміксису і розробка підходів до його селекційного втілення, що дозволить пролонгувати гетерозисний ефект у послідовному ряду поколінь та значно спростити і здешевити насінництво. Подальшого розвитку набувають дослідження репродуктивної сфери селекційних матеріалів цукрових буряків цитологічними і цитоембріологічними методами у зв'язку з пошуками адаптивних біотипів до мінливих умов довкілля. На найближче майбутнє не втратить своєї актуальності проблема збереження

генетичного різноманіття і збагачення колекції генетичних ресурсів сільськогосподарських рослин конкурентоспроможними гібридами [24].

Отже, виділені джерела цінних селекційних ознак сільськогосподарських культур на ЯДСС залучено у селекційний процес створення сортів і гібридів з продуктивністю на рівні світових стандартів.

Висновки

Потенціал продуктивності буряків цукрових вітчизняної селекції з використанням ЦЧС та явища гетерозису не вичерпано. Новостворені джерела і донори цінних ознак, які використовуються як батьківські компоненти, дозволяють отримувати високі показники врожайності у гібридів на рівні 60,0 т/га при зборі цукру понад 10,0 т/га.

У 2023 р. 8 гібридів, створених за участю батьківських форм Ялтушківської ДСС, рекомендовано до екологічного сортовипробування. Урожайність цих гібридів, вивчених в системі Бетакрос, становила 103,6–114,9 %, цукристість 96,4–105,7 %, збір цукру 110,1–110,8 % до групового стандарту. До Реєстру сортів рослин України внесено гібриди ялтушківської селекції 'Барський', 'Черешневий' та ін.

На основі виділених високопродуктивних зразків гречки створено сорт 'Юліана', який передано до державного сортовипробування. Створено 19 нових генотипів гречки, які поєднують ознаку стійкості до осипання та високу продуктивність (на рівні 2,0 т/га).

Вивчені зразки проса прутоподібного різного еколого-генетичного походження стали джерелами для створення сортів вітчизняної селекції 'Морозко' та 'Лядовське' з високим виходом енергії (понад 260 ГДж/га).

Досліджено колекцію видів роду Міскантус. Виділено джерела, які характеризуються толерантністю до осмотичного та сольового стресів з підвищенням (на 26,2–59,4 %) виходом енергії.

Використана література

1. Буряківництво і біоенергетика в Україні: історія, наука, виробництво, люди / за ред. М. В. Роїка. Вінниця : Нілан-ЛТД, 2017. 345 с.
2. Роїк М. В., Корнеєва М. О. Селекція цукрових буряків: від ремесла до мистецтвотворення. *Буряківництво і біоенергетика в Україні: історія, наука, виробництво, люди* / за ред. М. В. Роїка. Вінниця : Нілан-ЛТД, 2017. С. 26–40.
3. Орлов С. Д., Бровко С. М., Кулік О. Г. Формування колекції зразків генофонду буряків та їх використання. *Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції. «Проблеми аграрного виробництва на сучасному етапі і шляхи їх вирішення»* (м. Харків, 1–2 липня 2021 р.). Харків, 2021. С. 323–325.
4. Роїк М. В., Балков І. Я., Кулік О. Г. Розвиток селекційно-генетичних досліджень по цукрових буряках за 75 років. *Наукові праці Інституту цукрових буряків*. 1997. Ювілейний випуск. С. 10–21.
5. Красовський Г. В. Селекція однонасінних цукрових буряків на Ялтушківській дослідно-селекційній станції. *Наукові праці Інституту цукрових буряків*. 1997. Ювілейний випуск. С. 53–57.
6. Роїк М. В., Корнеєва М. О. Етапи вітчизняної селекції буряків цукрових. *Вісник аграрної науки*. 2012. № 6. С. 44–46.
7. Роїк М. В., Корнеєва М. О. Від багатонасінних сортів до ЧС гібридів новітнього покоління. *Цукрові буряки*. 2012. № 2–3. С. 4–5.
8. Методики проведення досліджень у буряківництві / за ред. М. В. Роїка, Н. Г. Гізбулліна. Київ : ФОП Корзун Д. Ю., 2014. 374 с.
9. Ермантраут Е. Р., Гопцій Т. І., Каленська С. М. та ін. Методика селекційного експерименту (в рослинництві). Харків, 2014. 229 с.
10. Роїк М. В., Бех Н. С., Концар М. О. Оцінка та отримання нових форм міскантусу, толерантних до абіотичних стресових факторів в умовах *in vitro*. Київ, 2005. 16 с.

11. Роїк М. В., Корнеєва М. О., Ермантраут Е. Р. Оцінка комбінаційної здатності ЧС ліній ялтушківської селекції. *Наукові праці Інституту цукрових буряків*. 1997. Ювілейний випуск. С. 23–25.
12. Роїк М. В., Корнеєва М. О., Власюк М. В. Оцінка запилювачів цукрових буряків різної генетичної структури за комбінаційною здатністю. *Наукові праці Інституту цукрових буряків*. 2005. Вип. 8. С. 28–31.
13. Роїк М. В., Яковець В. А., Литвинюк В. В. Ефективність селекції настійкість до гнилей коренеплодів. *Цукрові буряки*. 2006. № 6. С. 14–22.
14. Роїк М. В., Корнеєва М. О. Екологічна стабільність і пластичність перспективних гібридів цукрових буряків. *Цукрові буряки*. 2017. № 3. С. 4–8.
15. Тригуб О. В. Генетичні ресурси гречки для нових напрямів селекції. *Сучасні технології підвищення генетичного потенціалу рослин* : збірник тез Міжнародної науково-практичної конференції, присвяченої 100-річчю НААН України (м. Харків, 4–5 липня 2018 р.). Харків, 2018. С. 197.
16. Роїк М. В., Орлов С. Д., Громовий С. М. та ін. Дослідження сортозразків гречки (*Fagopyrum esculentum* Moench) за елементами продуктивності для підвищення генетичного потенціалу рослин. *Інноваційні технології в рослинництві* : матеріали V Всеукраїнської наукової інтернет-конференції (м. Кам'янець-Подільський, 25 травня 2022 р.). Кам'янець-Подільський, 2015. С. 145–146.
17. Тараненко Л. К., Яцишен О. Л. Принципи, методи і досягнення селекції гречки (*Fagopyrum esculentum* Moench). Вінниця : Нілан-ЛТД, 2014. 214 с.
18. Тараненко Л. К., Каражбей П. П., Пальчук М. Ф. Вдосконалення архітекtonіки генотипів гречки методами селекції. *Науковий вісник НУБіП України*. 2011. Вип. 162, ч. 1. С. 118–123.
19. Алексєєва О. С., Тараненко Л. К., Малина М. М. Генетика, селекція і насінництво гречки. Київ : Вища школа, 2004. 213 с.
20. Мандровська С. М. Агроєкологічні основи введення в культуру проса прутіподібного (*Panicum virgatum* L.) в Лісостепу України : автореф. дис. ... канд. с.-г. наук : спец. 06.01.09 – рослинництво / ІБКіЦБ НААН. Київ, 2016. 22 с.
21. Методика проведення експертизи сортів проса прутіподібного на відмінність, однорідність та стабільність. Київ : Нілан-ЛТД, 2014. 30 с.
22. Визначення схожості насіння проса прутіподібного (світчграсу) *Panicum virgatum* L. Київ : ІБКіЦБ НААН, 2015. 20 с.
23. Коцар М. О. Створення нового вихідного матеріалу для селекції міскантусу біотехнологічними методами : автореф. дис. ... канд. с.-г. наук : спец. 06.01.05 – селекція і насінництво / ІБКіЦБ НААН. Київ, 2018. 20 с.
24. Роїк М. В., Корнеєва М. О. Напрями, методи та стратегія розвитку селекції. *Цукрові буряки*. 2015. № 6. С. 7–9.

References

1. Roik, M. V. (Ed.). *Beet cultivation and bioenergy in Ukraine: history, science, production, people*. Vinnytsia: Nilan-LTD. [In Ukrainian]
2. Roik, M. V., & Korneeva, M. O. (2017). Selection of sugar beets: from craft to art creation. In Roik, M. V. (Ed.). *Beet cultivation and bioenergy in Ukraine: history, science, production, people* (pp. 26–40). Vinnytsia: Nilan-LTD. [In Ukrainian]
3. Orlov, S. D., Brovko, S. M., & Kulik, O. H. (2021). Formation of a collection of beet gene pool samples and their use. In *Materials of the International Scientific and Practical Conference "Problems of agricultural production at the current stage and ways to solve them"* (pp. 323–325). Kharkiv: N.p. [In Ukrainian]
4. Roik, M. V., Balkov, I. Ya., & Kulik, O. H. (1997). Development of breeding and genetic research on sugar beets over 75 years. *Scientific works of the Institute of Sugar Beet, Anniversary issue*, 10–21. [In Ukrainian]

5. Krasovskyi, H. V. (1997). Selection of single-seeded sugar beets at the Yaltushkiv research and selection station. *Scientific works of the Institute of Sugar Beet, Anniversary issue*, 53–57. [In Ukrainian]
6. Roik, M. V., & Korneeva, M. O. (2012). Stages of domestic selection of sugar beets. *Herald of Agrarian Science*, 6, 44–46. [In Ukrainian]
7. Roik, M. V., & Korneeva, M. O. (2012). From multi-seeded varieties to emergency hybrids of the latest generation. *Sugar Beet*, 2–3, 4–5. [In Ukrainian]
8. Roik, M. V., & Hizbullin, N. H. (Ed.). *Research methods in beet growing*. Kyiv: FOP Korzun D. Yu. [In Ukrainian]
9. Ermantraut, E. R., Hoptsi, T. I., & Kalenska, S. M. (2014). *Methodology of selection experiment (in crop production)*. Kharkiv: N.p. [In Ukrainian]
10. Roik, M. V., Beh, N. S., & Kontsar, M. O. (2005). *Evaluation and production of new forms of miscanthus tolerant to abiotic stress factors in vitro*. Kyiv: N.p. [In Ukrainian]
11. Roik, M. V., Korneeva, M. O., & Ermantraut, E. R. (1997). Evaluation of the combining ability of the emergency response lines of the Yaltushki selection. *Scientific works of the Institute of Sugar Beet, Anniversary issue*, 23–25. [In Ukrainian]
12. Roik, M. V., Korneeva, M. O., & Vlasiuk, M. V. (2005). Evaluation of sugar beet pollinators of different genetic structure by combining ability. *Scientific works of the Institute of Sugar Beet*, 8, 28–31. [In Ukrainian]
13. Roik, M. V., Yakovets, V. A., & Lytvyniuk, V. V. (2006). Effectiveness of root rot resistance selection. *Sugar Beet*, 6, 14–22. [In Ukrainian]
14. Roik, M. V., & Korneeva, M. O. Ecological stability and plasticity of promising sugar beet hybrids. *Sugar Beet*, 3, 4–8. [In Ukrainian]
15. Trygub, O. V. (2018). Genetic resources of buckwheat for new breeding directions. In *Modern technologies for increasing the genetic potential of plants: a collection of theses of the International scientific and practical conference dedicated to the 100th anniversary of the National Academy of Sciences of Ukraine* (p. 197). Kharkiv: N.p. [In Ukrainian]
16. Roik, M. V., Orlov, S. D., Hromovyi, S. M., Fedoroshchak, Y. M., & Khymych, N. M. (2022). Study of buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench) variety samples for productivity elements to increase the genetic potential of plants. In *Innovative technologies in crop production: materials of the 5th All-Ukrainian Scientific Internet Conference* (pp. 145–146). Kamianets-Podilskyi: N.p. [In Ukrainian]
17. Taranenko, L. K., & Yatsyshen, O. L. (2014). *Principles, methods and achievements of buckwheat breeding (Fagopyrum esculentum Moench)*. Vinnytsia: Nilan-LTD. [In Ukrainian]
18. Taranenko, L. K., Karazhbei, P. P., & Palchuk, M. F. (2011). Improving the architecture of buckwheat genotypes by breeding methods. *Scientific bulletin of NULES of Ukraine*, 162(1), 118–123. [In Ukrainian]
19. Alekseeva, O. S., Taranenko, L. K., & Malyna, M. M. (2004). *Buckwheat genetics, selection and seed production*. Kyiv: Vyscha shkola. [In Ukrainian]
20. Mandrovska, S. M. (2016). *Agroecological basis of the introduction of millet (Panicum virgatum L.) in the Forest Steppe of Ukraine* (Abstract of Cand. Agric. Sci. Diss.). Kyiv. [In Ukrainian]
21. *Methodology for examination of rod millet varieties for distinctiveness, homogeneity and stability* (2014). Kyiv: Nilan-LTD. [In Ukrainian]
22. *Determination of seed germination of switchgrass Panicum virgatum L.* (2015). Kyiv: IBKiCB NAAS. [In Ukrainian]
23. Kotsar, M. O. (2018). *Creation of new source material for miscanthus selection by biotechnological methods* (Abstract of Cand. Agric. Sci. Diss.). Kyiv. [In Ukrainian]
24. Roik, M. V., & Korneeva, M. O. (2015). Directions, methods and strategy of breeding development. *Sugar Beet*, 6, 7–9. [In Ukrainian]

UDC 633.63:631.52

Orlov, S. D.^{1*}, Kornieieva, M. O.¹, & Hrytsyshyna, L. H.² (2023). Sources of valuable traits for the selection of varieties and hybrids of agricultural crops on the Yaltushkiv EBS. *Scientific Papers of the Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet*, 31, 6–17. [In Ukrainian]

¹*Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet, NAAS of Ukraine, 25 Klinichna St., Kyiv, 03110, Ukraine, *e-mail: orlov.stanislaw48@gmail.com*

²*Yaltushkiv Experimental Breeding Station of the IBCSB, Chereshneve, Bar district, Vinnytsia region, 23021, Ukraine*

Purpose. To identify sources of economic and valuable traits for the breeding process of industrial, grain and bioenergy crops at the Yaltushkivska Experimental Breeding Station of the Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet of the National Academy of Agrarian Sciences. **Methods.** Hybridization, selection, field tests, analytical, mathematical and statistical. **Results.** The best breeding genotypes of beets of foreign and domestic selection that are the donors of valuable traits, are concentrated at the Yaltushkivska EBS. The best hybrid combinations created on the basis of the Yaltushkivska EBS materials and evaluated in the variety test under the Beta cross program significantly exceeded the group standard: in yield (103.6–114.9%), sugar content (96.4–105.7%), sugar yield (110.1–110.8%). A highly productive buckwheat variety ‘Yuliana’ with a yield of 2.2 t/ha and a protein content of 15.0% was created and submitted for state variety testing. The best highly productive and energy valuable varieties of switchgrass were selected for cultivation in areas of insufficient and unstable soil moisture, which ensure the yield of dry biomass at the level of 7.5–16.2 t/ha, the yield of solid biofuel of 8.2–17.2 t/ha, and energy of 112.5–243 GJ/ha. Genotypes from the *Miscanthus* genus have been identified, which combine signs of tolerance to osmotic and salt stress and high energy yield. **Conclusions.** Selected sources of breeding-valuable traits became the basis for creating varieties and hybrids of agricultural crops (sugar beet ‘Barskyi’, ‘Chereshnevyi’, ‘Ruthenia 11’, ‘Ruthenia 12’, ‘Ruthenia 13’, etc., buckwheat ‘Yuliana’, switchgrass ‘Morozko’ and ‘Liadovske’ and varieties of miscanthus resistant to abiotic factors of the environment). Breeding genotypes and original lines of these crops were transferred to the National Center of Plant Genetic Resources of Ukraine.

Keywords: *variety; hybrid; raw materials; methods; sugar beet; bioenergy crops.*

Надійшла / Received 02.10.2023

Погоджено до друку / Accepted 13.10.2023

Поліплоїдія в історії селекції Ялтушківської дослідно-селекційної станції: нові методи диференціації і стабілізації тетраплоїдів цукрових буряків

М. В. Роїк¹, Н. С. Ковальчук^{1*}, Л. Г. Федорошак²

¹Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН України, вул. Клінічна, 25, м. Київ, 03110, Україна, *e-mail: natalakovalcuk461@gmail.com

²Ялтушківська дослідно-селекційна станція Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН України, с. Черешине, Барський р-н, Вінницька обл., 23021, Україна

Мета. Проаналізувати історію розвитку поліплоїдної селекції на Ялтушківській дослідно-селекційній станції (ЯДСС), зокрема вдосконалення генетичних моделей нових гібридів, нових способів індукції мейотичних тетраплоїдів, диференціації і добору селекційних матеріалів за рівнем плоїдності геному. **Методи.** Цитологічний аналіз метафазних хромосом апікальних меристем точок росту насінних рослин і буряків першого року для добору тетраплоїдних рослин $4x = 36$ хромосом; цитофотометричний аналіз з використанням комп'ютерних програм АП «Partec» для дослідження плоїдності за кількісним вмістом ядерної ДНК; польові методи (добір насінних рослин тетраплоїдів за типами пилкових зерен, формування синтетичних популяцій тетраплоїдних багатонасінних рослин на цитогенетичній основі за структурою бівалентної кон'югації хромосом-гомолів у мейозі. **Результати.** У процесі індукції тетраплоїдів цитологічні методи аналізу плоїдності на Ялтушківській ДСС були вдосконалені з використанням комп'ютерних програм АП «Partec» для добору буряків цукрових $4x$ за кількісним вмістом ядерної ДНК в клітині на рослинах першого року вегетації і для формування тетраплоїдних популяцій після індукції колхіцином на насінних рослинах. У процесі дослідження структури поліплоїдних популяцій за ступенем плоїдності відсоток тетраплоїдів змінювався від $82,0 \pm 2,22$ % у запилювача Я/Ген до $58,1 \pm 2,81$ % у запилювача Я/Ман. Встановлено, що добір за фертильністю і вирівняністю пилку залежить від генетичних особливостей селекційного матеріалу і впливає на пилкоутворювальну здатність у перших генераціях після індукції колхіцином, зменшуючи кількість біотипів $4x$ IIa і IIb типу за цитологічною класифікацією. На прикладі багатонасінного запилювача Я/Рой встановлено, що добір за цукристістю й урожайністю виявляє, певною мірою, стабілізуювальну дію за ступенем плоїдності. Використані біотехнологічні методи для депонування генотипів $4x$ із високим відсотком бівалентної кон'югації хромосом-гомолів у метафазі I мейозу (70–90 %) сприяли цитогенетичній стабільності поліплоїдних гамет і високому їх виходу – 92,9 % $4x$ у наступній генерації насіння. Досліджено, що продуктивність триплоїдних гібридів ЯДСС з використанням тетраплоїдного запилювача Я/ДА $4x$ на основі зародкової плазми дикого виду *Beta patula* на ранніх етапах вегетаційного розвитку змінювалась, залежно від селекційних номерів триплоїдних рослин, від 325 до 465 г, а цукристість у деяких номерів досягала 21,5 %. **Висновки.** Розвиток поліплоїдної селекції на Ялтушківській дослідно-селекційній станції пройшов шлях від формування полігібридів до створення триплоїдних гібридів на ЧС основі з використанням тетраплоїдних багатонасінних запилювачів. Для формування популяцій тетраплоїдних багатонасінних запилювачів ЯДСС були застосовані методи флюорисцентної цитофотометрії з комп'ютерними програмами АП «Partec», біотехнологічні методи для створення синтетичних популяцій тетраплоїдних багатонасінних запилювачів на цитогенетичній основі, що забезпечують вихід тетраплоїдів у насінні до 92,9 %.

Ключові слова: буряки цукрові; тетраплоїди; аналізатор плоїдності (АП «Partec»); багатонасінні запилювачі; полігібриди; хромосоми; метафаза I.

Вступ

Буряки цукрові, на противагу багатьом іншим культурам, не виявляють генетичного різноманіття форм. Тому, існує необхідність створення якісно нового вихідного матеріалу й пошуку ефективніших шляхів їх селекції [1]. Зміна принципів добору й формування сортів буряків цукрових стала можливою завдяки успішним дослідженням з класичної генетики [2]. Насамперед це вивчення закономірностей системи розмноження буряків цукрових (внутрішньовидової несумісності, цитоплазматичної спадковості, ознак одно- й багатоплідності та створення поліплоїдних форм [3]. З 1972 по 1978 рік робота з поліплоїдами на селекційній станції продовжувалась під керівництвом Г. А. Красовської. Селекційні зразки однонасінного сорту ялтушківської селекції було переведено на тетраплоїдний рівень. Сформовані чотири компоненти для схрещування з сортами-популяціями. Урожай коренеплодів полігібрида становив 65,9 т/га, а середні показники цукристості – 16,1 %. Добір серед тетраплоїдів першого року вегетації проводили за формою коренеплода, а серед буряків другого року – за продуктивністю насінників, стійкістю проти хвороб і формою насінника. Крім того, виявилось, що в триплоїдних гібридів не так різко проявлялася від'ємна кореляція між масою коренеплоду і вмістом цукру, що, зазвичай, спостерігається у тетраплоїдів [2].

У ці ж роки конкурентами полігібридів стали міжлінійні диплоїдні гібриди. Відкриття цитоплазматичної стерильності створило основу для реалізації у буряків цукрових чіткої селекційної програми з метою використання генетично регульованого гетерозису на диплоїдному рівні. Протягом двадцяти років поліплоїдна селекція у буряків цукрових не розвивалась. Поліплоїдія не знайшла широкого використання в селекційній роботі дослідно-селекційної станції, і в 1978 році лабораторія була закрита. Проте, двадцятирічний досвід багатьох зарубіжних компаній, які займаються селекцією й насінництвом буряків, довів, що цей напрям вітчизняної селекції незаслужено відступив на задній план.

Ринок насіння, а особливо конкуренція з «китами» селекції цукрових буряків у Європі, як-от КВС, Даніско-Сід, Бетасід, Хіллесгок, поставила завдання – створити такі запилювачі, які б значно підвищили продуктивність гібридів. Прийнятне вирішення цієї проблеми селекціонери України знайшли в новому напрямі селекції з використанням своїх екологічно пристосованих диплоїдних багатонасінних запилювачів як компонентів схрещування на тетраплоїдному рівні [1, 3].

Сьогодні на ринку як США, так і Європи представлені і диплоїдні і триплоїдні гібриди однонасінних буряків цукрових. Знання про методи роботи з поліплоїдами ще далекі до досконалого і потребують впровадження нових перспективних технологій давно визнаних у світовій селекції буряків цукрових [4, 5].

З 1990 року, за ініціативою академіка НААН, зав. відділом селекції ІБКіЦБ М. В. Роїка, для вдосконалення генетичних моделей нових триплоїдних гібридів на станції поновилися дослідження з питань експериментальної поліплоїдії з метою створення тетраплоїдних багатонасінних запилювачів на основі кращих високоцукристих диплоїдних ліній. У відділі селекції Ялтушківської ДСС створено сектор експериментальної поліплоїдії під керівництвом старшого наукового співробітника Л. Г. Федорошак (рис. 1).

Об'єктивний аналіз ситуації в селекції експериментально створених поліплоїдів буряків цукрових, яка склалася на той час, свідчить про значні проблеми, пов'язані з низькою якістю насіння, складним насінництвом, анеуплоїдією. А тому метою наукових завдань з поліплоїдії було насамперед:

1. Дослідження нових способів індукції мейотичних тетраплоїдів, які забезпечують як високу фертильність, так і стабільність за плоїдністю в наступних генераціях насіння [5–7];
2. Удосконалення цитологічних методів ідентифікації плоїдності і впровадження новітніх технологій стабілізації рівня геному за кількістю ядерної ДНК;
3. Використання біотехнологічних методів для індукції тетраплоїдних багатонасінних запилювачів та клональне мікророзмноження селекційно-цінних генотипів 4х.



Рис. 1. Керівник лабораторії експериментальної поліплоїдії і апоміксису, старший науковий співробітник Л. Г. Федорошак, старший науковий співробітник М. Н. Хіміч, лаборанти Г. І. Ковтонюк і К. Б. Гребенюк визначають плоідність багатонасінних запилювачів буряків цукрових з використанням мікроскопів «Carl Zeiss» (Німеччина) і «Polam» (Польща)

Матеріали та методика досліджень

Як вихідний матеріал використовували багатонасінні буряки цукрові Ялтушківської селекції, в тому числі і високоцукристий сорт 'Ялтушківський 116'.

Мінливість за ступенем плоідності вивчалась у експериментальних поліплоїдних популяціях походження Ялтушківської ДСС після індукції колхіцином: Я/Віт, Я/Вол, Я/Ман, Я/Рой, Я/Ген.

На прикладі поліплоїдної популяції багатонасінного запилювача Я/Рой досліджували вплив способів добору за цукристістю і врожайністю на структуру експериментального матеріалу за рівнем плоідності геному. Для впровадження нового способу стабілізації тетраплоїдних багатонасінних запилювачів на цитогенетичній основі з використанням біотехнологічних методик були відібрані насінні рослини $4x$ запилювача Я/Рой за *Ia* типом пилкових зерен.

Продуктивність експериментальних триплоїдних гібридів ЯДСС на фоні стерильної цитоплазми походженням від дикого виду *Beta patula* L. вивчали з використанням тетраплоїдного запилювача ЯДСС Я/ДА $4x$.

Для хромосомного аналізу і добору тетраплоїдів після індукції колхіцином була використана методика оцетоорсеїнового забарвлення мітотичних хромосом на стадії метафази як буряків першого року вегетації, так і апікальних меристем насінних рослин [8, 9]. Підрахунок хромосом у польових вегетуючих рослин і клональних ліній із культури *in vitro* проводили з використанням мікроскопів «Carl Zeiss» (Німеччина) і «Polam» (Польща) за збільшення 15×100 .

Методика дослідження пилкоутворюючої здатності тетраплоїдних рослин під час цвітіння і добір високофертильних біотипів $4x$ проводили згідно з цитологічною класифікацією за чотирма біотипами насінних рослин $4x$, викладеної в ДСТУ 7002:2009 [9]. Виділяли рослини *Ia*, *Ib*, *II2a*, *II2b* типу за розміром, фертильністю і стерильністю пилкових зерен. Хромосоми на стадії метафази і мейозу в тетраплоїдного запилювача Я/ДА після індукції колхіцином і пилкові зерна $4x$ насінних рослин *Ia*-типу зображено на рисунку 2.

Класичні методи стабілізації поліплоїдів за кількістю хромосом у клітинах апікальних меристем, а також за розмірами й фертильністю пилкових зерен були вдосконалені впровадженням у селекційний процес новітніх технологій флуоресцентної цитометрії [10]. На рисунку 3 зображено аналізатор плоідності АП «Partec», який дозволяє значно збільшити

обсяги досліджень, і гістограми тетраплоїдного і триплоїдного рівня геному, визначених за масою ядерної ДНК в клітинах листків експериментальних поліплоїдних рослин.

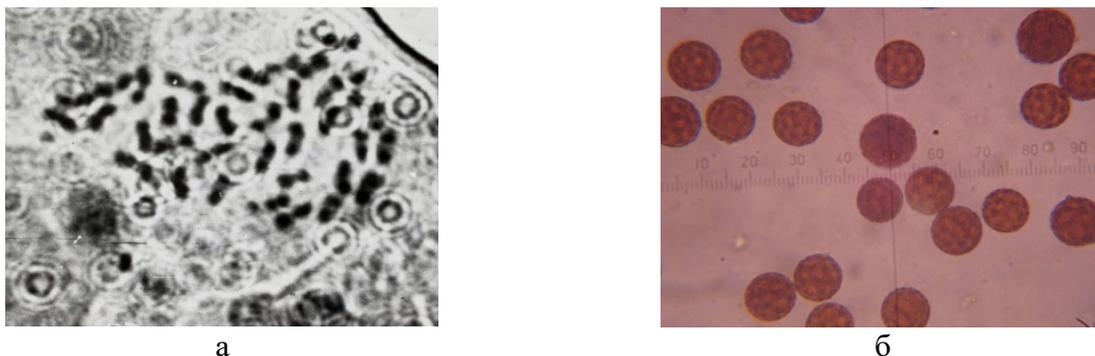
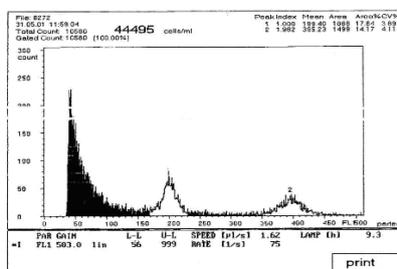


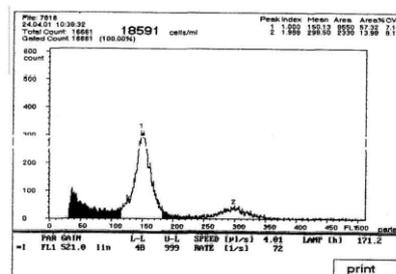
Рис. 2. Метафазні хромосом після скорочення 8-орто-оксихіноліном і тетраплоїдних пилкових зерен Іа-типу в запилювача Я/ДА 4х: а) 36 хромосом тетраплоїдних насінних рослин за 36.12, 5 × 90; б) дослідження розміру пилкових зерен індукованих колхіцином нових тетраплоїдів 36, 12,5 × 20



а



б



в

Рис. 3. Аналізатор плоїдності АП «Partec» і гістограми триплоїдних і тетраплоїдних рослин, визначених за кількістю ядерної ДНК в клітині: а) аналізатор плоїдності АП «Partec»; б) тетраплоїдний рівень геному в буряків цукрових на гістограмі ядерної ДНК; в) триплоїдний рівень геному, визначений за масою ядерної ДНК в клітині

Сьогодні питання про переведення на тетраплоїдний рівень кращих селекційних номерів буряків цукрових $2x$ на дослідно-селекційній станції, в принципі, вирішено. Опубліковано ряд методів, де найефективнішим поліплоїдизувальним фактором є колхіцин, користуючись яким в умовах *in vitro* та *in vivo* отримано досить задовільні результати [11]. Наступний етап, що включає добір і стабілізацію за рівнем геному експериментально створених тетраплоїдів, а також селекцію відтворення тетраплоїдних компонентів і районуваних триплоїдних гібридів, є досить тривалим і затратним. Результативність цих досліджень визначає високий відсоток тетраплоїдів у насіннєвому потомстві наступної генерації.

У процесі селекції нових тетраплоїдних запилювачів розроблені радикальні підходи і нові способи, які забезпечують високу однорідність і стабільність за ступенем плоїдності триплоїдних гібридів на ЧС основі. Саме високий рівень гетерозиготності за структурою хромосом є запорукою їх бівалентної кон'югації, і зрештою – чистоти за рівнем геному гібридного насіння.

Розроблений новий спосіб формування синтетичних популяцій тетраплоїдних багатонасінних запилювачів на цитогенетичній основі за структурою бівалентної кон'югації хромосом гомологів в мейозі [7].

Спосіб включає:

- добір високофертильних, вирівняних за розміром поліплоїдних пилкових зерен насінних рослин і тиражування їх методом клонального мікророзмноження;

- фіксація пагонів на стадії ранньої бутонізації для дослідження метафази I мейозу у відібраних за фертильністю і розмірами біотипів 4x;
- цитогенетичний аналіз мейозу за структурою бівалентів, тетравалентів, тривалентів за збільшення мікроскопічних об'єктів кратні 12 × 90;
- клональне мікророзмноження селекційно-цінних генотипів 4x;
- укорінення в ґрунті і формування популяцій 4x на основі клональних ліній.

Для визначення достовірності проведених досліджень проводили підрахунок похибки, використовуючи методики статистичного аналізу [12]. Похибку репрезентативності m у відсотках визначали за формулою:

$$m = \pm \sqrt{\frac{P(100 - P)}{n}}$$

де P – відсоток експериментальних номерів, визначених за диплоїдним, триплоїдним і тетраплоїдним рівнями плоідності геному, і насінних рослин, визначених за *Ia*, *Iб*, *IIa*, *IIб* типами пилку; n – обсяги дослідження експериментальних номерів в поліплоїдній популяції. Статистичний аналіз дослідних даних продуктивності експериментальних триплоїдних гібридів з використанням тетраплоїдного запилювача Я/ДА був проведений за допомогою програми Statistica 10 [12].

Результати досліджень

Застосування методів флюорисцентної цитофотометрії і комп'ютерних програм АП «Partec» дало можливість проводити диференціацію за ступенем плоідності експериментальних популяцій після індукції колхіцином, не порушуючи тканину апікальних меристем, використовуючи легкодоступний об'єкт для аналізу – листки вегетуючих рослин буряків цукрових, і цим самим значно збільшити обсяги досліджень (табл. 1).

Таблиця 1

Структура поліплоїдних популяцій* Ялтушківської ДСС за ступенем плоідності (2001–2003 рр.)

Племінне визначення	Рослин, шт.	Структура популяцій за рівнем геному, %				Проаналізовано	Із них за типом пилку, ** %			
		2n, P±m	3n, P±m	4n, P±m	Анеуплоїди, P±m		Ia 26–32 мкм, P±m	Iб 14–38 мкм, P±m	IIa 8–28 мкм, P±m	IIб 68–38 мкм, P±m
Я/Віт, 2003р.	376	0,3±0,28	26,3±2,27	72,0±2,32	0,5±0,36	165	18,8±3,04	68,4±3,62	11,0±2,44	1,8 ±1,04
Я/Вол, 2003р.	230	–	16,1±2,42	82,6±2,50	1,3±0,75	185	25,4±3,20	62,7±3,56	10,8±2,28	1,1±0,77
Я/Ман, 2003р.	308	–	14,39±2,0	58,1±2,81	27,5±2,54	185	54,2±3,66	39,0±3,59	1,5±0,89	5,3±1,65
Я/Рой, 2001р.	300	2,0±0,81	20,0±2,31	78,0±2,39	–	234	12,0±2,12	78,0±2,71	10,0±1,96	–
Я/Рой, 2003р.	195	4,6±1,50	21,6±2,95	73,8±3,15	–	54	5,6±3,13	66,77±6,41	16,7±5,05	11,0±4,26
Я/Ген, 2001р.	300	4,0±1,13	8,0±1,57	82,0±2,22	–	246	7,0±1,63	68,0±2,97	23,0±2,68	2,0±0,89
Я/Ген, 2003р.	312	–	29,8±2,59	70,2±2,59	–	147	28,6±3,73	53,0±4,12	18,4±3,20	–

*Структура поліплоїдних популяцій – співвідношення рослин з різним ступенем плоідності.

**Тип пилку – диференціація рослин за розмірами пилкових зерен.

Серед досліджених за рівнем плоідності геному і за гістограмами ядерної ДНК АП «Partec» насінних рослин експериментальної поліплоїдної популяції, тетраплоїди становили від 58,1±2,81 % до 82,6±2,50 %. У структурі популяції кількість анеуплоїдів була від 0,5±0,36 % до 27,5±2,54 %. Добір за фертильністю і вирівняністю пилку залежав від генетичних особливостей селекційного матеріалу. Встановлено, що добір за пилкоутворюючою здатністю, особливо в перших генераціях після індукції колхіцином, зменшує кількість низькофертильних біотипів 4x *IIa* і *IIб* типу за цитологічної класифікацією [4, 9]. Крім того, як показано в табл. 2, селекційний добір за цукристістю й урожайністю виявив, певною мірою, стабілізуючу дію за ступенем плоідності. На прикладі поліплоїдної

популяції багатонасінного запилювача Я/Рой підтверджено, що найпоширенішим способом регулювання експресії генів у тетраплоїдних рослин $4x$ є валентність ядра, яка є внутрішнім механізмом багатьох біохімічних і фізіологічних процесів [4].

Таблиця 2

Мінливість структури геному експериментальної поліплоїдної популяції Я/Рой залежно від методів селекційного добору (1999 р.)

№ п/п	Походження селекційних номерів багатонасінного запилювача Я/Рой	Кількість рослин, шт.	Із них за плоїдністю, %				
			2n P±mp	3n P±mp	4n P±mp	Анеуплоїдів, P±mp	Міксо- плоїдів, P±mp
1	Вихідна поліплоїдна популяція, 1.Я/Рой: 1999	706	0,1±0,14	28,78±1,70	60,94±1,84	9,24±0,97	0,94±0,79
2	Педігрі Z* 98-357	30	–	–	95,2±4,56	4,8±3,9	–
3	Педігрі Z 97-509	46	–	–	83,6±5,59	16,4± 5,41	–
4	Педігрі Z 98-343	104	–	–	85,61±3,56	14,39±3,42	–
5	Педігрі Z 98-349	34	–	–	100	–	–
6	Педігрі Z 98-348	60	–	–	86,7±3,67	13,3± 4,21	–
7	Педігрі Z 98-347	138	–	–	87,5±3,01	12,5± 2,8	–
8	Педігрі Z 98-203	192	–	–	86,45±2,48	13,55±2,48	–
9	Педігрі E** 98-203	180	–	–	90±2,24	10± 2,24	–
10	Педігрі E 98-357	38	–	–	89,47±4,98	8±4,4	–
11	Супереліта E 98-203	122	1,6±1,14	–	64,5±4,30	33,9±4,35	–

*Z – група рослин після літнього добору за вмістом цукру;

** – група рослин після літнього добору за масою коренеплоду.

За допомогою методу індивідуального добору було показано, що серед педігрі урожайного й цукристого напрямків виділялись 13,5–16,0 % анеуплоїдів, а їх кількість перевищувала для деяких індивідуальних селекційних номерів їх частку у вихідній поліплоїдній популяції. Встановлено, що аналіз за фізіологічними показниками впливає на стабілізацію рівня геному, часто виділяючи при цьому із поліплоїдної популяції до 100 % тетраплоїдів.

За результатом спільних досліджень лабораторії цитогенетики й відділу селекції, у процесі створення популяцій багатонасінних запилювачів Ялтушківської ДСС було розроблено спосіб формування синтетичних тетраплоїдних популяцій на цитогенетичній основі [7, 8]. На ЯДСС цим способом були сформовані в умовах групових ізоляторів синтетичні популяції тетраплоїдних багатонасінних запилювачів Я/Рой і Я/ДА. Синтетична популяція Я/Рой була сформована з 50 коренеплодів тетраплоїдної форми, п'яти клональних ліній (№ 4, 7, 16, 31, 32). Результативність добору вивчали на буряках першого року вегетації як за кількістю хромосом, так і з використанням аналізатора плоїдності АП «Partec» (табл. 3).

Відбирали тетраплоїдні рослини, вирівнянні за фертильністю і розміром пилоквих зерен. Вводили в культуру *in vitro* квітконосні пагони за методикою, розробленою в лабораторії біотехнології ІБКіЦБ [13]. Тиражували і вкорінювали лише експланти з високим відсотком бівалентної конюгації хромосом гомологів в метафазі I мейозу (70–90 %). Як показують дані таблиці 3, такий добір сприяє цитогенетичній стабільності поліплоїдних гамет – (диплоїдизації тетраплоїдів за структурою бівалентів) і високому їх виходу в наступній генерації насіння – 92,9 % $4x$, при цьому кількість анеуплоїдів не перевищувала 2,1 %.

Таблиця 3

Вплив способів добору на структуру за рівнем геному поліплоїдної популяції багатонасінного запилювача буряків цукрових Я/Рой (2006 р.)

№ п/п	Походження насінневого матеріалу	Спосіб добору насінників 4x	Кількість рослин, шт.	Аналіз плоідності, * %				
				2n P±mp	3n P±mp	4n P±mp	анеуплоїди P±mp	міксоплоїди P±mp
1	Я/Рой ЯДСС	1a, 1б **	706	0,1±0,1	28,7±1,7	60,9±3,37	9,2±1,09	0,9±0,36
2	Я/Рой ЯДСС	Клональні лінії*** № 7; 31; 32; 16; 4	282	–	0,3±0,20	92,9±1,53	2,1±0,85	4,6±1,25

* Аналіз плоідності проведений на АП «Partec» за кількісним вмістом ядерної ДНК в клітині;

** 1a, 1б – добір насінників 4x за класифікацією Н. Е. Зайковської;

*** 7, 31, 32, 16, 4 – добір насінників 4x за результатами цитогенетичного аналізу мейозу.

На рисунку 4 зображено структуру хромосом гомологів в метафазі I мейозу в тетраплоїдній лінії багатонасінного запилювача Я/Рой і мікроклональне розмноження відібраних тетраплоїдів.

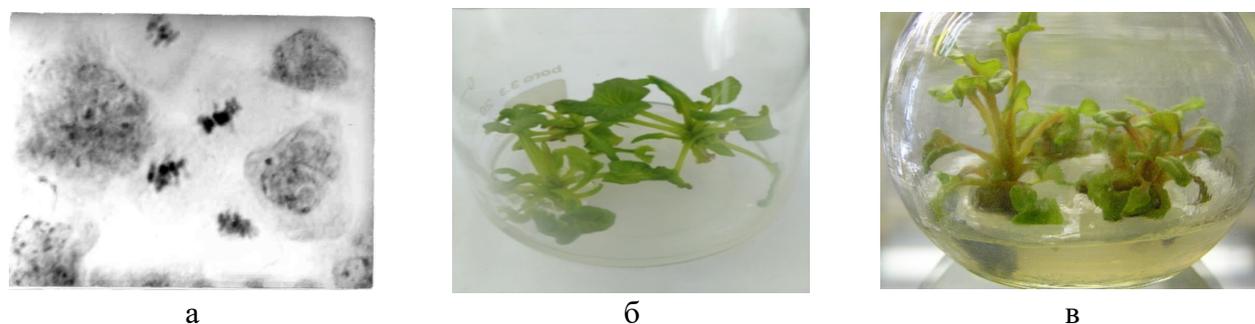


Рис. 4. Добір селекційних матеріалів тетраплоїдної форми за структурою бівалентної коньюгації хромосом в мейозі: а) метафаза I мейозу в тетраплоїдної форми буряків цукрових; б) диплоїдні біотехнологічні лінії *in vitro*; в) тетраплоїдна біотехнологічна лінія запилювача Я/Рой *in vitro*

За результатами впровадження методів створення стабілізації і відтворення тетраплоїдних багатонасінних запилювачів в селекційному процесі ЯДСС розроблено ДСТУ 7002:2009 та ДСТУ 8200:2015 [6, 9].

Серед нових гібридів буряків цукрових, занесених до реєстру сортів України, є триплоїдні, у яких батьківськими компонентами схрещування є багатонасінні запилювачі, і які перевищують стандарт за урожайністю коренеплодів на 112,6 % і збором цукру на 113,9 %. Досліджена продуктивність на ранніх стадіях вегетативного розвитку експериментальних триплоїдних гібридів ЯДСС на основі нової зародкової плазми дикого виду *Beta patula* L. з тривалістю вегетації 4–5 місяців [14]. Маса коренеплодів змінювалась залежно від селекційних номерів триплоїдних рослин від 325 до 465 г. Уміст сухої речовини для деяких номерів мав значення 29,5 %, а цукристість – 21,5 %. Показники кондуктометричної золи у триплоїдних гібридів змінювались від 0,328 до 0,528 %.

За результатами досліджень, висока продуктивність триплоїдних гібридів на ранніх етапах вегетативного розвитку забезпечується не тільки гетерозисним ефектом триплоїдного геному, але й за рахунок комбінаційної здатності батьківських форм [3, 15]. У зв'язку з цим робота з селекції триплоїдних гібридів може бути розділена на два етапи, які відрізняються своїм завданням і методами: перший – створення та оцінка тетраплоїдних форм буряків, як вихідного матеріалу для селекції; другий – оцінка компонентів схрещування за комбінаційною здатністю з метою одержання високогетерозисних гібридів.

Нові триплоїдні гібриди з використанням кращих тетраплоїдних ліній занесені до Реєстру сортів України. Сьогодні в лабораторії апоміксису і поліплоїдії Ялтушківської ДСС

проводиться стабілізація за рівнем плоідності базових популяцій тетраплоїдних багатонасінних запилювачів, компонентів гібридів на ЧС основі, використовуються методи валентних схрещувань $4x \times 2x$, $3x \times 3x$ для індукції мейотичних тетраплоїдів з метою передачі кращих ознак маси коренеплодів і цукристості у міжвидових і міжродових схрещуваннях.

Використана література

1. Роїк М. В., Перетятко В. Г. Генетика і її вплив на селекцію цукрових буряків. *Цукрові буряки*. 2000. № 2. С. 6–7.
2. Bormotov V. E. Autopolyploidy and fertility. *Tag.Ber., Akad. Zandwirtsch. Berlin (DDR)*. 1976. P. 51–62.
3. Deuter M., Fischer H., Melzer R. Zur Probnatik der Verbesserung der Keimfahigkeit poluploider Zuckerruben auf genetischen and zutologischen Grundlage. *Der Internationalen arbeitstagund vom 20 bis 24. October*. Berlin. 1976. P. 170–176.
4. Роїк М. В., Ковальчук Н. С., Федорошак Л. Г. та ін. Нові методи диференціації і добору тетраплоїдних багатонасінних запилювачів. *Вісник аграрної науки*. 2007. № 3. С. 55–59.
5. Dittrich W. 1971: Impulsfluorometric – ein neuartiges Durchflubverfakreu zur ultraschnellen Mengen bestimmung von Zellinhaltsstoffen. a) Vortrag XIII. Symp.d.Ges.f. Histochemil, 1969. Gras. b) Acta histochem. 1971 (jena) Suppl. X. 429.
6. ДСТУ 8200:2015. Буряки цукрові. Методи створення тетраплоїдних багатонасінних запилювачів. Київ : Держстандарт України, 2017. 15 с.
7. Держпатент. Спосіб формування синтетичних популяцій у цукрових буряків на цитогенетичній основі. Україна (19) № 3835. (51) 7 A01p4/00,15.12.2004. Бюл. №12).
8. Bosermark N. O. On the origin and consequences of aneuploidy in triploid and tetraploid sugar beets. *Journal of the IIRB. Rosenhof*. 1966. Vol. 2. P. 9–34.
9. ДСТУ 7002:2009. Буряки цукрові. Поліплоїдні. Насіння. Методи визначення однорідності і стабільності за ступенем плоідності. Київ : Держстандарт України, 2009. 14 с.
10. Роїк М. В., Ковальчук Н. С. Аналіз мінливості рівня плоідності геному вихідних селекційних матеріалів цукрових буряків з використанням технології аналізатора плоідності «Partec». Методичні рекомендації. Київ, 2006. 40 с.
11. Дубровна О. В., Лялько І. І. Цитогенетична мінливість рослин-регенерантів цукрових буряків, отриманих шляхом прямої регенерації з експлантів різної плоідності. *Фактори експериментальної еволюції організмів*. 2004. С. 54–59.
12. 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. 60 с.
13. ДСТУ 6055:2008. Буряки цукрові. Методи отримання розсади клональним мікророзмноженням. Київ : Держстандарт України, 2010. 11 с.
14. Роїк М. В., Ковальчук Н. С., Балагура О. В. та ін. Дослідження адаптаційного потенціалу нових стерильних цитоплазм *Beta patula* і *B. maritima* L. від диких видів роду *Beta* L.: зимостійкість і показники раннього закладання цукрів в інтродукційних алоплазматичних ліній. *Новітні агротехнології*. 2023. Т. 11, № 1. doi: 10.47414/na.11.1.2023.279933
15. Роїк М. В., Ковальчук Н. С. Проблема ідентифікації рівня геному трансгенних триплоїдних гібридів цукрових буряків. *Генетично модифіковані рослини: перспективи та проблеми*. Київ, 2003. С. 120–126.

References

1. Roik, M. V., & Peretiatko, V. H. (2000). Genetics and its influence on the sugar beet breeding. *Sugar Beet*, 2, 6–7. [In Ukrainian]
2. Bormotov, V. E. (1976). Autopolyploidy and fertility. *Tag. Ber., Akad. Zandwirtsch. Berlin (DDR)*, 51–62.
3. Deuter, M., Fischer, H., & Melzer, R. (1976). Zur Probnatik der Verbesserung der

Keimfähigkeit polyploider Zuckerruben auf genetischen and zutologischen Grundlage. *Der Internationalen arbeitstagund vom 20 bis 24. October. Berlin*, 170–176.

4. Roik, M. V., Kovalchuk, N. S., Fedoroshchak, L. H., Khimich, N. V., & Harmatiuk, N. V. (2007). New methods for differentiation and selection of tetraploid multigerm pollinators. *Bulletin of Agricultural Science*, 3, 55–59. [In Ukrainian]

5. Dittrich, W. (1971). Impulsfluorometric – ein neuartiges Durchflubverfakreu zur ultraschnellen Mengen bestimmung von Zellinhaltsstoffen. *Acta histochem (jena) Suppl.* X. 429.

6. *State Standard of Ukraine 8200:2015. Sugar beet. Methods of obtaining tetraploid multigerm pollinators.* (2017). Kyiv: Derzhstandart. [In Ukrainian]

7. Method of obtaining synthetic populations of sugar beet on the cytogenetic basis (2010). *State Standard of Ukraine (19) No: 3835 (51) 7 A01p4/00,15.12.2004.* Bulletin 12.

8. Bosemark, N. O. (1966). On the origin and consequences of aneuploidy in triploid and tetraploid sugar beets. *Journal of the IIRB*, 2, 9–34.

9. *State Standard of Ukraine 7002:2009. Sugar beet, polyploid, seeds: Methods of determination of uniformity and stability be the level of ploidy.* (2009). Kyiv: Derzhstandart. [In Ukrainian]

10. Roik, M. V., & Kovalchuk, N. S. (2006). Analysis of variability of the ploidy level of sugar beet breeding genotypes using Partec ploidy analyzer: guidelines. Kyiv: N. p. [In Ukrainian]

11. Dubrovna, O. V., Lialko, I. I., & Roik M. V. (Ed.). (2004). Cytogenetic variability of regenerated sugar beet plants obtained through direct regeneration from explants of different ploidy. *Factors of experimental evolution of organisms.* Kyiv: N. p. [In Ukrainian]

12. Prysiashnyuk, O. I., Karazhbei, H. M., Leshchuk, N. V., Tsyba, S. V., Mazhuha, K. M., Brovkin, V. V., ... Maslechkin, V. V. (2016). *Statistical analysis of agronomic experimental data using Statistica 10. Guidelines.* Kyiv: Nilan-LTD. [In Ukrainian]

13. *State Standard of Ukraine 6055:2008. Sugar beet. Method of obtaining seedlings by clonal micropropagation.* (2010). Kyiv: Derzhstandart. [In Ukrainian]

14. Roik, M. V., Kovalchuk, N. S., Balahura, O. V., Prysiashniuk, O. I., Boiko, I. I., Zinchenko, O. A., Bekh, N. S., Vlasiuk, L. H., Fedoroshchak S. D., & Orlov, S. D. (2023). Study of adaptive potential of new sterile cytoplasm *Beta patula* and *Beta maritima* belonging to wild species of *Beta L.* *Advanced Agritechnologies*, 11(1). doi: 10.47414/na.11.1.2023.279933

15. Roik, M. V., & Kovalchuk, N. S. (2003). The problem of genome-level identification of transgenic triploid sugar beet hybrids. *Genetically modified plants: prospects and problems* (pp. 120–126). Kyiv: N. p. [In Ukrainian]

UDC 633.63:631.52

Roik, M. V.¹, Kovalchuk, N. S.^{1*}, & Fedoroshchak, L. H.² (2023). Polyploidy in the history of breeding at the Yaltushkiv Experimental Breeding Station: new methods of differentiation and stabilisation of sugar beet tetraploids. *Scientific Papers of the Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet*, 31, 18–27. [In Ukrainian]

¹*Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet, NAAS of Ukraine, 25 Klinichna St., Kyiv, 03110, Ukraine, *e-mail: natalakovalcuk461@gmail.com*

²*Yaltushkiv Experimental Breeding Station of the IBCSB, Cheresheve, Bar district, Vinnytsia region, 23021, Ukraine*

Purpose. To analyse the history of the polyploid breeding at the Yaltushkiv Experimental Breeding Station, in particular the improvement of genetic models of new hybrids, new methods of induction of meiotic tetraploids, differentiation and selection of breeding genotypes by genome ploidy. **Methods.** Cytological analysis of metaphase chromosomes of the apical meristems of the growth points of seed plants and beets of the first year for the selection of tetraploid plants $4x = 36$ chromosomes; cytophotometric analysis using computer programs AP Partec to study ploidy based on the quantitative content of nuclear DNA; field methods (selection of tetraploid seed plants according to the types of pollen grains, formation of synthetic populations of tetraploid multigerm plants on a cytogenetic basis according to the structure of bivalent conjugation of homologous

chromosomes in meiosis. **Results.** In the process of tetraploid induction, cytological methods of ploidy analysis at the station were improved using computer programs of AP Partec for the selection of sugar beets $4x$ by the quantitative content of nuclear DNA in the cell on plants of the first year of vegetation and for the formation of tetraploid populations after colchicine induction in seed plants. In the process of studying the structure of polyploid populations by ploidy, the percentage of tetraploids varied from $82.0 \pm 2.22\%$ in Ya/Hen pollinator to $58.1 \pm 2.81\%$ in Ya/Man pollinator. It was established that the selection for fertility and pollen uniformity depends on the genetic characteristics of the breeding genotypes and affects the pollen-forming ability in the first generations after induction with colchicine, reducing the number of $4x$ *Ila* and *Iib* biotypes according to cytological classification. Using the example of the multigerm pollinator Ya/Roi, it was established that selection for sugar content and productivity had, to a certain extent, a stabilising effect on the degree of ploidy. The biotechnological methods used to deposit $4x$ genotypes with a high percentage of bivalent conjugation of homologous chromosomes in metaphase I of meiosis (70–90%) contributed to the cytogenetic stability of polyploid gametes and their high yield – 92.9% of $4x$ in the next generation of seeds. It was investigated that the productivity of triploid hybrids obtained with the use of the tetraploid pollinator Ya/DA $4x$ based on the germplasm of the wild species *Beta patula* at the early stages of vegetative development varied in triploid plants from 325 to 465 g, and the sugar content in some numbers reached 21.5%. **Conclusions.** The development of polyploid selection at the Yaltushkiv Experimental Breeding Station evolved from the development polyhybrids to the development of triploid hybrids based on CMS using tetraploid multigerm pollinators. For the formation of populations of tetraploid multigerm pollinators, the methods of fluorescent cytophotometry and computer programs AP Partec were used, as well as biotechnological methods for creating synthetic populations of tetraploid multigerm pollinators on a cytogenetic basis, which ensure the yield of tetraploids in seeds up to 92.9%.

Keywords: *sugar beets; tetraploids; ploidy analyser AP Partec; multigerm pollinators; polyhybrids; chromosomes; metaphase I.*

Надійшла / Received 18.08.2023

Погоджено до друку / Accepted 12.09.2023

РОСЛИНИЦТВО

УДК 338.3

DOI: <https://doi.org/10.47414/np.31.2023.292384>

Стартап національного проєкту «Українська картопля»

С. А. Володін¹, М. В. Роїк²

¹ТОВ «Інститут інноваційної біоекономіки», пр-т Голосіївський, 96, м. Київ, 03040, Україна, e-mail: ipraan@ukr.net

²Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН України, вул. Клінічна, 25, м. Київ, 03110, Україна

Мета. Метою дослідження є організація, проведення і з'ясування результатів експерименту з впровадження стартапу Національного проєкту «Українська картопля» у 2021 році. **Методи.** Використано діалектичні методи пізнання процесів і явищ, монографічний (аналіз результатів експерименту з впровадження стартапу Національного проєкту «Українська картопля»), абстрактно-логічний (теоретичні узагальнення та формування висновків), порівняльного аналізу (визначено причини і відмінності вирощування різних сортів картоплі на випробувально-демонстраційному полігоні «Вахнівка»), емпіричний (комплексна оцінка і аналіз об'єкта дослідження). **Результати.** Проведено експеримент зі створення ефективної ринково адаптованої системи освоєння, розмноження і впровадження у виробництво насінневого оздоровленого матеріалу картоплі вітчизняної селекції на кластерних засадах державно-приватного партнерства за участю науки, бізнесу, широкого кола виробників, що вирощують картоплю в агрогосподарствах і на присадибних ділянках. Ініціаторами і основними виконавцями стартапу є наукові установи НААН, базові сільгоспідприємства, інвестори. Ядро команди проєкту складає творчий колектив осіб – власників біологічних, економічних розробок, ринкових механізмів. **Висновки.** Проведено експеримент із перевірки і демонстрації переваг вітчизняних сортів картоплі та технологій її вирощування в умовах спільного виробництва науки і бізнесу. Досліджено потреби ринку та сформовано замовлення на створення нових сортів і оздоровленого насінневого матеріалу існуючих сортів, необхідних виробництву, і які користуються підвищеним попитом у споживачів.

Ключові слова: інноваційна біоекономіка; стартап «Українська картопля»; кластерна модель; картоплярство; бізнес-проєкт.

Вступ

Картопля є цінною продовольчою культурою, яку вважають «другим хлібом», вирощують переважно в домогосподарствах України, обсяг виробництва сягає 20 млн тонн картопляної продукції. В умовах економічної нестабільності виробничі площі і попит на цю продукцію зберігається практично незмінним, в той же час останніми роками (2021–2023 рр.) зростання цін на продукцію картоплярства значно відстає від росту цін на іншу овочеву продукцію (наприклад, борщового набору), що не сприяє високій ефективності вирощування картоплі в промислових масштабах за інтенсивними технологіями.

Загострення питання продовольчої безпеки в умовах воєнного стану, порушення економічних умов виробництва основної лінійки зернових і олійних культур змушує

фермерів звертати увагу на вирощування овочів і картоплі в невеликих промислових масштабах, які не потребують енергонасиченої техніки, значних складських приміщень, спеціальних переробних потужностей. Постає питання налагодження насінництва картоплі вітчизняних і іноземних сортів відповідно стандартів якості в обсязі потреб фермерів і населення, а також гострою є проблема реалізації насінневої і продовольчої продукції картоплярства за справедливими цінами, що забезпечують рентабельність виробництва цієї культури. Низька ефективність вирощування картоплі залежить в значній мірі від врожайності бульб. За даними статистики за 2022 р. [1] врожайність картоплі в Україні складає 16–17 т/га, а в економічно розвинутих країнах (Німеччина, Нідерланди, США) – 40–50 т/га, тобто в 2–2,5 рази більше.

Не дивлячись на власну наукову школу і традиції картоплярства, в Україні панують іноземні сорти і технології. Але найбільшу шкоду наносить розповсюдження фальсифікованого насіння вітчизняних і іноземних сортів популярних брендів, яке продається підприємствам і населенню без документального підтвердження якості і походження.

У той же час у споживачів росте попит на вітчизняні сорти картоплі, які забезпечують високий врожай бульб за найменших витрат коштів і технічних ресурсів, відрізняються позабутими смаковими якостями.

Стан та перспективи розвитку картоплярства в Україні на основі використання сортів вітчизняної селекції, наукового та інноваційного потенціалу вітчизняної дослідно-експериментальної бази насінництва картоплярства підтверджується в роботах провідних вчених – біологів, економістів [2], зокрема Бондарчука А.А., Верменка Ю.А., Борівського А.Ф., Гордієнка В.В., Захарчук Н.А., Олійник Т.М., Слободян С.О., Гордійчука М.П.

Селекційна школа створення вітчизняних сортів картоплі розвивається під керівництвом директора Інституту картоплярства НААН Фурдиги М.М. [3]. Проблеми і перспективи розвитку ринку картоплі в Україні досліджуються Артюх Т., Безмерною О., Мельник Д., Гулько С.М., Давиденко А.Ю., Гулько Т.С., зокрема Дейнегою І.О., Дейнегою О.В., Якубовською Н.В. проаналізовано особливості оцінювання і впливу на ринкові параметри життєвого циклу продукції картоплярства [4].

Інтеграція аграрної науки і бізнесу, створення інноваційних платформ розвитку наукоємної аграрної сфери, просування наукових інновацій у виробництво на основі кластерних систем державно-приватного партнерства досліджується в Інституті інноваційної біоекономіки з 2001 р. і реалізується у формі стартапів наукоємного бізнесу під керівництвом Володіна С.А. [5–7]. Стартапи реалізуються у співпраці з різними науковими установами рослинницького напрямку, які мають наукові розробки з інноваційним потенціалом, що визначається провідними фахівцями галузі під керівництвом голови центру компетенцій інноваційної біоекономіки Роїка М.В. [8].

Метою статті є дослідження результатів експерименту з впровадження стартапу Нацпроєкту «Українська картопля» у 2021 році.

Матеріали та методика досліджень

Дослідження було проведено на випробувально-демонстраційному полігоні «Вахнівка» Липовецького району Вінницької області. Сучасні діалектичні методи пізнання процесів і явищ, монографічний метод були використані для аналізу результатів експерименту з впровадження стартапу Національного проєкту «Українська картопля», а також математично-статистичні методи, що включають дисперсійний та кореляційно-регресійний аналізи, використані для оцінки отриманих результатів.

Проаналізували 5 сортів сертифікованого насіння (Щедрик, Мирослава, Княгиня, Скарбниця, Околиця) для розширеного відтворення і реалізації, провели випробування 16 вітчизняних сортів, 14 іноземних сортів.

Проведено три сезонних заходи наукового супроводу процесу вирощування Інститутом картоплярства, насінневий матеріал оцінено і сертифіковано.

Економічні показники

Сорт	Інститут картоплярства – 20 га			Поліське дослідне відділення ІК– 10 га		Калнінівський опорний пункт – 10 га	РАЗОМ
	Щедрик	Мирoslава	Скарбниця	Скарбниця	Околиця	Околиця	
Площа, га	5	10	5	5	5	10	40
Урожайність, т/га	30	35	30	30	35	35	33 середнє
Валовий збір, т	150	350	150	150	175	350	1325
Вихід насінневої фракції - т/га	22,5	28	21	21	29,75	29,75	-
Вихід насінневої фракції – т, всього	112	280	105	150	175	300	1122
Витрати всього, грн./га	116 400	132 400	114 400	114 400	114 400	114 400	706 400
Собівартість, грн./т	3880	3783	3813	3813	3269	3269	
Реалізаційна ціна, грн./т	15000	25000	15000	15000	15000	15000	
Виручка від реалізації, грн./га	337 500	700 000	315 000	315 000	446 250	446 250	2 560 000
Чистий дохід, грн./га	221 100	567 600	200 600	200 600	331 850	331 850	1 853 600
Рентабельність, %	189,9	428,7	175,3	175,3	290,1	290,1	262%

Результати досліджень

Реалізація державної програми розвитку вітчизняного професійного картоплярства потребує значних фінансових і технологічних ресурсів. Державна дослідно-експериментальна база може забезпечити створення наукових розробок та промислових зразків, але не в змозі конкурувати на ринку із іноземними компаніями. Необхідна інтегрована науково-інноваційна система виробництва і реалізації вітчизняного насінневого матеріалу картоплі на засадах партнерства науки і бізнесу.

Інститутом інноваційної біоекономіки за участі та на базі Інституту картоплярства НААН, його дослідно-виробничої мережі реалізується Національний проєкт «Українська картопля» з виробництва насінневого матеріалу картоплі нішевих (затребуваних ринком) сортів.

У межах проєкту розроблено модель партнерства науки і бізнесу із забезпечення потреб виробників картоплі якісним насінневим матеріалом на безвірусній основі шляхом створення та розвитку на державно-приватних засадах інноваційного кластера «Українська картопля» (рис. 1).



Рис. 1. Кластерна модель нацпроєкту «Українська картопля»
[Складено авторами]

Державний сегмент науки представляє Інститут картоплярства НААН, який є головною установою з виконання наукових досліджень у рамках ПНД «Картоплярство», основними напрямками досліджень якої є: селекція, насінництво, біотехнологія, імунологія, технологія виробництва, зберігання та переробка картоплі, маркетингово-економічні дослідження. Через економічну кризу та відсутність державної підтримки для виробників насінневої картоплі високих категорій щороку спостерігається процес зниження обсягів виробництва високоякісного насіння картоплі та порушення системи проведення сортооновлення в науково-обґрунтовані строки у різних ґрунтово-кліматичних зонах країни.

Стратегія селекції картоплі на сучасному етапі зорієнтована на високий потенціал адаптивності за основними ознаками підвищення якості та біологічної цінності кінцевого продукту з урахуванням перспектив промислової переробки на крохмаль і комплекс картоплепродуктів, існуючих та прогнозованих вимог внутрішнього та зовнішнього ринків.

До Державного реєстру сортів рослин України у 2021 році внесено 198 сортів. Серед сортів Реєстру 115 належить до зарубіжної селекції та 83 сорти – до української, серед яких Інституту картоплярства НААН – 67 сорти, іншим селекційним установам – 16 сортів.

Урожайність сортів української селекції у дослідженнях співвиконавців ПНД Картоплярство сягала у сорту МІСТЕРІЯ 46,7 т/га, Щедрик, Мирослава – 45 т/га, Меланія – 43,3 т/га, що підтверджує практика.

Недержавний сегмент науки, що забезпечує зв'язок із бізнесом, представляє Інститут інноваційної біоекономіки – головна установа з виконання програми наукових досліджень НААН «Інноваційна біоекономіка» (2021–2025 рр.). Інститут на основі методології інноваційного провайдингу – новостворень і нововведень на підприємницьких засадах забезпечує консалтинговий супровід розроблення та впровадження Нацпроекту «Українська картопля» у форматі державно-приватного партнерства науки і бізнесу.

Завданням проекту є створення та апробація науково-інноваційного кластеру з:

- розмноження та розповсюдження насіння вітчизняних сортів картоплі на базі недержавних агропідприємств;
- контрактація на форвардних умовах та виробництво картоплі в товарних господарствах і домогосподарствах оригінальної якості відповідно до сортових характеристик;
- відпрацювання системи збирання, зберігання і реалізації картопляної продукції через власну та партнерську збутову мережу під брендом «Українська картопля».

З метою підвищення ефективності і реалізації інноваційного потенціалу аграрної науки, забезпечення промислових і приватних виробників картоплі якісним оригінальним насінневим матеріалом сортів, затребуваних ринком, на безвірусній основі, відпрацювання кластерної моделі інтеграції науки і бізнесу, залучення інвестицій у розвиток об'єктів селекції і насінництва, збільшення конкурентоспроможності вітчизняної продукції і зменшення імпортозалежності у сфері картоплярства, проведено експеримент у 2021 р. з впровадження стартапу «Українська картопля» (рис. 2), затвердженого НААН.

Предметом стартапу «Українська картопля» є апробація складових Національного проекту на кластерних засадах державно-приватного партнерства науки і бізнесу, задоволення потреб промислових і приватних виробників картоплі в якісному насінневому матеріалі вітчизняних сортів на основі інтегрованої фірмової системи замовлення, освоєння, розмноження і розповсюдження науково-інноваційної продукції.

За схемою стартап-експерименту Інститут інноваційної біоекономіки виконує функцію провайдера стартапу, який забезпечує формування фонду фінансування стартапу за рахунок недержавних коштів, викуп насінневого матеріалу Інституту картоплярства НААН, залучення бізнес-ресурсів в стартап та виконання промислових і аматорських виробничих практик з вирощування насінневої і продовольчої картоплі, а також практик з реалізації картопляної продукції в торгових і соціальних мережах м. Києва та м. Вінниці.



Рис. 2. Схема організації стартапу «Українська картопля»
[Складено авторами]

Впровадження стартапу «Українська картопля» (рис. 3) мало за мету:

- провести експеримент з перевірки і демонстрації переваг насіння вітчизняних сортів картоплі на бізнес-засадах в промислових і аматорських господарствах;
- сформуванати замовлення, створити експериментальний насінневий фонд доbazового матеріалу картоплі, здійснити розмноження і впровадження на ринку сертифікованого насіння;

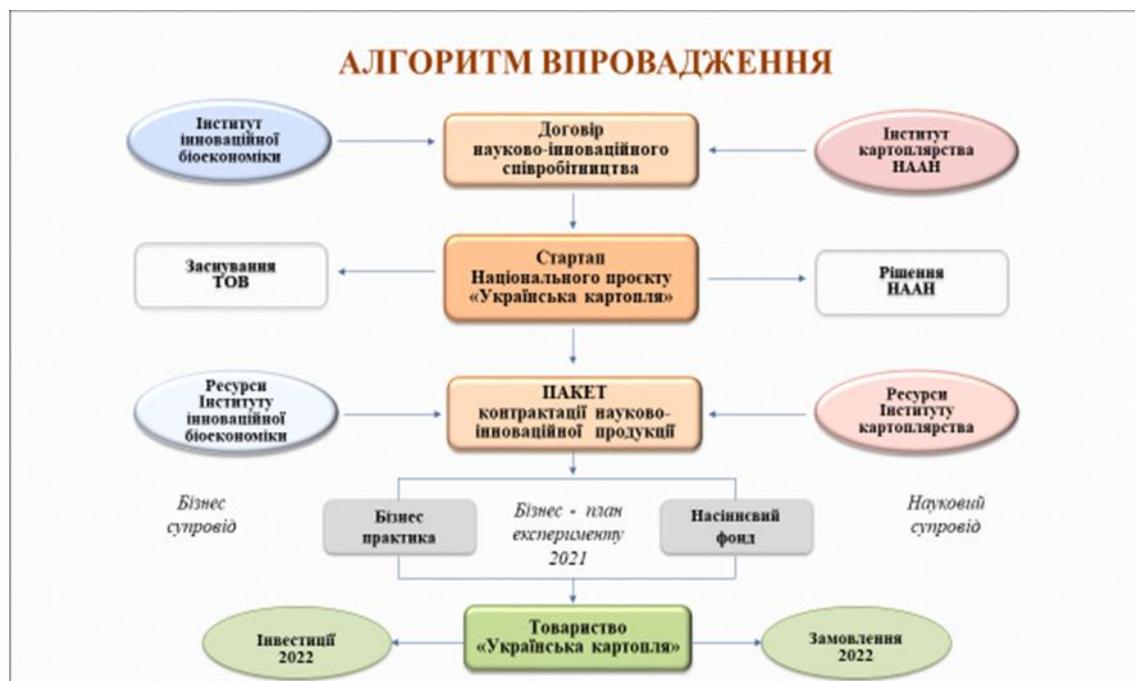


Рис. 3. Алгоритм впровадження стартапу «Українська картопля»
[Складено авторами]

- організувати спільне виробництво з вирощування картопляної продукції на базі зацікавлених господарств;
- представити в споживчих і торгових мережах високоякісну картопляну продукцію вітчизняної селекції, запровадити рух за відродження національних традицій;

- заснувати товариство на базі інтелектуальних надбань науки, інвестиційних ресурсів бізнесу, базових виробників і аматорів з розповсюдження оригінального насінневого матеріалу української селекції.

Бізнес-модель стартапу ґрунтується на умовах науково-інноваційного співробітництва дослідних установ і бізнес-підприємств щодо створення і розповсюдження селекційно-технологічних ресурсів в наукоємній сфері та виробничій сфері галузі картоплярства. Економіко-правовий механізм створення та трансферу біоінновацій сформовано Інститутом інноваційної біоекономіки. Наповнення бізнес-проєкту науковими біоінноваціями здійснено на основі розробок і ресурсів Інституту картоплярства і його мережі. Капіталізацію розробок і комерціалізацію інноваційної продукції здійснено бізнес-інкубатором Інституту інноваційної біоекономіки.

Проведено попередні ринкові кон'юнктурні дослідження, доведено, що на ринку домінують насінневі матеріали і технології іноземних компаній, які створюють дочірні підприємства – дилерів, об'єднуються в асоціації, лобіюють правила відкритого ринку, спрощення карантинних вимог і сертифікації насінневої продукції в Україні. Якісний насінневий матеріал постачається переважно із Нідерландів, Німеччини, Польщі, вітчизняна селекція не розмножується до промислових партій і в більшості своїй заражена хворобами і шкідниками.

Провайдинг стартапу здійснено на підставі договорів між інститутами, а також шляхом залучення на кластерних умовах бізнес-партнерів і господарств населення за контрактами Інституту інноваційної біоекономіки.

Фінансові ресурси стартапу сформовано із внесків учасників експерименту, грантів на освоєння стартапу проєкту, кредиту на запуск репродукційного виробництва, всього на суму 2 млн грн з врахуванням дольової участі базових господарств і комерційних замовників.

Результати експерименту з впровадження стартапу Нацпроєкту «Українська картопля» у 2021 році такі:

1. Система замовлення і розповсюдження селекційного матеріалу – обсяг замовлення елітного насіння Інституту картоплярства 37 240 кг, з них насіння стандартної фракції 13 840 кг.

2. Промислові практики (рис. 4) – відпрацьовано на випробувально-демонстраційному полігоні «Вахнівка» Липовецького району Вінницької області. Площа земельної ділянки 6 га, дослід 1 (5,7 га) – вирощування сертифікованого насіння для розширеного відтворення і реалізації (5 сортів – Щедрик, Мирослава, Княгиня, Скарбниця, Околиця). Дослід 2 (0,15 га) – порівняльні випробування вітчизняних сортів (16 сортів). Дослід 3 (0,2 га) – порівняльні випробування іноземних сортів (14 сортів). У результаті вирощено 150 т насінневої картоплі, середня урожайність 25 т/га, вихід насінневої фракції більше 70 %. Проведено три сезонних заходи наукового супроводу процесу вирощування Інститутом картоплярства, насінневий матеріал оцінено і сертифіковано. Рекомендовано залучення базових господарств для розмноження на промисловій основі і реалізації сертифікованого насіння товаровиробникам картоплі вітчизняної селекції.



Рис. 4. Промислові практики старту Нацпроєкту «Українська картопля»
[Складено авторами]

3. Аматорські практики (рис. 5) – закладено в різних регіонах України випробувально-демонстраційні досліді з вирощування насіннєвого матеріалу в умовах присадибних ділянок (6 ділянок загальною площею 26,1 сотки) – Київська, Вінницька, Одеська, Івано-Франківська, Донецька області.



Рис. 5. Аматорські практики старту Нацпроєкту «Українська картопля»
[Складено авторами]

Одержано продукції на 50 % більше, ніж торік в домогосподарствах, якість насіння відповідає вимогам. Рекомендовано для поширення досвіду щодо розповсюдження насінневого матеріалу в умовах територіальних громад.

4. Комерційні практики (рис. 6) – проведено апробацію просування кінцевим споживачам продовольчої і насіннєвої картоплі на базі лабораторії вивчення споживчого попиту, відпрацьовано рекламно-презентаційні матеріали, проведено низку виставок-акцій із демонстрацією, дегустацією і реалізацією спільної картопляної продукції вітчизняних сортів в Голосіївському районі м. Києва. Організовано мережу поставок популярних видів картоплі (Мирослава, Княгиня, Щедрик, Хортиця, Марфуша) під замовлення населення, сформовані групи споживачів картоплі національної смакової якості, рекомендовано для тиражування в мегаполісах в сезонні цикли 2022 р.



Рис. 6. Комерційні практики стартапу Нацпроєкту «Українська картопля»
[Складено авторами]

У процесі реалізації експерименту з впровадження стартапу Національного проєкту «Українська картопля»: відпрацьовано проєктний менеджмент з організації на договірних умовах і фінансування стартапу за рахунок виключно недержавних коштів, сезонна окупність 100–150 % рентабельності; без підготовки використано залишковий насіннєвий матеріал Інституту картоплярства, який, незважаючи на неоптимальні умови, показав свій високий генетичний потенціал; промислове розмноження насінневого матеріалу з розповсюдження сертифікованого насіння може здійснюватися за форвардними контрактами на дольових умовах з агропідприємствами, середня площа ділянки розсадника – 10 га, з врахуванням сівозмін – 40 га; аматорське вирощування насінневого матеріалу в умовах присадибних ділянок – це шлях в територіальні громади, населення яких сьогодні дають 98% продукції картоплярства. Експериментально підтверджено, що ринок оригінальної продукції вітчизняного картоплярства на даному етапі програно, необхідний комплекс заходів і інвестицій для відродження попиту торгових і споживчих мереж – поціновувачів традиційної української кухні.

За результатами експерименту з впровадження стартапу Національного проєкту «Українська картопля» пропонується:

- проаналізувати і розповсюдити в мережі установ НААН, в сфері агропромислового комплексу рекомендації щодо використання результатів експерименту з впровадження стартапу Національного проєкту «Українська картопля»;

- розробити та запровадити проєкт масштабування стартапу «Українська картопля» у 2022–2023 рр. в умовах кількох регіонів і територіальних громад з вирощування і розповсюдження оригінальних перспективних сортів картоплі вітчизняної селекції на безвірусній основі;

- мобілізувати інтелектуальні, селекційно-технологічні ресурси, дослідно-виробничу базу наукових установ на реалізацію проєктних завдань і показників;

- сформувані на договірних засадах державно-приватного партнерства бізнес-кластер з вирощування і розповсюдження насінневого матеріалу картоплі за участю професійних виробників і аматорів за підтримкою територіальних громад, переробних і торгових компаній, інвесторів в проєктному обсязі;

- провести відбір перспективних сортів і технологій, оформити ексклюзивні права на їх ринкове використання та передати у комерційну концесію спільному товариству «Українська картопля» щодо розповсюдження інноваційної продукції із залученням інвестицій на бізнес-засадах з гарантованою оплатою роялті і послуг наукового супроводу;

- обґрунтувати ринкові підходи і запропонувати державно-приватну систему освоєння і розповсюдження науково-інноваційної продукції на засадах партнерства науки і бізнесу на програмній платформі «Українська селекція».

Інститутом інноваційної біоекономіки, разом з Інститутом картоплярства підготовлено комплекс заходів з метою широкого розповсюдження результатів експерименту з впровадження стартапу Національного проєкту «Українська картопля» на 2022 рік.

Висновки

Результати експерименту з впровадження стартапу Національного проєкту «Українська картопля» показало, що вперше в практиці наукових досліджень і бізнес-впровадженнь установи економічного і біологічного профілю здійснили на договірних умовах комплекс заходів щодо замовлення, освоєння селекційних ресурсів і технологій, розмноження в професійних і аматорських умовах і реалізації в торгових і споживчих мережах цінного матеріалу вітчизняних сортів картоплі традиційних для українського столу смакових якостей.

В умовах обмеженого державного фінансування науки, скорочення виробничої бази державних дослідних підприємств кластерна модель розвитку на засадах інноваційної біоекономіки та державно-приватного партнерства є чи не єдиним шляхом інтеграції наукових досягнень в ринкове середовище, надання зацікавленим виробникам і споживачам конкурентних наукових інновацій, в тому числі в таких важливих сегментах продовольчого забезпечення населення, як картоплярство.

За результатами експерименту доведено:

- вітчизняна наука картоплярства має затребувані ринком сорти і технології, які не поступаються найкращим іноземним аналогам;

- бізнес зацікавлений в розмноженні і розповсюдженні високоякісного насінневого матеріалу вітчизняних сортів картоплі за прозорими «правилами гри» зі сплатою роялті за комерційне використання селекційних досягнень;

- населення, що вирощує 98 % картоплі в Україні, потребує доступу до якісних насінневих ресурсів, виробництво яких може бути в кожній територіальній громаді;

- фальсифікований товар під назвою український, вирощений в Україні, не є оригінальною продукцією вітчизняної селекційної школи, потрібний комплекс маркетингових заходів щодо відродження смакових якостей традиційного українського столу для повернення населенню найулюбленіших блюд і гарантій безпечності продуктів харчування.

Використана література

1. Рослиництво України 2021: статистичний збірник. Київ, 2022. 183 с.
2. Картоплярство України. 2014. № 3–4.

3. Фурдига М. М. Адаптивна здатність та потенційні властивості сортів картоплі селекції Інституту картоплярства НААН. *Аграрні інновації*. 2023. № 12. С. 103–109.
4. Дейнега І. О., Дейнега О. В., Якубовська Н. В. Особливості оцінювання та впливу на ринкові параметри життєвого циклу продукції картоплярства. *Вісник Хмельницького національного університету*. 2010. № 5. С. 80–83.
5. Володін С. А. Технологічна платформа «Агротехнополіс» інноваційного розвитку наукоємної сфери АПК. *Економіка АПК*. 2016. № 5. С. 15–22.
6. Володін С. А. Стимулювання виробництва нішевих культур в Україні на основі фастплант-технологій. *Економіка АПК*. 2021. № 2. С. 82–90.
7. Володін С. А. Кластерна модель виробництва насіннєвого матеріалу вітчизняних сортів картоплі на безвірусній основі. *Економічний вісник Донбасу*. 2021. № 1. С. 52–60.
8. Роїк М. В., Чернуський В. В. Методологія використання інноваційних цифрових технологій у селекції рослин: Теорія і практика. Науково-методичні рекомендації. Київ : Аграрна наука, 2021. 60 с.

References

1. *Vegetation of Ukraine 2021: statistical collection*. (2022). Kyiv. [In Ukrainian]
2. *Potato production of Ukraine*, 2014, No. 3–4. [In Ukrainian]
3. Furdyga, M. M. (2023). Adaptive ability and potential properties of potato varieties selected by the Potato Institute of the National Academy of Sciences. *Agrarian Innovations*, 12, 103–109. [In Ukrainian]
4. Deinega, I. O., Deinega, O. V., & Yakubovska, N. V. (2010). Peculiarities of assessment and impact on market parameters of the life cycle of potato products. *Bulletin of the Khmelnytskyi National University*, 5, 80–83. [In Ukrainian]
5. Volodin, S. A. (2016). Technological platform “Agrotechnopolis” for innovative development of the science-intensive sphere of agriculture. *Economy of Agro-Industrial Complex*, 5, 15–22. [In Ukrainian]
6. Volodin, S. A. (2021). Stimulating the production of niche crops in Ukraine based on fast plant technologies. *Economy of Agro-Industrial Complex*, 2, 82–90. [In Ukrainian]
7. Volodin, S. A. (2021). Cluster model of seed production of domestic potato varieties on a virus-free basis. *Economic Herald of Donbass*, 1, 52–60. [In Ukrainian]
8. Roik, M. V., & Chernuskyi, V. V. (2021). *Methodology of using innovative digital technologies in plant breeding: Theory and practice. Scientific and methodological recommendations*. Kyiv: Agrarian Science. [In Ukrainian]

UDC 338.3

Volodin, S. A., & Roik, M. V. (2023). Startup of the national project “Ukrainian Potato”. *Scientific Papers of the Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet*, 31, 28–38. [In Ukrainian]

¹LLC “Institute of Innovative Bioeconomy”, 96 Holosiivskyi Ave., Kyiv, 03040, Ukraine, e-mail: iipuaan@ukr.net

²Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet, NAAS of Ukraine, 25 Klinichna St., Kyiv, 03110, Ukraine

Purpose. The purpose of the research was to organize, conduct and determine the results of the experiment on the implementation of the startup of the National Project “Ukrainian Potato” in 2021. **Methods.** Dialectical methods of learning processes and phenomena, monographic (analysis of the results of the experiment on the implementation of the start-up of the National Project “Ukrainian Potatoes”), abstract-logical (theoretical generalizations and formation of conclusions), comparative analysis (the reasons and differences of the cultivation of different potato varieties on the test and demonstration site “Vakhnivka” were determined), empirical (comprehensive assessment and analysis of the research object). **Results.** The experiment was conducted to create an effective market-adapted system of development, propagation and introduction into the production of improved potato planting material of Ukrainian selection on the cluster basis of

public-private partnership with the participation of scientists, business, and a wide range of producers who grow potatoe on farms and in private vegetable gardens. The initiators and main performers of the startup are scientific institutions of the National Academy of Sciences, agricultural enterprises, and investors. The core of the project team consists of a creative team of individuals who are the owners of biological, economic developments, and market mechanisms. **Conclusions.** An experiment was conducted to verify and demonstrate the advantages of domestic potato varieties and technologies for their cultivation in the conditions of joint production of science and business. The needs of the market were studied and an order for the creation of new varieties and improved planting material of existing varieties necessary for production was developed.

Keywords: *innovative bioeconomy; start-up “Ukrainian potatoes”; cluster model; potato cultivation; business project.*

Надійшла / Received 23.08.2023

Погоджено до друку / Accepted 13.09.2023

УДК 633.9: 631.5

DOI: <https://doi.org/10.47414/np.31.2023.292388>

Уміст сухої речовини та хлорофілів у рослинах павловнії різних років вегетації в умовах Правобережного Лісостепу України

Л. М. Карпук*, В. А. Тітаренко

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

Мета. Визначити вплив основного удобрення, застосування кріопротектора та позакореневого підживлення на формування вмісту сухої речовини та фотосинтетичних пігментів – хлорофілів *a* і *b* у різновікових насадженнях павловнії. **Методи.** Дослідження проводили впродовж 2021–2023 рр. на дослідній ділянці НВЦ Білоцерківського національного аграрного університету, що розташована в лісовому масиві Правобережного Лісостепу України (Київська обл.). Схема досліду: фактор А – удобрення: 1) без добрив, 2) органічне добриво Вермикомпост до закладання плантації (400 кг/га); фактор Б – обробка рослин кріопротектором: 1) без кріопротектора, 2) кріопротектор Марс-EL (0,5 л/га) на початку відростання листків; фактор В – позакоренеve підживлення: 1) без обробки, 2) Квантум-АміНоФрост (1,5 л/га), 3) SmartGrow Відновлення (2,0 л/га). **Результати.** У перший рік вегетації у фазі цвітіння середній вміст сухої речовини в рослинах павловнії становив 44,8 %, хлорофілу *a* і *b* – 2,6 і 1,5 мг/кг, контрольний варіант – 43,6 %, 2,14 і 1,43 мг/кг відповідно. Найвищі по досліді показники одержано у варіанті удобрення плантацій органічним добривом Вермикомпост, а також застосування в період вегетації культури обробки рослин кріопротектором Марс-EL та позакореневого підживлення антистресантами Квантум-АміНоФрост або SmartGrow Відновлення: вміст сухої речовини – 46,4 і 46,9 %, хлорофілу *a* – 2,80 і 2,89 мг/кг, хлорофілу *b* – 1,59 і 1,65 мг/кг відповідно. У дворічних насадженнях культури середній за варіантами вміст сухої речовини був на рівні 45,7 %, хлорофілів *a* і *b* – 2,74 і 1,54 мг/кг, тоді як у контрольному варіанті ці показники були істотно нижчими – 45,2 %, 2,24 і 1,24 мг/кг відповідно. Як і попереднього року, максимальні значення як вмісту сухої речовини (46,2–46,3 %), так і фотосинтетичних пігментів (хлорофіл *a* – 2,89–3,01 мг/кг, хлорофіл *b* – 1,66–1,70 мг/кг) одержано у варіантах поєднання всіх трьох факторів досліду. У третій рік вегетації насаджень павловнії у фазі цвітіння в середньому за варіантами досліду в стеблах містилось 51,2 % сухої речовини, вміст у листках хлорофілу *a* становив 3,95 мг/кг, хлорофілу *b* – 2,84 мг/кг, контрольний варіант –

49,7 %, 3,71 і 2,51 мг/кг відповідно. Найвищі по досліді показники, як і два попередні роки, відзначено у варіантах комплексного застосування органічного добрива Вермикомпост, кріопротектора Марс-EL та антистресантів Квантум-АміНоФрост або SmartGrow Відновлення, де вміст сухої речовини становив 52,5–52,7 %, хлорофілу *a* – 4,05–4,07 мг/кг, хлорофілу *b* – 2,84–2,89 мг/кг. **Висновки.** Параметри формування показників вмісту в рослинах павловнії сухої речовини та фотосинтетичних пігментів значною мірою визначалися як застосовуваними в досліді агротехнічними заходами, а саме внесенням основного удобрення та обробленням рослин у період вегетації кріопротектором і антистресовими препаратами, так і віком рослин. Зокрема, у перші два роки вегетації насаджень культури вміст як сухої речовини, так і хлорофілів *a* і *b* у середньому за варіантами досліді був приблизно на одному рівні, тоді як на третій рік, у міру розвитку рослин, істотно збільшувався. Впродовж усіх років проведення досліджень найвищі показники вмісту сухої речовини та фотосинтетичних пігментів відзначено у варіантах комплексного застосування всіх трьох факторів досліді – удобрення, кріопротектора та показакореневого підживлення.

Ключові слова: органічне добриво; кріопротектор; позакоренеve підживлення; вміст хлорофілу *a*; вміст хлорофілу *b*; сума хлорофілів; суха речовина.

Вступ

Павловнія сьогодні отримала доволі широке поширення та комерційне використання і вирощується на великих площах у США, Бразилії, Парагваї та Індії [1, 2]. Такі біологічні характеристики рослин, як глибоко проникаючий стрижневий корінь, досить незначне галуження, яке прибирається в ранньому віці пасинкуванням, та швидкий ріст, роблять павловнію перспективним видом для багатьох галузей, зокрема біоенергетики та переробної промисловості [3, 4].

Завдяки здатності до швидкого росту павловнія має високий потенціал в аспектах використання для реабілітації деградованих земель, формування біоенергетичних плантацій та отримання сировини для меблів, пакувальної та переробної промисловості [5, 6].

Павловнія є рослиною, яка надзвичайно ефективно використовує сонячне випромінювання, тому під час створення насаджень значну увагу слід приділяти питанням оптимізації просторового розміщення рослин та власне рівню їх живлення. Адже надалі досить складно контролювати процеси, на відміну від одно- або навіть дворічних сільськогосподарських культур. Тому за вирощування павловнії, оптимізаційні параметри, що формуються на початку вирощування культури, пізніше змінити вже доволі важко. Власне через це й слід проводити оцінювання станів рослин у різні роки вегетації, в міру їх дорослішання та накопичення дедалі більших кількостей вегетативної маси [7].

Листя павловнії розташоване супротивно, зближуючись на кінцях гілок, велике в нижній частині стовбура, діаметром 75–80 см, яйцеподібне, широкоовальної форми, біля основи серцеподібне, цільне або зубчасте на кінцях у молодих рослин. У молодих рослин листя трикутне три- або п'ятилопатеve, густо опушене знизу, без прилистків, на довгих, опущених черешках [8, 9].

Під час вегетації рослини швидко ростуть і формують велику площу для поглинання вуглекислого газу (CO₂) та виділення кисню. Тому повне формування крони рослини й спостерігається фактично вже у першій половині вегетації. Загалом же одне дерево за годину може поглинути в середньому 22 кг вуглекислого газу та виділити 6 кг кисню, очищаючи тисячі кубометрів повітря, що має важливе екологічне значення [10, 11].

Отже, формування умов до утворення оптимальної фотосинтетично активної листової поверхні рослин павловнії та накопичення ними в листках хлорофілів є запорукою до утворення високих приростів біомаси.

Мета досліджень – визначити вплив основного удобрення, застосування кріопротектора та позакореневого підживлення на формування вмісту сухої речовини та фотосинтетичних пігментів – хлорофілів *a* і *b* у рослинах різновікових насаджень павловнії.

Матеріали та методика досліджень

Дослідження проводили впродовж 2021–2023 рр. на дослідній ділянці Навчально-виробничого центру Білоцерківського національного аграрного університету, розташованій в лісовому масиві Правобережного Лісостепу України (Київська обл.).

Аналіз гідротермічних умов показав, що загалом вони були сприятливими для росту й розвитку павлонії. Оскільки в перший рік вегетації рослин добрі умови зволоження сприяли їх високій приживлюваності. Аналогічно, і на другий рік вегетації було відзначено сприятливі показники вологозабезпечення за помірного впливу температур повітря. Умови ж третього року вегетації були досить складними для багатьох сільськогосподарських культур через значний дефіцит вологи та вплив високих температур повітря. Проте завдяки тому, що рослини павлонії добре вкорінилися, вони перенесли дію екстремальних погодних умов без значної шкоди чи втрати ефективності ростових процесів.

Ґрунтовий покрив дослідної ділянки представлений типовим вилугуваним чорноземом середньої глибини з низьким умістом вологи, що містить грубий піл, природну глину, мул і пісок у співвідношенні 49,9–58,3; 30,6–34,4; 18,7–24,2 та 9,9–19,4 % відповідно. За агрохімічними характеристиками цей ґрунт містить 3,5 % гумусу, 98 мг/кг легкогідролізованого азоту, 147 мг/кг фосфору і 128 мг/кг калію, гідролітична кислотність становить 17 мг-екв/кг ґрунту. Реакція ґрунтового розчину майже нейтральна (рН 6,7), ємність поглинання – 270 мг-екв/кг ґрунту.

У досліді передбачалось вивчення таких факторів:

Удобрення	Застосування кріопротектора	Позакореневе підживлення
Без добрива	Без кріопротектора	Без підживлення
		Квантум-АміНоФрост (1,5 л/га)
		SmartGrow Відновлення (2,0 л/га)
	Марс-EL (0,5 л/га) на початку відростання листків	Без підживлення
		Квантум-АміНоФрост (1,5 л/га)
		SmartGrow Відновлення (2,0 л/га)
Органічне добриво Вермикомпост (400 кг/га) до закладання плантації	Без кріопротектора	Без підживлення
		Квантум-АміНоФрост (1,5 л/га)
		SmartGrow Відновлення (2,0 л/га)
	Марс-EL (0,5 л/га) на початку відростання листків	Без підживлення
		Квантум-АміНоФрост (1,5 л/га)
		SmartGrow Відновлення (2,0 л/га)

Площа елементарної ділянки в досліді становила 120 м², повторність – триразова.

Вирощували сорт павлонії 'Clone In Vitro 112' зі схемою висаджування рослин 4 × 4 м, що забезпечує їх густоту 625 шт./га. На сьогодні це найбільш оптимальний та рекомендований спосіб формування промислових плантацій культури в Україні.

Експериментальні дослідження виконували відповідно до методик польового досліду та Методики державного сортовипробування сільськогосподарських культур [12].

Статистичний аналіз результатів досліджень проводили, використовуючи програмні продукти Excel та Statistica 10 [13].

Результати досліджень

Розглянемо особливості накопичення сухої речовини та зміни вмісту хлорофілів на час цвітіння павлонії в перший рік її вегетації (табл. 1).

Уміст сухої речовини та хлорофілів у рослинах павловнії першого року вегетації на час цвітіння (2021 р.)

Удобрення	Застосування кріопротектора	Позакоренева підживлення	Суша речовина, %	Хлорофіл ..., мг/кг		
				<i>a</i>	<i>b</i>	<i>a + b</i>
Без удобрення	Без кріопротектора	Без підживлення	43,6	2,14	1,43	3,57
		Квантум-АміНоФрост	44,3	2,55	1,59	4,14
		SmartGrow Відновлення	44,3	2,60	1,59	4,19
	Марс-EL	Без підживлення	43,4	2,20	1,24	3,44
		Квантум-АміНоФрост	44,1	2,64	1,34	3,98
		SmartGrow Відновлення	44,3	2,64	1,59	4,23
Верми-компост	Без кріопротектора	Без підживлення	44,3	2,42	1,24	3,66
		Квантум-АміНоФрост	45,2	2,69	1,59	4,28
		SmartGrow Відновлення	45,0	2,70	1,64	4,34
	Марс-EL	Без підживлення	45,7	2,75	1,35	4,10
		Квантум-АміНоФрост	46,4	2,80	1,59	4,39
		SmartGrow Відновлення	46,9	2,89	1,65	4,54
НІР _{0,05}			0,23	0,10	0,07	0,11

У середньому за варіантами дослідів на час цвітіння павловнії першого року вегетації вміст сухої речовини у стеблах був на рівні 44,8 %. Щодо факторів впливу, то в разі застосування органічного добрива цей показник підвищувався на 1,6 %, а кріопротектора – лише на 0,7 %.

Загалом найвищий вміст сухої речовини у стеблах культури відзначено у варіантах поєднання всіх факторів дослідів – Вермикомпост + Марс-EL + Квантум-АміНоФрост або SmartGrow Відновлення – 46,41 та 46,91 % відповідно.

Щодо хлорофілу *a*, то в середньому по досліді у фазі цвітіння його вміст у листках становив 2,6 мг/кг, тоді як у контрольному варіанті – 2,14 мг/кг. Тобто дефіцит елементів живлення проявлявся передусім у формуванні фізіологічних обмежень по накопиченню сухої речовини рослинами у процесі фотосинтезу.

Найбільше хлорофілу *a* у листках містилось у варіанті застосування органічного добрива Вермикомпост та кріопротектора Марс-EL у поєднанні з позакореневим удобренням SmartGrow Відновлення – 2,89 мг/кг.

За вмістом хлорофілу *b* варіант позакореневої обробки рослин добривом SmartGrow Відновлення був досить ефективним саме за поєднання його з органічним добривом Вермикомпост незалежно від застосування кріопротектора – 1,64–1,65 мг/кг. При цьому середній по досліді показник був 1,5 мг/кг.

Сумарний вміст хлорофілів у контрольному варіанті становив лише 3,57 мг/кг, тоді як у середньому по досліді – 4,1 мг/кг. Максимум забезпечував варіант комплексного застосування всіх трьох факторів: Вермикомпост + Марс-EL + SmartGrow Відновлення – 4,54 мг/кг.

Отже, вміст хлорофілів у листках визначався застосуванням у досліді біогенних елементів. Причому у варіанті внесення органічного добрива цілком закономірною є його пролонгована дія завдяки вивільненню в ґрунт та доступності рослинам елементів живлення. Водночас застосування кріопротектора та позакореневого підживлення було ефективним щодо впливу на загальний фізіологічний стан рослини та закономірного формування такими насадженнями кращих адаптаційних властивостей.

Особливості накопичення сухої речовини та зміни вмісту хлорофілів у фазі цвітіння павловнії другого року вегетації наведено в таблиці 2.

Таблиця 2

Уміст сухої речовини та хлорофілів у рослинах павловнії другого року вегетації на час цвітіння (2022 р.)

Удобрення	Застосування кріопротектора	Позакореневе підживлення	Суша речовина, %	Хлорофіл ..., мг/кг		
				<i>a</i>	<i>b</i>	<i>a + b</i>
Без удобрення	Без кріопротектора	Без підживлення	45,2	2,24	1,24	3,48
		Квантум-АміНоФрост	45,0	2,78	1,65	4,43
		SmartGrow Відновлення	45,1	2,81	1,65	4,46
	Марс-EL	Без підживлення	45,9	2,26	1,19	3,45
		Квантум-АміНоФрост	45,8	2,78	1,64	4,42
		SmartGrow Відновлення	45,8	2,81	1,65	4,46
Верми- компост	Без кріопротектора	Без підживлення	45,4	2,69	1,30	3,99
		Квантум-АміНоФрост	46,0	2,90	1,63	4,53
		SmartGrow Відновлення	46,0	2,91	1,71	4,62
	Марс-EL	Без підживлення	45,8	2,75	1,51	4,26
		Квантум-АміНоФрост	46,3	2,89	1,66	4,55
		SmartGrow Відновлення	46,2	3,01	1,70	4,71
HP _{0,05}			0,22	0,11	0,09	0,12

Загалом було визначено, що на час цвітіння рослин павловнії вміст сухої речовини становив 45,7 %, при цьому застосування органічного добрива забезпечувало приріст показника на рівні 0,48 %, а кріопротектор – на 0,52 %. Тобто погодні умови 2022 року, коли спостерігалось пониження середньодобових температур повітря під час вегетації, підсилили саме роль кріопротектора, як сполуки, здатної активізувати ростові процеси рослин за низьких температур повітря, а не лише захищати їх від пошкодження.

Найвищі показники вмісту сухої речовини в рослинах павловнії відзначено у варіанті комплексного застосування органічного добрива Вермикомпост, кріопротектора Марс-EL та позакореневого підживлення антистресантами Квантум-АміНоФрост – 46,3 % чи SmartGrow Відновлення – 46,2 %.

Якщо аналізувати показники хлорофілу *a*, то в середньому по досліді на час цвітіння в листках павловнії його вміст становив 2,74 мг/кг, тоді як у контрольному варіанті – всього 2,24 мг/кг. Найвищий же вміст хлорофілу *a* отримано у варіанті поєднання добрива Вермикомпост із кріопротектором Марс-EL та позакореним підживленням SmartGrow Відновлення – 3,01 мг/кг.

Як і у попередньому році, вміст хлорофілу *b* найбільше залежав передусім від сумісного застосування Вермикомпоста та SmartGrow Відновлення і був практично однаковим як у варіанті обробки рослин кріопротектором, так і без нього – 1,70 та 1,71 мг/кг відповідно.

Щодо сумарного вмісту хлорофілів *a* і *b*, то на контролі цей показник становив 3,48 мг/кг за середнього по досліді значення 4,28 мг/кг. Максимум забезпечував варіант удобрення плантацій органічним добривом, обробки рослин кріопротектором у поєднанні з позакореним підживленням SmartGrow Відновлення – 4,74 мг/кг.

Особливості накопичення сухої речовини та зміни вмісту хлорофілів на час цвітіння рослин павловнії третього року вегетації залежно від досліджуваних факторів впливу наведено в таблиці 3.

Уміст сухої речовини та хлорофілів у рослинах павловнії третього року вегетації на час цвітіння (2023 р.)

Удобрення	Застосування кріопротектора	Позакоренево підживлення	Суша речовина, %	Хлорофіл ..., мг/кг		
				<i>a</i>	<i>b</i>	<i>a + b</i>
Без удобрення	Без кріопротектора	Без підживлення	49,7	3,71	2,51	6,22
		Квантум-АміНоФрост	50,5	4,00	2,96	6,96
		SmartGrow Відновлення	50,6	3,98	2,92	6,90
	Марс-EL	Без підживлення	49,7	3,95	2,89	6,84
		Квантум-АміНоФрост	51,3	4,04	2,77	6,81
		SmartGrow Відновлення	51,4	4,07	2,86	6,92
Верми-компост	Без кріопротектора	Без підживлення	50,8	3,72	2,87	6,58
		Квантум-АміНоФрост	51,6	3,94	2,95	6,89
		SmartGrow Відновлення	51,9	3,94	2,93	6,87
	Марс-EL	Без підживлення	51,2	3,89	2,71	6,60
		Квантум-АміНоФрост	52,5	4,05	2,89	6,93
		SmartGrow Відновлення	52,7	4,07	2,84	6,91
НІР _{0,05}			0,24	0,12	0,10	0,15

На третій рік вегетації у фазі цвітіння рослин павловнії вміст сухої речовини становив 51,5 %, при цьому застосування органічного добрива забезпечувало приріст показника на рівні 1,27 %, а кріопротектор – на 0,65 %.

Як і у два попередні роки, найвищі показники вмісту сухої речовини відзначено у варіантах поєднання всіх трьох факторів дослідження – удобрення, кріопротектора та позакореневого підживлення – 52,5–52,7 %.

Щодо хлорофілу *a*, то в середньому по дослідженню на час цвітіння рослин павловнії третього року вегетації його вміст у листках становив 3,95 мг/кг проти 3,71 мг/кг у контрольному варіанті. Максимальні значення показника забезпечували варіанти комплексного застосування Вермикомпоста, Марс-EL та SmartGrow Відновлення (4,07 мг/кг) або Квантум-АміНоФрост (4,05 мг/кг).

Дещо інакше формувались під впливом досліджуваних факторів показники хлорофілу *b*. Зокрема, його вміст у листках визначався передусім застосуванням позакореневого підживлення і найвищим був саме у варіантах без оброблення рослин кріопротектором: на фоні внесення органічного добрива – 2,93–2,95 мг/кг, а без нього – 2,92–2,96 мг/кг.

Сумарний вміст хлорофілів *a* і *b* у контрольному варіанті становив 6,22 мг/кг за середнього по дослідженню показника 6,79 мг/кг. Високі значення суми хлорофілів відзначено у варіантах комплексного застосування всіх трьох факторів: Вермикомпост + Марс-EL + Квантум-АміНоФрост (6,91 мг/кг) або SmartGrow Відновлення (6,93 мг/кг). Однак найвищий показник було отримано в разі позакореневого підживлення рослин антистресантом Квантум-АміНоФрост без застосування як органічного добрива, так і кріопротектора – 6,96 мг/кг.

Висновки

У перший рік вегетації у фазі цвітіння середній вміст сухої речовини в рослинах павловнії становив 44,8 %, хлорофілу *a* і *b* – 2,6 і 1,5 мг/кг, контрольний варіант – 43,6 %, 2,14 і 1,43 мг/кг відповідно. Найвищі по дослідженню показники одержано у варіанті удобрення

плантацій органічним добривом Вермикомпост, а також застосування в період вегетації культури обробки рослин кріопротектором МАРС-EL та позакореневого підживлення антистресантами Квантум-АміНоФрост або SmartGrow Відновлення: вміст сухої речовини – 46,4 і 46,9 %, хлорофілу *a* – 2,80 і 2,89 мг/кг, хлорофілу *b* – 1,59 і 1,65 мг/кг відповідно.

У дворічних насадженнях культури середній за варіантами вміст сухої речовини був на рівні 45,7 %, хлорофілів *a* і *b* – 2,74 і 1,54 мг/кг, тоді як у контрольному варіанті ці показники були істотно нижчими – 45,2 %, 2,24 і 1,24 мг/кг відповідно. Як і попереднього року, максимальні значення як вмісту сухої речовини (46,2–46,3 %), так і фотосинтетичних пігментів (хлорофіл *a* – 2,89–3,01 мг/кг, хлорофіл *b* – 1,66–1,70 мг/кг) одержано у варіантах поєднання всіх трьох факторів досліджу.

У третій рік вегетації насаджень павловнії у фазі цвітіння в середньому за варіантами досліджу в стеблах містилось 51,2 % сухої речовини, вміст у листках хлорофілу *a* становив 3,95 мг/кг, хлорофілу *b* – 2,84 мг/кг, контрольний варіант – 49,7 %, 3,71 і 2,51 мг/кг відповідно. Найвищі по досліджу показники, як і два попередні роки, відзначено у варіантах комплексного застосування органічного добрива Вермикомпост, кріопротектора МАРС-EL та антистресантів Квантум-АміНоФрост або SmartGrow Відновлення, де вміст сухої речовини становив 52,5–52,7 %, хлорофілу *a* – 4,05–4,07 мг/кг, хлорофілу *b* – 2,84–2,89 мг/кг.

Використана література

1. Abreu M., Reis A., Moura P. et al. Evaluation of the Potential of Biomass to Energy in Portugal Conclusions from the CONVERTE Project. *Energies*. 2020. Vol. 13, Iss. 4. Article 937. doi: 10.3390/en13040937
2. Koman S. Quality characteristics of the selected variant of *Paulownia tomentosa* (robusta) wood cultivated in Hungary. *Maderas: Ciencia y Tecnologia*. 2022. Vol. 25. P. 1–6. doi: 10.4067/s0718-221x2023000100401
3. Ashori A., Nourbakhsh A. Studies on Iranian cultivated paulownia – A potential source of fibrous raw material for paper industry. *European Journal of Wood and Wood Products*. 2009. Vol. 67, Iss. 3. P. 323–327. doi: 10.1007/s00107-009-0326-0
4. Janjic Z., Janjic M. *Paulownia*, its characteristics and use value. *Knowledge – International Journal*. 2017. Vol. 20, Iss. 5. P. 2387–2392.
5. Ayan S., Silvacioglu A., Billir N. Growth variation of *Paulownia* Sieb. and Zucc. species and origins at the nursery stage in Kastamonu. *Journal of Environmental Biology*. 2006. Vol. 27, Iss. 3. P. 499–504.
6. Kalmukov K. Effect of Initial Density on Condition and Growth of *Paulownia tomentosa*. *Experimental Station for Rapid Forest-like Species*, 2009. P. 129–131.
7. Buzan R. L., Maxim A., Odagiu A. et al. *Paulownia* sp. Used as an Energetic Plant, for the Phytoremediation of Soils and in Agroforestry Systems. *ProEnvironment*. 2018. Vol. 11. P. 76–85.
8. Filipova L., Matskevych V., Karpuk L. et al. Features of Pavlovnia Plants Post-Septic Adaptation. *Proceedings of the Multidisciplinary Conference for Young Researchers* (Bila Tserkva, Ukraine, 22 November 2019). URL: <http://193.138.93.8/handle/BNAU/3293>
9. Ipekci Z., Gozukirmizi N. Direct somatic embryogenesis and synthetic seed production from *Paulownia elongata*. *Plant Cell Reports*. 2003. Vol. 22, Iss. 1. P. 16–24. doi: 10.1007/s00299-003-0650-5
10. Haldar A., Sethi N. Effect of Institutional Quality and Renewable Energy Consumption on CO₂ Emissions an Empirical Investigation for Developing Countries. *Environmental Science and Pollution Research*. 2021. Vol. 28. P. 15485–15503. doi: 10.1007/s11356-020-11532-2
11. Hamdan H. Z., Hourri A. F. CO₂ Sequestration by Propagation of the Fast-Growing *Azolla* Spp. *Environmental Science and Pollution Research*. 2022. Vol. 29, Iss. 12. P. 16912–16924. doi: 10.1007/s11356-021-16986-6
12. Методика державного сортовипробування сільськогосподарських культур. Київ, 2004. Вип. 3. 78 с.

13. 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.

References

1. Abreu, M., Reis, A., Moura, P., Fernando, A. L., Luís, A., Quental, L., Patinha, P., & Gírio, F. (2020). Evaluation of the Potential of Biomass to Energy in Portugal Conclusions from the CONVERTE Project. *Energies*, 13(4). Article 937. doi: 10.3390/en13040937
2. Koman, S. (2022). Quality characteristics of the selected variant of *Paulownia tomentosa* (robusta) wood cultivated in Hungary. *Maderas: Ciencia y Tecnologia*, 25, 1–6. doi: 10.4067/s0718-221x2023000100401
3. Ashori, A., & Nourbakhsh, A. (2009). Studies on Iranian cultivated paulownia – A potential source of fibrous raw material for paper industry. *European Journal of Wood and Wood Products*, 67(3), 323–327. doi: 10.1007/s00107-009-0326-0
4. Janjic, Z., & Janjic, M. (2017). *Paulownia*, its characteristics and use value. *Knowledge – International Journal*, 20(5), 2387–2392.
5. Ayan, S., Silvacioglu, A., & Billir, N. (2006). Growth variation of *Paulownia* Sieb. and Zucc. species and origins at the nursery stage in Kastamonu. *Journal of Environmental Biology*, 27(3), 499–504.
6. Kalmukov, K. (2009). Effect of Initial Density on Condition and Growth of *Paulownia tomentosa*. *Experimental Station for Rapid Forest-like Species* (pp. 129–131).
7. Buzan, R. L., Maxim, A., Odagiu, A., Balint, Cl., & Hartagan, R. M. (2018). *Paulownia* sp. Used as an Energetic Plant, for the Phytoremediation of Soils and in Agroforestry Systems. *ProEnvironment*, 11, 76–85.
8. Filipova, L., Matskevych, V., Karpuk, L., Andriievsky, V., Vrublevsky, A., Pavlichenko, A., & Krupa, N. (2019). Features of Pavlovnia Plants Post-Septic Adaptation. In *Proceedings of the Multidisciplinary Conference for Young Researchers* (Bila Tserkva, Ukraine, 22 November 2019). Retrieved from <http://193.138.93.8/handle/BNAU/3293>
9. Ipekci, Z., & Gozukirmizi, N. (2003). Direct somatic embryogenesis and synthetic seed production from *Paulownia elongata*. *Plant Cell Reports*, 22(1), 16–24. doi: 10.1007/s00299-003-0650-5
10. Haldar, A., & Sethi, N. (2021). Effect of Institutional Quality and Renewable Energy Consumption on CO₂ Emissions an Empirical Investigation for Developing Countries. *Environmental Science and Pollution Research*, 28, 15485–15503. doi: 10.1007/s11356-020-11532-2
11. Hamdan, H. Z., & Hourri, A. F. (2022). CO₂ Sequestration by Propagation of the Fast-Growing *Azolla* Spp. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(12), 16912–16924. doi: 10.1007/s11356-021-16986-6
12. *Methodology of State variety testing of agricultural crops*. (2024). (Vol. 3). Kyiv. [In Ukrainian]
13. Prysiazniuk, O. I., Karazhbei, H. M., & Leshchuk, N. V. (2016). *Statistical analysis of agronomic research data in the Statistica 10 package: methodological guidelines*. Kyiv: Nilan-LTD. [In Ukrainian]

UDC 633.9: 631.5

Karpuk, L. M.*, & **Titarenko, V. A.** (2024). The content of dry matter and chlorophylls in paulownia plants of different ages in the Right Bank Forest Steppe of Ukraine. *Scientific Papers of the Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet*, 31, 38–46. [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 determine the influence of the main fertilization, the application of cryoprotectant and foliar feeding on the formation of the content of dry matter and chlorophylls *a* and *b* in paulownia plantations of different ages. **Methods.** The research was carried out in 2021–2023 at the experimental plot of the Bila Tserkva National Agrarian University located in the forest plantations in the Right Bank Forest Steppe of Ukraine (Kyiv region). Design of the experiment: factor A – fertilization: 1) without fertilizers, 2) application of organic fertilizer Vermykompost (400 kg/ha) before planting; factor B – application of cryoprotectant: 1) without cryoprotectant, 2) cryoprotectant Mars-EL (0.5 l/ha) applied at the beginning of leaf growth; factor B – foliar application of fertilizers: 1) no treatment, 2) Quantum-AmiNoFrost (1.5 l/ha), 3) SmartGrow Recovery (2.0 l/ha). **Results.** In the first year of vegetation in the flowering phase, the average content of dry matter of paulownia plants was 44.8%, chlorophylls *a* and *b* – 2.6 and 1.5 mg/kg, and in the control treatment – 43.6%, 2.14 and 1.43 mg/kg, respectively. According to the experiment, the highest indicators were obtained in the treatment of fertilizing plantations with organic fertilizer Vermykompost, as well as cryoprotectant Mars-EL and foliar application of anti-stressors Quantum-AminoFrost or SmartGrow Recovery: dry matter content – 46.4 and 46.9%, chlorophyll *a* – 2.80 and 2.89 mg/kg, chlorophyll *b* – 1.59 and 1.65 mg/kg, respectively. In the 2-year-old plantations, the average content of dry matter in the treatments was 45.7%, chlorophylls *a* and *b* – 2.74 and 1.54 mg/kg, while in the control treatment these indicators were significantly lower: 45.2%, 2.24 and 1.24 mg/kg, respectively. As in the previous year, the maximum contents of dry matter (46.2–46.3%) and photosynthetic pigments (chlorophyll *a*: 2.89–3.01 mg/kg, chlorophyll *b*: 1.66–1.70 mg/kg) obtained for combinations of all three factors of the experiment. In the third year of vegetation of paulownia plantations in the flowering phase, on the average, the stems contained 51.2% of dry matter; the content of chlorophyll *a* in the leaves was 3.95 mg/kg, chlorophyll *b* – 2.84 mg/kg, in the control variant – 49.7%, 3.71 and 2.51 mg/kg, respectively. The highest results according to the experiment, as in the previous two years, were recorded in the treatment with the complex application of organic fertilizer Vermykompost, cryoprotectant Mars-EL and Quantum-AminoFrost or SmartGrow Recovery: the content of dry matter was 52.5–52.7%, chlorophyll *a* 4.05–4.07 mg/kg, and chlorophyll *b* 2.84–2.89 mg/kg. **Conclusions.** The parameters of the formation of indicators of the content of dry matter and photosynthetic pigments in paulownia plants were largely determined by the agrotechnical measures applied in the experiment, namely, the introduction of the main fertilizer and the treatment of plants during the growing season with cryoprotectant and anti-stress formulations, as well as the age of the plants. In particular, in the first two years of vegetation, the contents of dry matter and chlorophylls *a* and *b* were approximately at the same level in the experimental treatments, while in the third year, as the plants developed, they increased significantly. Throughout all the years of the study, the highest indicators of the content of dry matter and photosynthetic pigments were recorded in the treatments with the complex application of all three studied factors: fertilizer, cryoprotectant and foliar feeding.

Keywords: *organic fertilizer; cryoprotectant; foliar application of fertilizers; chlorophyll a content; chlorophyll b content; total chlorophyll; dry matter.*

Надійшла / Received 16.10.2023

Погоджено до друку / Accepted 07.11.2023

Ефективність вирощування буряків цукрових в умовах Степу України

О. І. Присяжнюк^{1*}, С. С. Шульга¹, Н. О. Кононюк¹,
В. М. Завгородній², О. Ю. Половинчук^{1,3}, Н. Б. Голіченко³,
О. В. Музика³, О. П. Шевченко¹, Е. Е. Навроцька¹

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

²Національний університет біоресурсів та природокористування України, вул. Героїв Оборони, 15, м. Київ, 03041, Україна

³Український інститут експертизи сортів рослин, вул. Генерала Родимцева, 15, м. Київ, 03041, Україна

Мета. Визначити особливості економічної та енергетичної ефективності вирощування буряків цукрових в умовах Степу України. **Методи.** Польові дослідження проводили впродовж 2020–2022 рр. в умовах ТОВ «Агрофірма імені Чкалова» (Кіровоградська обл.). Схемою досліду передбачалось вирощування буряків цукрових на фоні застосування вологоутримувача (без гідрогелю; гідрогель Aquasorb, 300 кг/га), за різних систем основного удобрення [без добрив – контроль; гній, 20 т/га; N₁₇₀P₁₈₀K₃₅₀; Леонардит, 400 кг/га; Паросток (марка 20), 400 кг/га] та позакореневих підживлень у період вегетації (без підживлення; Гуміфілд, в.г., 2 кг/га у фазах ВВСН 30 + 39). Органічні та мінеральні добрива (РК) вносили восени під оранку, а азотний компонент останніх (N) – під ранньовесняну культивуацію. Адсорбент вносили в ґрунт за два тижні до сівби культури локально в зону майбутнього рядка, орієнтуючись на дані GPS-трекера. Решта агрозаходів відповідали загальноприйнятій технології вирощування культури в зоні проведення досліджень. Розрахунок економічних показників виконували в цінах 2023 року. **Результати.** За формуванням виручки від реалізації коренеплодів буряків цукрових кращим був варіант використання гідрогелю Aquasorb, удобрення буряків цукрових Леонардитом та позакореневого підживлення посівів Гуміфілд, де отримано 106,8 тис. грн/га. За витратами на технологію вирощування культури найдорожчими були варіанти застосування мінеральних добрив (75,9–84,4 тис. грн/га). На противагу цьому застосування органічних добрив нової формуляції забезпечувало кращі результати собівартості вирощування буряків цукрових. Зокрема, на варіантах, де гідрогель не вносили, удобрення Леонардитом сприяло отриманню собівартості витрат на 1 га в 37,3–39,8 тис. грн, а за застосування Aquasorb варіанти внесення Леонардиту мали витратність 43,3–45,8 тис. грн/га. Витрати ж за умови застосування органічного добрива Паросток становили 39,6–42,1 та 45,6–48,1 тис. грн/га. У варіанті внесення Паросток (марка 20) з подальшим позакореневим підживленням Гуміфілдом було отримано прибуток 60,6 тис. грн/га. У разі застосування гідрогелю Aquasorb та удобрення добривом Леонардит з подальшим позакореневим підживленням Гуміфілдом було отримано прибуток 61,0 тис. грн/га, що є максимальним в досліді. За внесення добрива Паросток (марка 20) отримано рентабельність в 145,0 %, а за використання на цьому фоні Гуміфілду – 143,8 %. У варіанті з Леонардитом рентабельність була 142,6 %. За використання гідрогелю Aquasorb та удобрення Леонардитом рівень рентабельності був дещо меншим, пропорційно зростанню витрат на технологію – 133,2 %. **Висновки.** У разі внесення гідрогелю Aquasorb у зону рядка до сівби (300 кг/га) та удобрення буряків цукрових Леонардитом або Паросток (марка 20) з урожаєм отримано понад 300 ГДж/га енергії. Максимум накопичення енергії в урожаї спостерігався на варіанті поєднання вологоутримувача з добривом Паросток і подальшим позакореневим удобренням Гуміфілдом – 312,5 ГДж/га. За застосування як основного удобрення Паросток (марка 20) коефіцієнт енергетичної ефективності (*K_{ee}*) становив 4,70, а

за позакореневої обробки Гуміфілдом – 4,72. У варіантах використання вологоутримувача та основного удобрення добривом Паросток (марка 20), без або з подальшим позакореневим застосуванням Гуміфілду, значення *K_{ee}* було 4,60 та 4,63.

Ключові слова: економічна ефективність; енергетична ефективність; мінеральне удобрення; органічне удобрення.

Вступ

Вирощування буряків цукрових має декілька важливих наслідків для агровиробництва загалом. По-перше, це сприяє поліпшенню родючості ґрунту й забезпечує країну цукром – одним зі стратегічних продуктів. По-друге, відходи від цього процесу можуть використовуватися як корм для тварин (гичка, жом, меляса), а також на біоенергетичні цілі [1, 2].

Відповідно галузь буряківництва є економічно та соціально важливою, оскільки вона сприяє поповненню бюджету на всіх рівнях, створює нові робочі місця у сільському господарстві, збільшує продовольчі резерви і доларові надходження в Україну. Проте за останні роки ця галузь має свої труднощі, іноді вона навіть стає не вигідною, оскільки собівартість буряків цукрових значно зросла, посівні площі та загальний врожай зменшились. Окрім того, багато цукрових заводів не переналаштувались на створення енергоефективного виробництва зі зменшенням частки дорогих викопних видів палива в структурі витрат на переробку врожаю буряків. Адже на виробництво однієї тонни цукру потрібно переробити щонайменше сім тонн коренеплодів з використанням відповідних кількостей води, пару, електроенергії [3–5].

Навіть якщо сконцентруватись на економіці вирощування буряків цукрових, то економічну ефективність виробництва оцінюють як складне й багатогранне поняття. Зазвичай її визначають як відношення між економічними результатами виробництва і витратами на виробництво. Оскільки ці результати є наслідком витрат різних ресурсів, то можна розглядати економічну ефективність як відношення витрат на виробництво сільськогосподарської продукції [6, 7].

Економічний ефект від вирощування буряків цукрових визначається, зазвичай, шляхом обчислення різниці між сумою повної собівартості продукції і доходом, отриманим від її продажу. Ця різниця відображає прибуток. Тобто, економічну ефективність виробництва буряків цукрових можна розглядати як його прибутковість [8, 9].

Ефективність виробництва буряків цукрових ще залежить від рівня технологічної озброєності підприємств, які займаються вирощуванням буряків. Адже витрати на виконання окремих сільськогосподарських робіт впливають на загальні витрати на виробництво буряків цукрових через використання ресурсів. Відповідно для отримання додаткового рівня прибутковості потрібно застосовувати більше дорогих та складних елементів технології вирощування [9, 10].

Впровадження сучасних технологій, використання високопродуктивних гібридів, оптимізація управління виробничими процесами і практики раціонального використання ресурсів можуть сприяти зменшенню витрат і підвищенню виробничої продуктивності буряків цукрових. Однак культура за правом вважається однією зі складних для вирощування, чи не найскладнішою. А тому будь-які помилки в агротехніці призводять до зниження ефективності вирощування на рівні окупності понесених витрат приростом урожаю [1, 6].

Мета досліджень – визначити особливості економічної та енергетичної ефективності вирощування буряків цукрових в умовах Степу України.

Матеріали та методика досліджень

Дослідження з вивчення особливостей формування продуктивності та технологічних якостей коренеплодів цукрових буряків в умовах Степу України проводили у 2020–2022 рр. в

умовах ТОВ «Агрофірма імені Чкалова», яке розташоване в Новоукраїнському районі Кіровоградській області.

На території господарства основним типом ґрунту є чорнозем типовий глибокий мало- або середньогумусний. Вміст гумусу в орному шарі ґрунту становить 2,59 %, рН – 6,2–6,8, сміність вбирання 30,7–32,5 мг-екв на 100 г ґрунту. Підґрунтові води розташовані на глибині 4–6 м. До складу мінеральної твердої фази ґрунту входить 37 % фізичної глини; 63 % піску. Щільність ґрунту в рівноважному стані 1,16–1,25 г/см³, вологість стійкого в'янення – 10,8 %. Повна вологоємність ґрунту становить в шарі 0–30 см – 38,4 %, у шарі 30–45 см – 42,7 %. Польова вологоємність цього ґрунту в шарі 0–30 см сягає 28,2 %, вологість розриву капілярів – 19,7 %, максимальна гігроскопічність – 7,46 %, недоступна для рослин вологість – 10 %, загальна щільність у рівноважному стані – 52–55 %.

Погодні умови за роки досліджень були строкатими і досить несприятливими для росту і розвитку буряків цукрових, особливо у вегетаційний період 2020 року, коли сумарно за квітень – вересень випало лише 179 мм опадів, а найбільш жаркими були квітень, травень, серпень та вересень. Тобто кричим для росту й розвитку буряків цукрових був період їх ранньої вегетації, а також формування коренеплодів та цукронакопичення. Загалом такі умови негативно позначились на показниках урожайності буряків цукрових, однак дозволили краще вивчити роль вологоутримувачів і антистресантів за впливом на рослини буряків.

Зовсім інші погодні умови склались в період з квітня до вересня 2021 року, коли випало 476,7 мм опадів, особливо рясні дощі пройшли в травні (106,0 мм), червні (74,0 мм), липні (87,5 мм) та серпні (113,9 мм). А що стосується температури повітря, то квітень був прохолодним, а травень і червень – близькими до норми, тоді як найбільш жарким був липень (середньодобова температура повітря – 23,1 °С).

Схема досліду з вивчення впливу утримувачів вологи та основного удобрення і позакореневого підживлення на продуктивність та технологічні якості буряків цукрових.

Утримувач вологи	Система удобрення	Позакореневе підживлення
Без гідрогелю	Без удобрення	Без підживлення
		Гуміфілд, в.г., 2 кг/га (ВВСН 30 + 39)
	Гній, 20 т/га	Без підживлення
		Гуміфілд, в.г., 2 кг/га (ВВСН 30 + 39)
	Мінеральна система удобрення (N ₁₇₀ P ₁₈₀ K ₃₅₀)	Без підживлення
		Гуміфілд, в.г., 2 кг/га (ВВСН 30 + 39)
Леонардит – органічне викопне добриво, 400 кг/га	Без підживлення	
	Гуміфілд, в.г., 2 кг/га (ВВСН 30 + 39)	
Паросток (марка 20), 400 кг/га	Без підживлення	
	Гуміфілд, в.г., 2 кг/га (ВВСН 30 + 39)	
Гідрогель Aquasorb у зону рядка до сівби (300 кг/га)	Без удобрення	Без підживлення
		Гуміфілд, в.г., 2 кг/га (ВВСН 30 + 39)
	Гній, 20 т/га	Без підживлення
		Гуміфілд, в.г., 2 кг/га (ВВСН 30 + 39)
	Мінеральна система удобрення (N ₁₇₀ P ₁₈₀ K ₃₅₀)	Без підживлення
		Гуміфілд, в.г., 2 кг/га (ВВСН 30 + 39)
Леонардит – органічне викопне добриво, 400 кг/га	Без підживлення	
	Гуміфілд, в.г., 2 кг/га (ВВСН 30 + 39)	
Паросток (марка 20), 400 кг/га	Без підживлення	
	Гуміфілд, в.г., 2 кг/га (ВВСН 30 + 39)	

Площа посівної ділянки – 70 м², облікової – 35 м²; повторність – триразова.

Органічне удобрення вносили восени – під оранку, а мінеральне фосфорно-калійне восени, а азотний компонент – навесні під ранньовесняну культивуацію. Застосування

адсорбентів виконували за два тижні до сівби буряків цукрових локально в зону майбутнього рядка, орієнтуючись на дані GPS трекера.

Експериментальні дослідження виконували згідно з методиками польового дослідження та спеціальними методиками ІБКіЦБ [11–15].

Результати досліджень

Для оцінки ефективності вирощування буряків цукрових в умовах Степу України користувалися технологічними картами їх вирощування та визначали базові витрати на технологію вирощування за врожайності коренеплодів 60 т/га в цінах 2023 року (табл. 1).

До основних витрат на вирощування враховували витрати на обробітки ґрунту, насіння та засоби захисту рослин, догляд та викопування буряків цукрових. Також враховували витрати на оплату праці, пально-мастильні матеріали, оренду землі. Окрім того, були враховані загально-виробничі витрати, також витрати на ремонт техніки та її амортизацію.

Що стосується витрат на основні агротехнічні операції, то вони розраховані як витрати на пальне, амортизацію та ремонт техніки, заробітну плату механізаторам тощо. Оскільки господарство володіє повним комплексом техніки, необхідної для вирощування буряків цукрових, то не було потреби її орендувати.

Таблиця 1

**Базові витрати на технологію вирощування буряків цукрових
(за врожайності 60 т/га у цінах 2023 р.)**

Виробничі витрати		За врожайності 60,0 т/га		
		кількість	ціна за одиницю, грн	вартість усього, грн
Насіння	п.о.	1,3	3780,0	4914,0
Витрати праці	люд.-год.	6,3	–	–
Заробітна плата з нарахуваннями	грн	–	2560,0	2560,0
Засоби захисту рослин:				
<i>інсектицид Нурелл Д (2 обробки)</i>	л	1,6	848,0	1356,8
<i>гербіцид Бетанал макс про, 1,5 л/га (3 обробки)</i>	л	4,5	920,0	4140,0
<i>гербіцид Голтікс КС 1,0 л/га (3 обробки)</i>	л	3,0	1000,0	3000,0
<i>фунгіцид Аканто Плюс (0,75 л/га) (2 обробки)</i>	л	1,5	1600,0	2400,0
Пальне	кг	107,0	55,0	5885,0
Мастило	грн	–	–	410,0
Ремонт	грн	–	–	1256,0
Загально-виробничі витрати та інші	грн	–	–	1800,0
Амортизація	грн	–	–	1789,0
Орендна плата за землю	грн	–	–	3800,0
Разом витрат на 1 га	грн	–	–	33310,8
Собівартість 1 т	грн	–	–	555,2

Також у наших розрахунках відсутні дані витрат на реалізацію буряків цукрових та вивезення коренеплодів з поля, оскільки за умовами договору цим займається завод і такі витрати лягають у собівартість виробництва цукру.

Зважаючи на те, що застосування основного удобрення досліджувалось нами згідно схеми дослідження, то воно не показано в структурі основних витрат. Навіть за таких умов вирощування буряків цукрових є дорогим задоволенням і на гектар потрібно витратити 33,3 тис. грн.

Проаналізуємо також окремо структуру витрат на вирощування буряків цукрових за застосування мінеральної система удобрення, яку вивчали в своєму досліді (N₁₇₀P₁₈₀K₃₅₀) (рис. 1).

РОСЛИННИЦТВО

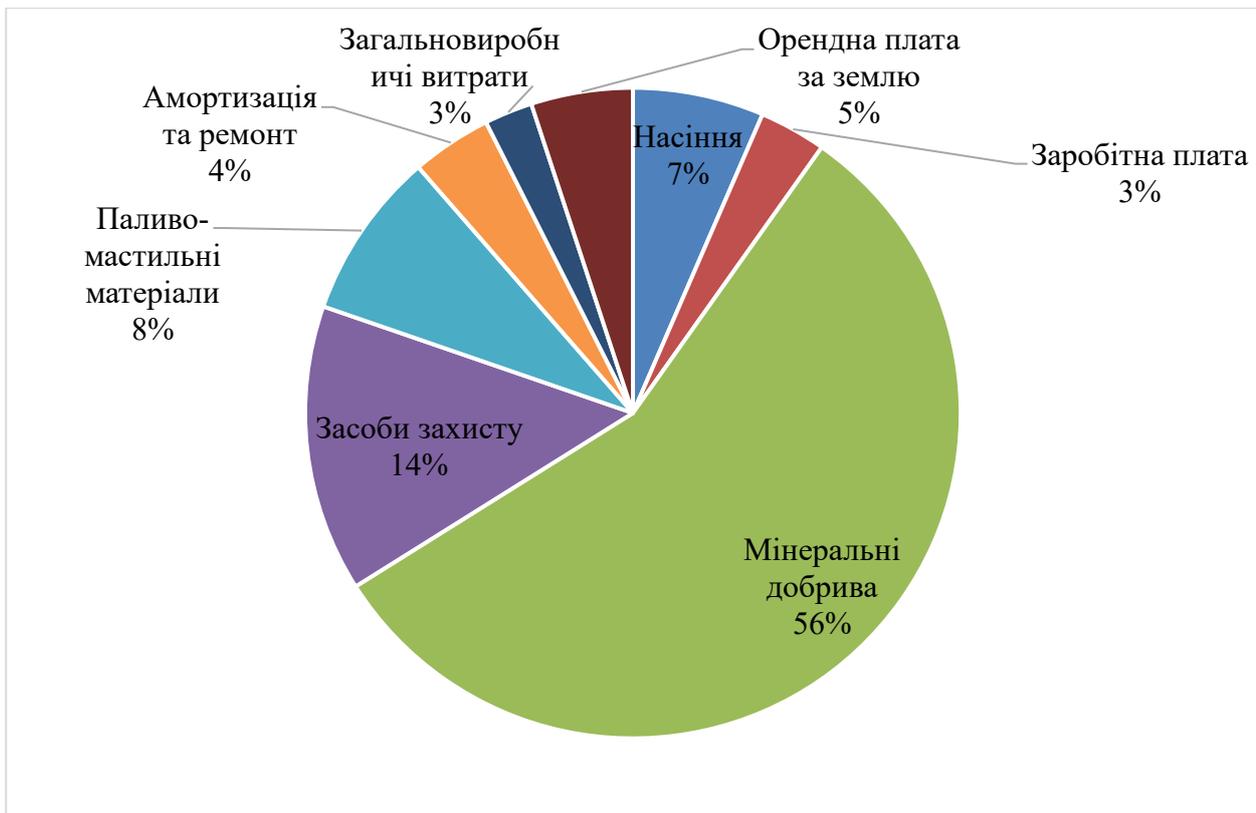


Рис. 1. Структура витрат за використання мінеральної системи удобрення (N₁₇₀P₁₈₀K₃₅₀)

Отже, мінеральні добрива за сучасного рівня витрат становлять 56 % загальних витрат на вирощування буряків цукрових. Що є самою вагомою статтею витрат та потребує оптимізації. Адже в грошовому еквіваленті на мінеральне удобрення витрачається 42,6 тис. грн/га.

Проаналізуємо закупівельні ціни, виручку від реалізації та собівартість вирощування буряків цукрових у 2023 році (табл. 2).

Що стосується закупівельної ціни, то вона визначається заводом і в умовах 2023 року становить мінімум 1700 грн/т, проте, краща цукристість коренеплодів сприяла отриманню й кращої ціни на приймання – до 1920 грн/т. У наших дослідях така вартість приймання коренеплодів буряків цукрових була у варіанті удобрення Паросток (марка 20) 400 кг/га та з подальшим підживленням Гуміфілд, в.г., 2 кг/га (ВВСН 30 + 39), а також на варіанті використання гідрогелю Aquasorb у зону рядка до сівби (300 кг/га), удобрення посівів гноєм та позакореневого підживлення Гуміфілд. Тобто, в обох випадках позакореневе підживлення відіграло вирішальну роль у формуванні високої якості коренеплодів буряків цукрових.

Застосування технологічних прийомів, що вивчалися, наклало свій відбиток на формування виручки від реалізації коренеплодів буряків цукрових. Так, на варіантах, де вологоутримувач не застосовували, кращі показники отримано за внесення в якості основного удобрення Паросток (марка 20) 400 кг/га та позакореневого підживлення Гуміфілд – 102,7 тис. грн/га. Аналогічний варіант дослідів лише із застосуванням гідрогелю Aquasorb в зону рядка до сівби (300 кг/га) забезпечив отримання 106,0 тис. грн/га виручки від реалізації коренеплодів. Кращим в досліді був варіант використання гідрогелю Aquasorb, удобрення буряків цукрових Леонардит, 400 кг/га, та позакореневого підживлення посівів Гуміфілд.

Якщо аналізувати собівартість вирощування буряків цукрових, то максимум показників було отримано у варіантах застосування мінеральної системи удобрення – 75,9–78,4 тис. грн/га, а в разі застосування гідрогелю Aquasorb витрати на гектар становили 81,9–84,4 тис. грн/га.

**Закупівельна ціна, виручка від реалізації та собівартість
виращування буряків цукрових у 2023 р., тис. грн**

Утримувач вологи	Система удобрення	Позакорене підживлення	Закупівельна ціна 1 т коренеплодів	Виручка від реалізації за ціною 1900 грн/т	Собівартість 1 т, тис. грн	Собівартість в розрахунку на 1 га, тис. грн/га	
Без гідрогелю	Без удобрення	Без підживлення	1,73	72,9	0,79	33,3	
		Гуміфілд, в.г., 2 кг/га (ВВСН 30 + 39)	1,78	75,4	0,84	35,8	
	Гній ВРХ, 20 т/га	Без підживлення	1,83	85,0	1,15	53,3	
		Гуміфілд, в.г., 2 кг/га (ВВСН 30 + 39)	1,90	89,0	1,19	55,8	
	Мінеральна система удобрення (N ₁₇₀ P ₁₈₀ K ₃₅₀)	Без підживлення	1,84	91,1	1,53	75,9	
		Гуміфілд, в.г., 2 кг/га (ВВСН 30 + 39)	1,90	94,6	1,57	78,4	
	Леонардит, 400 кг/га	Без підживлення	1,81	90,5	0,75	37,3	
		Гуміфілд, в.г., 2 кг/га (ВВСН 30 + 39)	1,89	95,0	0,79	39,8	
	Паросток (марка 20) 400 кг/га	Без підживлення	1,83	97,0	0,75	39,6	
		Гуміфілд, в.г., 2 кг/га (ВВСН 30 + 39)	1,92	102,7	0,79	42,1	
	Aquasorb, 300 кг/га	Без удобрення	Без підживлення	1,74	76,5	0,89	39,3
			Гуміфілд, в.г., 2 кг/га (ВВСН 30 + 39)	1,79	79,5	0,94	41,8
Гній ВРХ, 20 т/га		Без підживлення	1,85	88,5	1,24	59,3	
		Гуміфілд, в.г., 2 кг/га (ВВСН 30 + 39)	1,92	93,0	1,28	61,8	
Мінеральна система удобрення (N ₁₇₀ P ₁₈₀ K ₃₅₀)		Без підживлення	1,85	96,1	1,58	81,9	
		Гуміфілд, в.г., 2 кг/га (ВВСН 30 + 39)	1,91	100,1	1,61	84,4	
Леонардит, 400 кг/га		Без підживлення	1,80	101,0	0,77	43,3	
		Гуміфілд, в.г., 2 кг/га (ВВСН 30 + 39)	1,88	106,8	0,81	45,8	
Паросток (марка 20), 400 кг/га		Без підживлення	1,74	99,3	0,80	45,6	
		Гуміфілд, в.г., 2 кг/га (ВВСН 30 + 39)	1,83	106,0	0,83	48,1	

Брати до уваги низьку собівартість виращування буряків цукрових без застосування основного удобрення не будемо, так як це одноразовий захід, що кардинально зменшує продуктивність подальших культур сівозміни.

На варіантах, де гідрогель не вносили, удобрення Леонардитом сприяло отриманню собівартості витрат на 1 гектар в 37,3–39,8 тис. грн, а за застосування Aquasorb варіанти внесення Леонардиту мали витратність 43,3–45,8 тис. грн/га. Витрати ж за умови застосування органічного добрива Паросток становили 39,6–42,1 та 45,6–48,1 тис. грн/га.

Більш детально зупинимось також на питаннях отриманого прибутку та рівня рентабельності буряків цукрових (табл. 3).

Прибуток та рентабельність вирощування буряків цукрових у 2023 р.

Утримувач вологи	Система удобрення	Позакореневе підживлення	Прибуток, тис. грн/га	Прибуток у розрахунку на 1 т, грн	Рівень рентабельності, %
Без гідрогелю	Без удобрення	Без підживлення	39,6	0,94	118,8
		Гуміфілд, в.г., 2 кг/га (ВВСН 30 + 39)	39,6	0,93	110,5
	Гній ВРХ, 20 т/га	Без підживлення	31,7	0,68	59,4
		Гуміфілд, в.г., 2 кг/га (ВВСН 30 + 39)	33,2	0,71	59,4
	Мінеральна система удобрення (N ₁₇₀ P ₁₈₀ K ₃₅₀)	Без підживлення	15,2	0,31	20,1
		Гуміфілд, в.г., 2 кг/га (ВВСН 30 + 39)	16,2	0,32	20,7
	Леонардит, 400 кг/га	Без підживлення	53,2	1,06	142,6
		Гуміфілд, в.г., 2 кг/га (ВВСН 30 + 39)	55,2	1,10	138,7
	Паросток (марка 20), 400 кг/га	Без підживлення	57,4	1,08	145,0
		Гуміфілд, в.г., 2 кг/га (ВВСН 30 + 39)	60,6	1,13	143,8
Aquasorb, 300 кг/га	Без удобрення	Без підживлення	37,2	0,84	94,6
		Гуміфілд, в.г., 2 кг/га (ВВСН 30 + 39)	37,7	0,85	90,3
	Гній ВРХ, 20 т/га	Без підживлення	29,2	0,61	49,3
		Гуміфілд, в.г., 2 кг/га (ВВСН 30 + 39)	31,2	0,64	50,4
	Мінеральна система удобрення (N ₁₇₀ P ₁₈₀ K ₃₅₀)	Без підживлення	14,2	0,27	17,4
		Гуміфілд, в.г., 2 кг/га (ВВСН 30 + 39)	15,7	0,30	18,6
	Леонардит, 400 кг/га	Без підживлення	57,7	1,03	133,2
		Гуміфілд, в.г., 2 кг/га (ВВСН 30 + 39)	61,0	1,07	133,2
	Паросток (марка 20), 400 кг/га	Без підживлення	53,7	0,94	117,8
		Гуміфілд, в.г., 2 кг/га (ВВСН 30 + 39)	57,9	1,00	120,5

Витрати, понесені на технологію вирощування буряків цукрових, наклали свій відбиток на формування прибутку і гірші показники його отримано за застосування мінеральних добрив – 14,2–15,7 тис. грн/га. Що фактично ставить під сумнів ефективність та доцільність мінерального удобрення буряків цукрових в сучасних умовах господарювання.

Застосування гідрогелю Aquasorb в зону рядка до сівби (300 кг/га) за роки наших досліджень показало себе ефективно в умовах нестачі вологи в першій половині вегетації буряків цукрових, а за строкатих років, з надлишком вологи, гідрогель виявився не завжди ефективним в плані додаткових витрат на його застосування та незначного рівня покриття цих витрат.

Так, за вирощування буряків цукрових на варіанті удобрення посівів Паросток (марка 20) 400 кг/га та з подальшим позакореневим підживленням Гуміфілд, в.г., 2 кг/га (ВВСН 30 + 39) було отримано прибуток в 60,6 тис. грн/га. А за застосування гідрогелю Aquasorb та удобрення добривом Леонардит, 400 кг/га з подальшим позакореневим підживленням Гуміфілд, в.г., 2 кг/га (ВВСН 30 + 39) було отримано прибуток в 61,0 тис. грн/га, що є максимальним у досліді.

РОСЛИНИЦТВО

Рівень рентабельності по суті є інструментом розуміння окупності обсягів витрат коштів отриманим прибутком, або ж наскільки вкладена гривня коштів може ефективно попрацювати у виробництві. Тому показники рентабельності виробництва дещо відрізняються від отриманого рівня прибутку. Так, визначено, що за удобрення посівів Паросток (марка 20) 400 кг/га отримано рентабельність в 145,0 %, тоді як за внесення на цьому фоні Гуміфілд, в.г., 2 кг/га (ВВСН 30 + 39) – 143,8 %. А за використання Леонардит, 400 кг/га рентабельність була 142,6 %.

При використанні гідрогелю Aquasorb та удобрення добривом Леонардит, 400 кг/га рівень рентабельності був дещо меншим, пропорційно зростанню витрат на технологію – 133,2 %. Причому застосування позакореневого удобрення Гуміфілд не завжди дозволило отримати вищий рівень рентабельності у зв'язку з витратами на препарат та власне відсутністю гнучкої системи оплати додаткової цукристості (вагомої доплати).

Цікавими до вивчення є також показники енергетичної ефективності вирощування буряків цукрових (табл. 4).

Таблиця 4

Енергетична ефективність вирощування буряків цукрових

Утримувач волиги	Система удобрення	Позакореневе підживлення	Витрати енергії на технологію вирощування, ГДж/га	Енергія біомаси, ГДж/га	<i>K_{ee}</i>	
Без гідрогелю	Без удобрення	Без підживлення	60,2	227,2	3,77	
		Гуміфілд, в.г., 2 кг/га (ВВСН 30 + 39)	60,5	229,1	3,79	
	Гній ВРХ, 20 т/га	Без підживлення	68,6	250,9	3,66	
		Гуміфілд, в.г., 2 кг/га (ВВСН 30 + 39)	68,9	253,1	3,67	
	Мінеральна система удобрення (N ₁₇₀ P ₁₈₀ K ₃₅₀)	Без підживлення	78,2	267,3	3,42	
		Гуміфілд, в.г., 2 кг/га (ВВСН 30 + 39)	78,5	269,1	3,43	
	Леонардит, 400 кг/га	Без підживлення	60,9	269,8	4,43	
		Гуміфілд, в.г., 2 кг/га (ВВСН 30 + 39)	61,2	272,2	4,45	
	Паросток (марка 20) 400 кг/га	Без підживлення	60,9	285,8	4,70	
		Гуміфілд, в.г., 2 кг/га (ВВСН 30 + 39)	61,2	288,7	4,72	
	Aquasorb, 300 кг/га	Без удобрення	Без підживлення	66,5	237,8	3,58
			Гуміфілд, в.г., 2 кг/га (ВВСН 30 + 39)	66,8	240,1	3,59
Гній ВРХ, 20 т/га		Без підживлення	74,9	257,8	3,44	
		Гуміфілд, в.г., 2 кг/га (ВВСН 30 + 39)	75,2	260,8	3,47	
Мінеральна система удобрення (N ₁₇₀ P ₁₈₀ K ₃₅₀)		Без підживлення	84,5	280,6	3,32	
		Гуміфілд, в.г., 2 кг/га (ВВСН 30 + 39)	84,8	283,5	3,34	
Леонардит, 400 кг/га		Без підживлення	67,2	303,3	4,51	
		Гуміфілд, в.г., 2 кг/га (ВВСН 30 + 39)	67,5	306,7	4,55	
Паросток (марка 20), 400 кг/га		Без підживлення	67,2	308,9	4,60	
		Гуміфілд, в.г., 2 кг/га (ВВСН 30 + 39)	67,5	312,5	4,63	

Оцінювання енергетичної ефективності вирощування сільськогосподарських культур досить простий метод, заснований на встановленні балансу енергії, витраченої на вирощування та отриманої з врожаєм. Причому всі агротехнічні операції, речовини та матеріали мають свої коефіцієнти енерговитрат – необхідних для їх створення, синтезу або ж отримання. Тобто ажіотажний попит на продукцію, або навпаки – відсутність ціни на неї не дозволяють прийняти хибні рішення про доцільність застосування певних агротехнічних прийомів.

Цілком очевидно, що варіанти застосування мінерального удобрення за вирощування буряків цукрових мали й найбільші витрати енергії, оскільки на синтез та видобування мінеральних добрив потрібно витратити максимум ресурсів, особливо це стосується азотних добрив. Що стосується органічних добрив, то гній навіть виявився більш енергетично витратним, ніж добрива Леонардит та Паросток, так як справа не лише у великій масі гною та необхідності роботи з ним, а й у транспортних витратах на його перевезення та подальше розкидання. Відповідно найменші енерговитрати були на варіантах, де використовували органічні добрива Леонардит або Паросток.

Стосовно енергії, отриманої з біомасою, то з цим показником все просто – чим вища врожайність буряків цукрових, тим більше енергії можна отримати. Так, на контролях без удобрень, як бачимо, збір енергії з врожаєм становив мінімальні показники. При цьому за застосування гідрогелю Aquasorb в зону рядка до сівби (300 кг/га) та використання для удобрення буряків цукрових Леонардит, 400 кг/га або Паросток (марка 20) 400 кг/га отримано з врожаєм енергії понад 300 ГДж/га. Максимум енергії спостерігався на варіанті поєднання вологоутримувача з добривом Паросток та з подальшим позакореневим удобренням Гуміфілд, в.г., 2 кг/га (ВВСН 30 + 39) – 312,5 ГДж/га.

Якщо аналізувати коефіцієнти енергетичної ефективності вирощування буряків цукрових, то на варіантах, де не використовувався гідрогель Aquasorb, застосування в якості основного удобрення Паросток (марка 20), 400 кг/га сприяло отриманню коефіцієнта енергетичної ефективності 4,70, а за позакореневої обробки Гуміфілдом – 4,72.

У варіантах використання вологоутримувача та основного удобрення добривом Паросток (марка 20), без або з подальшим позакореневим підживленням Гуміфілд, в.г., 2 кг/га (ВВСН 30 + 39) значення *K_{ee}* отримано на рівні 4,60 та 4,63. Тобто, попри додаткові енергетичні витрати з внесення вологоутримувача Aquasorb, варіант виявився ефективним в плані отримання високого коефіцієнту енергетичної ефективності вирощування буряків цукрових.

Висновки

За формуванням виручки від реалізації коренеплодів буряків цукрових кращим був варіант використання гідрогелю Aquasorb, удобрення буряків цукрових Леонардит, 400 кг/га та позакореневого підживлення посівів Гуміфілд, де отримано 106,8 тис. грн/га.

За витратами на технологію вирощування буряків цукрових найдорожчими були варіанти застосування мінеральних добрив (75,9–84,4 тис. грн/га). На противагу цьому застосування органічних добрив нової формуляції забезпечувало кращі результати собівартості вирощування буряків цукрових. Так, на варіантах, де гідрогель не вносили, удобрення Леонардитом сприяло отриманню собівартості витрат на один гектар у 37,3–39,8 тис. грн/га, а за застосування Aquasorb варіанти внесення Леонардиту мали витратність 43,3–45,8 тис. грн/га. Витрати ж за умови застосування органічного добрива Паросток становили 39,6–42,1 та 45,6–48,1 тис. грн/га.

У варіанті удобрення посівів Паросток (марка 20), 400 кг/га та з подальшим позакореневим підживленням Гуміфілд, в.г., 2 кг/га (ВВСН 30 + 39) було отримано прибуток у 60,6 тис. грн/га. У разі застосування гідрогелю Aquasorb та удобрення добривом Леонардит, 400 кг/га з подальшим позакореневим підживленням Гуміфілд, в.г., 2 кг/га (ВВСН 30 + 39) було отримано прибуток в 61,0 тис. грн/га, що є максимальним у досліді.

За удобрення посівів Паросток (марка 20) 400 кг/га отримано рентабельність в 145,0 %, тоді як за внесення на цьому фоні Гуміфілд, в.г., 2 кг/га (ВВСН 30 + 39) – 143,8 %. А за використання Леонардит, 400 кг/га рентабельність була 142,6 %. При використанні гідрогелю Aquasorb та удобрення добривом Леонардит, 400 кг/га рівень рентабельності був дещо меншим, пропорційно зростанню витрат на технологію – 133,2 %.

У разі застосування гідрогелю Aquasorb в зону рядка до сівби (300 кг/га) та використання для удобрення буряків цукрових Леонардит, 400 кг/га або Паросток (марка 20) 400 кг/га отримано з врожаєм енергії понад 300 ГДж/га. Максимум накопичення енергії в урожаї спостерігався на варіанті поєднання вологоутримувача з добривом Паросток та з подальшим позакореневим удобренням Гуміфілд, в.г., 2 кг/га (ВВСН 30 + 39) – 312,5 ГДж/га.

За застосування в якості основного удобрення Паросток (марка 20), 400 кг/га отримано коефіцієнт енергетичної ефективності 4,70, а за позакореневої обробки Гуміфілдом – 4,72. У варіантах використання вологоутримувача та основного удобрення добривом Паросток, без або з подальшим позакореневим удобренням Гуміфілд, в.г., 2 кг/га (ВВСН 30 + 39) коефіцієнт енергетичної ефективності становив 4,60 та 4,63.

Використана література

1. Варченко О. М. Якість продукції як основний чинник забезпечення конкурентоспроможності бурякоцукрової галузі. *Вісник Львівського державного аграрного університету. Серія : Економіка АПК*. 2003. № 10(2). С. 27–33.
2. Вітвицький В. В., Шутюк Т. В. Оптимізація затрат праці в цукробуряковому підкомплексі України в ринкових умовах. *Економіка АПК*. 2001. № 11. С. 64–67.
3. Варченко О. М. Механізм регулювання ринку цукру в країнах Європейського Союзу. *Вісник аграрної науки*. 2006. № 6. С. 70–74.
4. Слупян К. В. Активізація інтеграційних процесів бурякоцукрової галузі як чинника підвищення ефективності виробництва продукції. *Формування ринкових відносин в Україні*. 2010. № 5. С. 150–154.
5. Фурса А. В. Трансформація цін на цукрові буряки та цукор – основа стабільного розвитку цукробурякового підкомплексу. *Економіка України*. 2002. № 8. С. 69–75.
6. Фурса А. В. Цукробуряковий підкомплекс України: стан і перспективи розвитку. *Економіка АПК*. 2005. № 2. С. 20–24.
7. Фурса А. В. Шляхи підвищення економічної ефективності цукробурякового виробництва. *Науковий вісник Національного аграрного університету*. 2001. Вип. 35. С. 160–164.
8. Фурса А. В. Взаємовідносини між учасниками цукробурякового підкомплексу. *Економіка АПК*. 2002. № 6. С. 31–36.
9. Фурса А. В. Державне регулювання цукробурякового підкомплексу в умовах ринкових відносин. *Економіка України*. 2004. № 10. С. 58–66.
10. Шпичак О. М. Теоретично-методологічні аспекти ціноутворення на сільськогосподарську продукцію. *Економіка АПК*. 2012. № 8. С. 3–10.
11. Ермантраут Е. Р., Присяжнюк О. І., Шевченко І. Л. Статистичний аналіз агрономічних дослідних даних в пакеті Statistica 6.0: методичні вказівки. Київ: ПоліграфКонсалтинг, 2007. 56 с.
12. Методики проведення досліджень у буряківництві / за ред. М. В. Роїка, Н. Г. Гізбулліна. Київ: ФОП Корзун Д. Ю., 2014. 373 с.
13. Ермантраут Е. Р., Гопцій Т. І., Каленська С. М. та ін. Методика селекційного експерименту (в рослинництві). Харків, 2014. 229 с.
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. Роїк М. В., Сінченко В. М., Присяжнюк О. І., Ермантраут Е. Р. Проведення демонстраційних дослідів. Методичні рекомендації. Київ: ФОП Корзун Д. Ю., 2017. 22 с.

References

1. Varchenko, O. M. (2023). Product quality as the main factor in ensuring the competitiveness of the beet sugar industry. *Herald of Lviv State Agrarian University. Series: Economy of Agro-Industrial Complex*, 10(2), 27–33. [In Ukrainian]
2. Vitvytskyi, V. V., & Shutiuk, T. V. (2001). Optimization of labor costs in the sugar beet sub-complex of Ukraine under market conditions. *Economy of Agro-Industrial Complex*, 11, 64–67. [In Ukrainian]
3. Varchenko, O. M. (2006). Mechanism of sugar market regulation in the countries of the European Union. *Bulletin of Agrarian Science*, 6, 70–74. [In Ukrainian]
4. Slupian, K. V. (2010). Activation of the integration processes of the beet sugar industry as a factor in increasing the efficiency of production. *Formation of market relations in Ukraine*, 5, 150–154. [In Ukrainian]
5. Fursa, A. V. (2002). Transformation of prices for sugar beets and sugar – the basis of stable development of the sugar beet sub-complex. *Ukraine Economy*, 8, 69–75. [In Ukrainian]
6. Fupsa, A. V. (2005). Sugar beet sub-complex of Ukraine: state and development prospects. *Economy of Agro-Industrial Complex*, 2, 20–24. [In Ukrainian]
7. Fursa, A. V. (2001). Ways of increasing the economic efficiency of sugar beet production. *Scientific Bulletin of the National Agrarian University*, 35, 160–164. [In Ukrainian]
8. Fursa, A. V. (2002). Interrelationships between participants of the sugar beet subcomplex. *Economy of Agro-Industrial Complex*, 6, 31–36. [In Ukrainian]
9. Fursa, A. V. (2004). State regulation of the sugar beet sub-complex in terms of market relations. *Ukraine Economy*, 10, 58–66. [In Ukrainian]
10. Shpychak, O. M. (2012). Theoretical and methodological aspects of pricing of agricultural products. *Economy of Agro-Industrial Complex*, 8, 3–10. [In Ukrainian]
11. Ermantraut, E. R., Prysiazhniuk, O. I., & Shevchenko, I. L. (2007). *Statistical analysis of agronomic research data in the Statistica 6.0 package: methodological guidelines*. Kyiv: PoligrafConsulting. [In Ukrainian]
12. Roik, M. V., & Hizbullin, N. G. (Eds.). *Research methods in sugar beet growing*. Kyiv: FOP Korzun D. Yu. [In Ukrainian]
13. Ermantraut, E. R., Hoptsi, T. I., Kalenska, S. M., Kryvoruchenko, R. V., Turchynova, N. P., & Prysiazhniuk, O. I. (2014). *Methodology of selection experiment (in crop production)*. Kharkiv: N. p. [In Ukrainian]
14. Tkachyk, S. O., Prysiazhniuk, O. I., & Leshchuk, N. V. (2016). *Methodology of qualification examination of plant varieties for suitability for distribution in Ukraine. General part* (4th ed., ed. and additional). Vinnytsia: FOP Korzun D. Yu. [In Ukrainian]
15. Roik, M. V., Sinchenko, V. M., Prysiazhniuk, O. I., & Ermantraut, E. R. (2017). *Conducting demonstration experiments. Guidelines*. Kyiv: FOP Korzun D. Yu. [In Ukrainian]

UDC 633.9:631.54

Prysiazhniuk, O. I.^{1*}, Shulha, S. S.¹, Kononiuk, N. O.¹, Zavorodnii, V. M.², Polovynchuk, O. Yu.^{1,3}, Holichenko, N. B.³, Muzyka, O. V.³, Shevchenko, O. P.¹, & Navrotska, E. E.¹ (2023). Efficiency of sugar beet cultivation in the Steppe of Ukraine. *Scientific Papers of the Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet*, 31, 47–58. [In Ukrainian]

¹*Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet, NAAS of Ukraine, 25 Klinichna St., Kyiv, 03110, Ukraine, *e-mail: ollpris@gmail.com*

²*National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, 15 Heroiv Oborony St., Kyiv, 03041, Ukraine*

³*Ukrainian Institute for Plant Variety Examination, 15 Henerala Rodymtseva St., Kyiv, 03041, Ukraine*

Purpose. To determine the features of the economic and energy efficiency of growing sugar beet in the Steppe of Ukraine. **Methods.** Field research was conducted during 2020–2022 in the

Chkalov Agrocompany LLC (Kirovohrad region). The scheme of the experiment provided for the cultivation of sugar beet against the background of the use of a water-retaining agent (without hydrogel; hydrogel Aquasorb, 300 kg/ha), under application of different fertilizers (without fertilizers – control; manure, 20 t/ha; N₁₇₀P₁₈₀K₃₅₀; Leonardyt, 400 kg/ha; Parostok 20, 400 kg/ha) and foliar application of fertilizers during the growing season (without foliar feeding; Humifild SE, 2 kg/ha in the BBCH stage 30 and 39). Organic and mineral fertilizers (PK) were applied in autumn at ploughing and nitrogen was applied at cultivation in early spring. The water-retainer was applied to the soil two weeks before sowing the crop in the zone of the row, based on the data of the GPS tracker. The rest of the agricultural activities corresponded to the generally accepted crop cultivation technology in the area of research. The calculation of economic indicators was performed using prices of 2023. **Results.** In terms of income from the sale of sugar beet roots, the best treatment was the use of Aquasorb hydrogel, fertilization of sugar beet with Leonardyt and foliar application of fertilizer Humifild, where 106.8 thousand UAH/ha was obtained. In terms of costs for crop cultivation technology, the most expensive treatment was the application of mineral fertilizers (75.9–84.4 thousand UAH/ha). In contrast, application of new organic fertilizers provided better results in terms of the costs of growing sugar beet. In particular, in the treatments where hydrogel was not applied, the costs of fertilization with Leonardyt were 37.3–39.8 thousand UAH/ha, while with the use of Aquasorb, the treatment with Leonardyt had a cost of 43.3–45.8 thousand UAH/ha. On the other hand, the costs of using organic fertilizer Parostok were 39.6–42.1 and 45.6–48.1 thousand UAH/ha. In the treatment with Parostok followed by foliar application of Humifild, a profit of UAH 60.6 thousand/ha was obtained. In case of application of Aquasorb hydrogel and fertilization with Leonardyt fertilizer followed by foliar feeding with Humifild, a profit of UAH 61,00 per 1 ha was obtained, which was the maximum in the experiment. Profitability of 145.0% was obtained with the application of Parostok 20 fertilizer and 143.8% with Humifild applied against the background of Parostok. In the treatment with Leonardyt, the profitability was 142.6%. With the use of Aquasorb hydrogel and Leonardyt fertilizer, the level of profitability was somewhat lower and proportional to the increase in technology costs (133.2%). **Conclusions.** In the case of applying Aquasorb hydrogel (300 kg/ha) to the row zone before sowing and fertilizing sugar beet with Leonardyt or Parostok 20, more than 300 GJ/ha of energy yield was obtained. The maximum accumulation of energy in the harvest (312.5 GJ/ha) was obtained in the treatment where moisture retainer, Parostok 20, and Humifild were applied. When Parostok 20 was used as the main fertilizer, the coefficient of energy efficiency was 4.70, while with foliar application of Humifild it was 4.72. In the treatments where moisture retainer and Parostok 20 were applied, with or without subsequent foliar application of Humifild, the coefficient of energy efficiency was 4.60 and 4.63, respectively.

Keywords: *economic efficiency; energy efficiency; mineral fertilizer; organic fertilizer.*

Надійшла / Received 15.09.2023

Погоджено до друку / Accepted 24.10.2023

Продуктивність гороху озимого залежно від азотного удобрення та біологічних препаратів в умовах Степу України

С. М. Романов, Л. І. Сторожик*

*Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН України, вул. Клінічна, 25, м. Київ, 03110, Україна, *e-mail: larisastorozhyk1501@gmail.com*

Мета. Визначити елементи структури врожаю та рівень продуктивності гороху озимого залежно від досліджуваних технологічних елементів. **Методи.** Використовували польові, агрохімічні та статистичні методи. **Результати.** Наведено результати дослідів щодо впливу азотного підживлення та застосування біологічних препаратів на формування елементів структури врожаю та продуктивність гороху озимого в Степу України. Визначено, що сорти гороху озимого 'Ендуро' та 'НС Мороз' сформували різну густоту, яка становить відповідно 78 та 77 шт./м², за застосування біологічних препаратів Leanim Гумікор та Мікофренд густота підвищилась в середньому на 3 % відповідно. Кількість бобів і насінин, маса зерна за застосування добрив у сорту 'Ендуро' становила в середньому 11,3 та 30,6 шт./рослину, за застосування біопрепаратів – 11,0 та 28,6 шт./рослину. У сорту 'НС Мороз' відповідно 15,6 і 27,1 шт./рослину за внесення добрив та 15,5 і 27,1 шт./рослину – за застосування біопрепаратів. Маса зерна була відповідно 4,5–4,3 г у сорту 'Ендуро' та 4–3,8 г у сорту 'НС Мороз'. Високу врожайність зерна 3,83 та 3,82 т/га отримано у сортів 'Ендуро' та 'НС Мороз' за внесення препарату Мікофренд + N₄₀. У варіантах, де вносились основні добрива N₁₀P₄₆K₀ + N₄₀ та N₆₄P₄₆K₀ + N₄₀ з весняним підживленням урожайність становила відповідно 3,15 та 3,08 т/га у сорту 'Ендуро' та 3,15 та 3,24 т/га у сорту 'НС Мороз'. **Висновки.** Внесення біологічних препаратів підвищило врожайність зерна гороху озимого порівняно з використанням додаткових доз азотного підживлення. Різниця урожайності зерна між варіантами удобрення та внесенням біопрепаратів склала відповідно 0,67–0,74 т/га у сорту 'Ендуро' та 0,59–0,68 т/га у сорту 'НС Мороз'. Для формування високої продуктивності гороху озимого найбільш ефективним агроприйомом є внесення добрив та біологічних препаратів за осінньої сівби, які допоможуть знівелювати вплив мінливих ґрунтово-кліматичних умов в період органогенезу рослин та сформувати оптимальні елементи структури врожаю культури.

Ключові слова: сорти; азот; підживлення; біопрепарати; структура врожаю; продуктивність.

Вступ

У процесі адаптації сільськогосподарського виробництва до кліматичних змін все більше агровиробників віддають перевагу озимим культурам, порівнюючи із їх ярими формами [1]. За останні 5 років товаровиробники на ряду з озимими зерновими культурами та ріпаком почали висівати також і горох озимий. Основною перевагою гороху озимого для вирощування в умовах України є його адаптованість до більш низьких температур, що дозволяє в цілому розширити ареал його вирощування та здатність більш повноцінно використовувати запаси зимової вологи, що сприяє формуванню оптимальної структури агрофітоценозу культури до настання літньої посухи, особливо в зоні нестійкого зволоження з дефіцитним водозабезпеченням, що характерно для Степу України [2, 3]. Крім того, придатність гороху озимого як до підзимової сівби, так і для весняної, розширює технологічні можливості виробників, та нівелює частину ризиків, обумовлених погодними умовами.

Добре сформовані рослини гороху озимого підзимового способу сівби здатні переносити короткотривалі морози до -15°C навіть за відсутності снігового покриву, а високі регенеративні властивості забезпечують відновлення вегетативної маси, пошкодженої зимовими вітрами чи відлигами, що характерно для Степу [4].

Із відновленням вегетації навесні горох озимий вже має розвинуту кореневу систему, яка може сягати глибини більше 10 см, та фотосинтетичний апарат, тобто вже відбувається фотосинтез, а отже і поглинання з ґрунту вологи та мінеральних елементів, в той час як традиційний горох в цей період тільки починає висіватись [5, 6].

Важливим елементом сучасних екологічно обґрунтованих ресурсощадних технологій вирощування сільськогосподарських культур є раціональне використання добрив, впровадження в технологію їх нових, більш доступних форм, застосування регуляторів росту, як хімічних, так і біологічних, мікробних препаратів, які підвищують ефективність використання рослиною поживних елементів, вологи, покращуючи адаптивні властивості рослин та в цілому врожайність [7–9]. Гороху на старті росту необхідні невеликі (10–30 кг/га) дози азотних добрив. Це пояснюється тим, що в перші фази органогенезу культури, коли не утворились бульбочки і не розпочалася з повітря фіксація азоту, горох використовує мінеральний азот для формування значної площі литкової поверхні, яка необхідна для успішної азотфіксації бульбочкових бактерій. А використання різних препаратів дозволяє значно скоротити обсяги внесення традиційних мінеральних добрив та засобів захисту рослин, що, у свою чергу, зменшує втрати елементів живлення рослинами та зменшує рівень забруднення навколишнього середовища [10, 11].

Гороху потрібне повне забезпечення мінеральним азотом, так як для бобово-ризобіального симбіозу не завжди складаються сприятливі кліматичні умови, а фіксований із повітря азот забезпечує одержання невисоких урожаїв культури [12, 13].

Тому за високої вартості мінеральних добрив і засобів захисту рослин, а також теперішньої наднизької вартості агропродукції особливого значення набуває розробка маловитратних, екологічно безпечних технологічних елементів вирощування сільськогосподарських культур, що і обумовило *мету досліджень* – встановити показники елементів структури врожаю та продуктивності гороху озимого морфотипів 'Ендура' та 'НС Мороз' залежно від елементів системи удобрення та використання біологічних препаратів у Степу України.

Матеріали та методика досліджень

Дослідження проводилися у селянсько-фермерському господарстві (СФГ) «Ромнана» (селище Новомайське Криворізького району Дніпропетровської області) протягом 2020–2023 рр. Дослідні ділянки були закладені на чорноземах звичайних малогумусних із сортами гороху озимого 'НС Мороз' (Сербія) та 'Ендура' (Франція) підзимового способу сівби. Площа посівної ділянки – 210 м², облікової – 172 м². Строк сівби третя декада жовтня; спосіб сівби суцільно-рядковий, із міжряддям 19 см; попередник соняшник; норма висіву 1,1 млн схожих насінин на 1 га. Основним удобренням слугувало добриво амофос марки N₁₀P₄₆ у нормі 100 кг/га. Під горох вносили середні дози азотних добрив, як доповнення симбіотрофного і автотрофного живлення.

Досліджувані біопрепарати українського виробництва Мікофренд, 2 л/га, Гумікор, 4 л/га, Leapum, 2 л/га вносились у день сівби культури під заробку із нормою витрати робочої рідини 250 л/га шляхом передпосівної культивування на глибину 5–6 см.

Азотне підживлення проводилося оприскувачем поверхнево, добривом КАС-28. Структура врожаю досліджувалася у фазі ВВСН 85–87 (достигання; побуріння 50–70 % бобів). Оцінка продуктивності культури проводилася шляхом зважування зерна після прямого комбайнування з перерахунком на стандартні показники вологості, засміченості. Дослідження проводили за методиками [14, 15]. Отримані дані обробляли за допомогою прикладних програм математичної статистики Excel 2007 та Statistica 6 [16].

Результати досліджень

Основні елементи структури врожаю, такі як густина рослин, кількість квіток, бобів і насінин, маса зерна тощо, прямо пов'язані з формуванням зернової продуктивності. На думку М. І. Кондратенка [17], важливо сформулювати оптимальні показники структури врожаю, оскільки між кількістю бобів на рослині, кількістю зерен на рослині, масою зерна з рослин та врожайністю існує пряма кореляційна залежність. Так, густина рослин гороху неопосередковано впливає на врожайність та якість насіння і залежить від генотипу, кількості внесених добрив та інших агротехнічних заходів. За результатами наших досліджень густина рослин в агрофітоценозі гороху озимого з сортом 'Ендуро' за внесення основного удобрення восени та підживлення по мерзлоталому ґрунту N₄₀ весною становила 78 шт./м², з сортом 'НС Мороз' – 77 шт./м², що в середньому на 11% більше за контроль, де добрива не вносились. Такий же агротехнологічний захід, тільки за застосування біологічних препаратів восени також позитивно впливав на формування густоти рослин. Так, інноваційне органічне добриво-пробіотик *Leanum*, яке має властивості стимулятора коренеутворення, запас поживних речовин для живлення рослин, володіє антистресовим впливом, та препарат Гумікор, який поєднує властивості удобрення та стимулятора росту, забезпечили густоту культури на рівні показників 81 шт./м² у сорту 'Ендуро' та 78 шт./м² у сорту 'НС Мороз'.

Таблиця 1

Показники елементів структури врожаю гороху озимого 'Ендуро' та 'НС Мороз' залежно від системи удобрення та використання біологічних препаратів (2021–2023 рр.)

№ п/п	Варіант удобрення	Густина рослин шт./ м ²	Кількість бобів на одну рослину, шт.	Кількість зерен у бобі, шт.	Кількість зерен на одну рослину, шт.	Маса 1000 насінин, г	Маса зерна з однієї рослини, г
Сорт 'Ендуро'							
1	Контроль	70	9,1	2,6	23,7	142	3,3
2	N ₁₀ P ₄₆ K ₀ + N ₄₀ (по мерзлоталому)	78	11,4	2,7	30,8	147	4,5
3	N ₆₄ P ₄₆ K ₀ + N ₄₀ (по мерзлоталому)	78	11,4	2,6	29,6	145	4,4
4	Мікофренд + N ₄₀ (по мерзлоталому)	81	11,3	2,6	29,4	159	4,6
5	Гумікор + N ₄₀ (по мерзлоталому)	81	10,7	2,5	26,8	153	4,0
6	Leanum + N ₄₀ (по мерзлоталому)	81	11	2,7	29,7	150	4,4
	HP _{0,05}	1,6	1,4	1,2	1,8	1,3	1,3
Сорт 'НС Мороз'							
1	Контроль	71	14,2	1,8	25,6	137	3,5
2	N ₁₀ P ₄₆ K ₀ + N ₄₀ (по мерзлоталому)	77	15,8	1,7	26,9	146	3,9
3	N ₆₄ P ₄₆ K ₀ + N ₄₀ (по мерзлоталому)	77	15,6	1,7	26,5	146	3,9
4	Мікофренд + N ₄₀ (по мерзлоталому)	83	16,3	1,8	29,3	146	4,2
5	Гумікор + N ₄₀ (по мерзлоталому)	78	15,4	1,6	24,6	144	3,5
6	Leanum + N ₄₀ (по мерзлоталому)	78	14,7	1,7	25,3	149	3,7
	HP _{0,05}	1,8	1,7	1,2	2,1	1,6	1,4

Мікоризоутворюючий препарат Мікофренд своєю дією підвищив густоту рослин досліджуваних сортів в середньому на 15 % порівняно з контролем та на 3 % порівняно з основним удобренням.

Отримані нами результати досліджень підтверджуються науковими здобутками авторів Mondal S. C. та Pal S. (2017), Zaman M. A. та ін. (2015), Mahavar N. L. та ін. (2018), які відзначали, що за низьких температур агрофітоценоз гороху формує меншу густоту, а внесення різних видів добрив позитивно впливає на формування показника густоти та сприяє збільшенню врожайності зерна. Kizil S. та ін. (2013) вказує, що і генотипи сортів гороху озимого формують різну густоту та щільність рослин посіву [18–22].

У гороху не всі самозапліднені квітки утворюють повноцінні боби, хоча кількість утворених квіток повинна відповідати кількості сформованих бобів. У більшості випадків кількість квіток і бобів не співпадають, різниця може бути у 20–40 %. У наших дослідженнях кількість бобів на рослині залежала від сортових особливостей: так сорт 'Ендуро' формував у середньому 11 шт. бобів на одну рослину за застосування всіх агротехнологічних заходів при кількості квіток у період цвітіння в межах 17–24 шт. на одну рослину, на контролі зазначений показник був на 22 % нижчий. Сорт 'НС Мороз' формував 15–16 шт. бобів на рослину при кількості квіток від 38 до 46 шт., що на 14 % більше за контроль. Слід відзначити, що за своїм морфотипом сорт 'НС Мороз' в цілому схильний до формування більшої кількості бобів за рахунок більшої кількості квіток та майже вдвічі довшого періоду цвітіння, при цьому озерненість однієї рослини у сорту 'Ендуро' становила 30,8 шт./рослину за застосування основного удобрення та азотного підживлення навесні по мерзоталому ґрунту, що на 29 % вище за контроль. Сорт 'НС Мороз' сформував зерен у цьому варіанті 26,9 шт./рослину, що на 13 % менше порівняно з сортом 'Ендуро' і всього на 5,5 % більше за контроль. Дія біологічного препарату Мікофренд підвищила на 19 % показник кількості зерен на рослину у сорту 'Ендуро' і на 13 % у сорту 'НС Мороз' порівняно з контролем та не мала такої великої різниці порівняно з основним удобренням. Застосування препарату *Leapum* підвищило кількість зерен з рослини на 20 % порівняно з контролем тільки у сорту 'Ендуро', а сорт 'НС Мороз' зовсім не зреагував на цей препарат, і зазначений показник був на рівні контролю.

Щодо маси 1000 насінин, то у варіантах із застосуванням препаратів Мікофренд та Гумікор зазначений показник становив відповідно 159 та 153 г у сорту 'Ендуро', що на 11 та 4 % вище за контроль та варіант з основним удобренням. У сорту 'НС Мороз' за застосування біологічних препаратів маса 1000 насінин становила в середньому 145 г, це всього на 6 % вище за контроль та рівне показнику варіанту з основним удобренням. Застосування препарату *Leapum* позитивно позначилось на масі 1000 насінин тільки у сорту 'НС Мороз', показник був найвищий і становив 149 г порівняно з всіма досліджуваними варіантами. А от морфотип 'Ендуро' не реагував на внесений препарат, і маса 1000 насінин була найменша за застосування зазначених вище препаратів і не значно перевищувала показники маси у варіантах контролю та внесення основних добрив.

Таким чином, сорт 'Ендуро' формував більшу масу 1000 насінин, що при відносно рівній озерненості обох морфотипів призвело до більшої маси зерна з однієї рослини, яка за застосування основного удобрення та препарату Мікофренд становила в середньому 4,5 г. У сорту 'НС Мороз' у представлених варіантах зазначений показник становив відповідно на 13 та 8,7 % менше.

Загалом, представлені результати досліджень за показниками елементів структури врожаю досліджуваних морфотипів показали, що культура в умовах Степу не повністю реалізувала свій продуктивний потенціал за внесення мінеральних добрив, так як підвищення врожайності зерна менше за очікуване.

Серед досліджуваних препаратів варто відмітити варіанти із застосуванням біопрепарату Мікофренд, майже у всіх випадках він показував високі результати. Найвищі показники врожайності зерна ми отримали у варіантах $N_0P_0K_0$ + Мікофренд + N_{40} : для сорту 'Ендуро' – 3,78 т/га та для сорту 'НС Мороз' – 3,55 т/га порівняно з контрольними варіантами 2,35 і 2,49 т/га відповідно.

Найбільший вплив даний біопрепарат мав на показник маси 1000 зерен, що обумовлено підвищеною здатністю рослини адаптуватись до умов ґрунтової посухи та кращим поглинанням поживних речовин із ґрунту за рахунок симбіотичних зав'язків із мікроорганізмами у складі біопрепарату.

Кінцевою метою оптимізації технології вирощування будь-якої культури є отримання високих показників урожайності культури. Для формування високої продуктивності гороху озимого найбільш ефективним агроприємом є внесення добрив та біологічних препаратів за сівби, які допоможуть знівелювати вплив мінливих ґрунтово-кліматичних умов в період органогенезу культури [23, 24]. Першочерговим результатом, що свідчить про ефективність тих чи інших технологічних рішень, є врожайність основної продукції (зерна) та прибавка урожайності до контрольного варіанту (табл. 2).

Таблиця 2

Урожайність зерна сортів гороху озимого 'Ендуро' та 'НС Мороз' залежно від елементів системи удобрення та використання біологічних препаратів (2021–2023 рр.)

Варіант	'Ендуро'						'НС Мороз'					
	Урожайність зерна, т/га				Різниця, т/га	Різниця, %	Урожайність зерна, т/га				Різниця, т/га	Різниця, %
	2021 р.	2022 р.	2023 р.	Середнє			2021 р.	2022 р.	2023 р.	Середнє		
Контроль	2,42	2,07	2,20	2,23	–	–	2,27	1,86	2,23	2,12	–	–
N ₁₀ P ₄₆ K ₀ + N ₄₀ (по мерзлоталому)	3,30	2,73	3,42	3,15	0,92	41,26	3,45	2,61	3,40	3,15	1,03	48,74
N ₆₄ P ₄₆ K ₀ + N ₄₀ (по мерзлоталому)	2,95	2,76	3,54	3,08	0,85	38,27	3,31	2,79	3,63	3,24	1,12	52,99
Мікофренд + N ₄₀	4,63	2,88	3,95	3,82	1,59	71,30	4,75	2,73	4,01	3,83	1,71	80,66
Гумікор + N ₄₀	4,38	2,79	3,81	3,66	1,43	64,13	4,44	2,71	3,81	3,65	1,53	72,33
Leanum + N ₄₀	4,52	2,71	3,77	3,67	1,44	64,42	4,36	2,76	3,83	3,65	1,53	72,17
НІР _{0,05}	2,1	1,8	1,4	1,2	–	–	1,6	1,2	1,1	1,4	–	–

Найвищі результати урожайності зерна отримано у варіантах комплексної дії азотного підживлення навесні та застосування біопрепаратів. Високу урожайність 3,83 та 3,82 т/га, в середньому за роки досліджень, отримано у варіанті застосування препарату Мікофренд + N₄₀ з досліджуваними сортами 'Ендуро' та 'НС Мороз'. Приріст урожаю по відношенню до контролю склав 1,59 та 1,71 т/га відповідно. У варіантах, де вносились основні добрива N₁₀P₄₆K₀ + N₄₀ та N₆₄ P₄₆K₀+N₄₀ з весняним підживленням, урожайність становила відповідно 3,15 та 3,08 т/га у сорту 'Ендуро' та 3,15 та 3,24 т/га у сорту 'НС Мороз'. Різниця урожайності зерна між варіантами удобрення та внесенням біопрепаратів склала відповідно 0,67–0,74 та 0,59–0,68 т/га. Слід відмітити, що підвищення дози азоту за основного внесення добрив до N₆₄P₄₆K₀ за сівби та весняного підживлення сорту 'Ендуро' не вплинуло на урожайність зерна, яка становила за роки досліджень всього 3,08 т/га. А от сорт 'НС Мороз' за збільшення дози азоту підвищив врожайність зерна на 0,16 т/га.

Застосування біопрепаратів Гумікор та Leanum підвищило урожайність зерна в середньому на 1,43 т/га у сорту 'Ендуро' та на 1,54 т/га у сорту 'НС Мороз'.

За результатами визначення кореляційно-регресійних взаємодій між досліджуваними ознаками (рис. 1–4) було встановлено обернений кореляційний зв'язок між кількістю зерен в бобі та кількістю бобів ($r = -0,93$). Також визначено прямі кореляційні зв'язки між масою та кількістю зерен з рослини ($r = 0,96$), між масою зерен з рослини та масою 1000 насінин ($r = 0,64$) а також між урожайністю та масою 1000 насінин ($r = 0,75$).

РОСЛИННИЦТВО

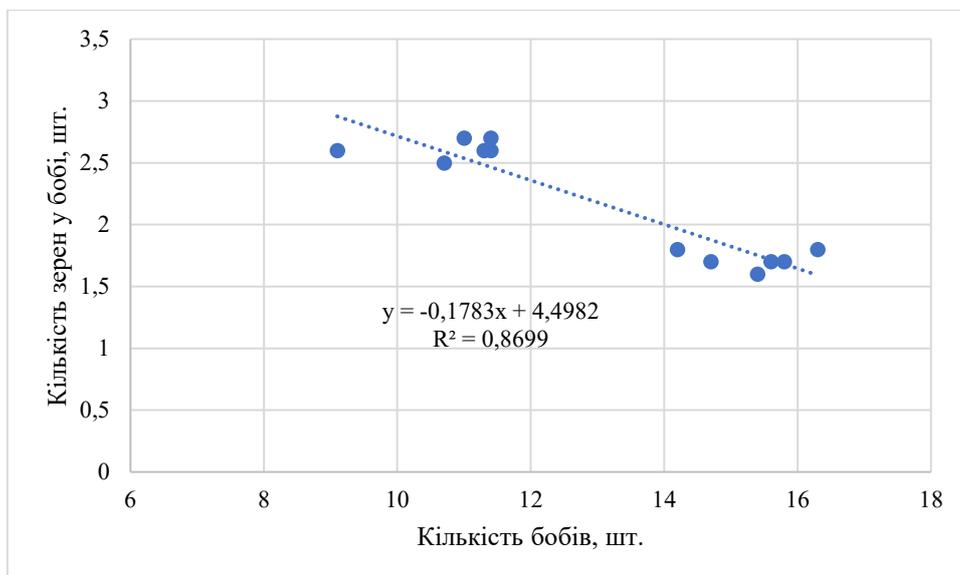


Рис. 1. Рівняння регресії між кількістю зерен в бобі та кількістю бобів

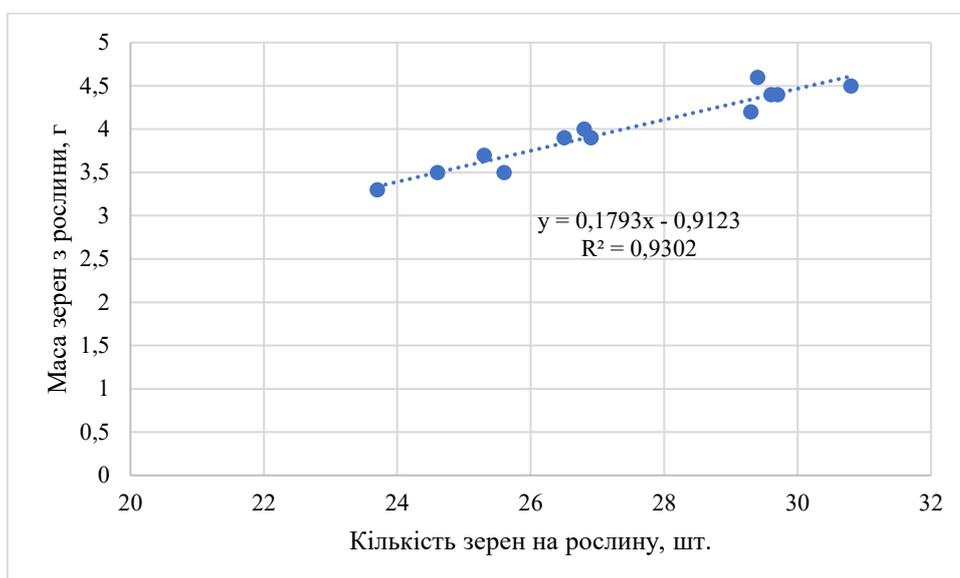


Рис. 2. Рівняння регресії між масою та кількістю зерен з рослини

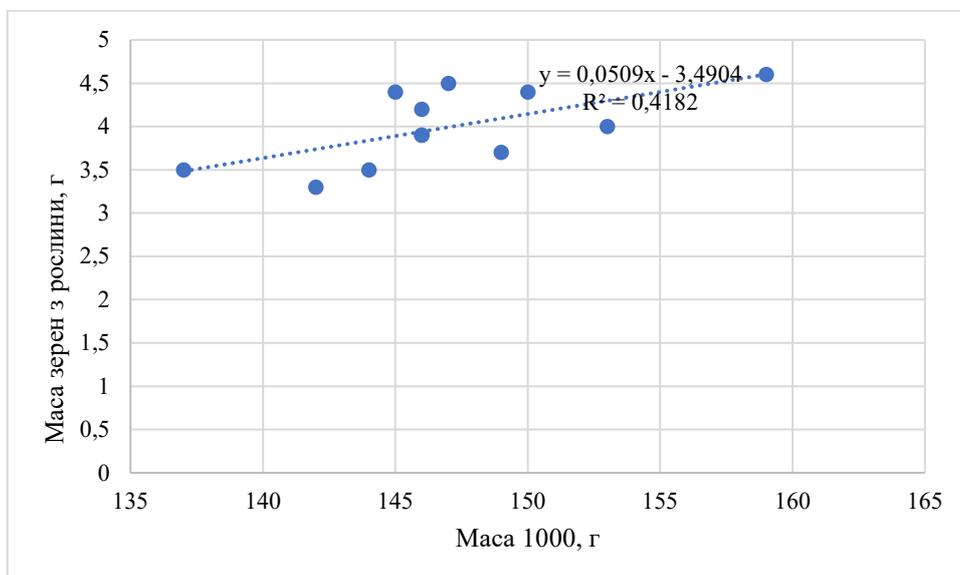


Рис. 3. Рівняння регресії між масою зерен з рослини та масою 1000 насінин

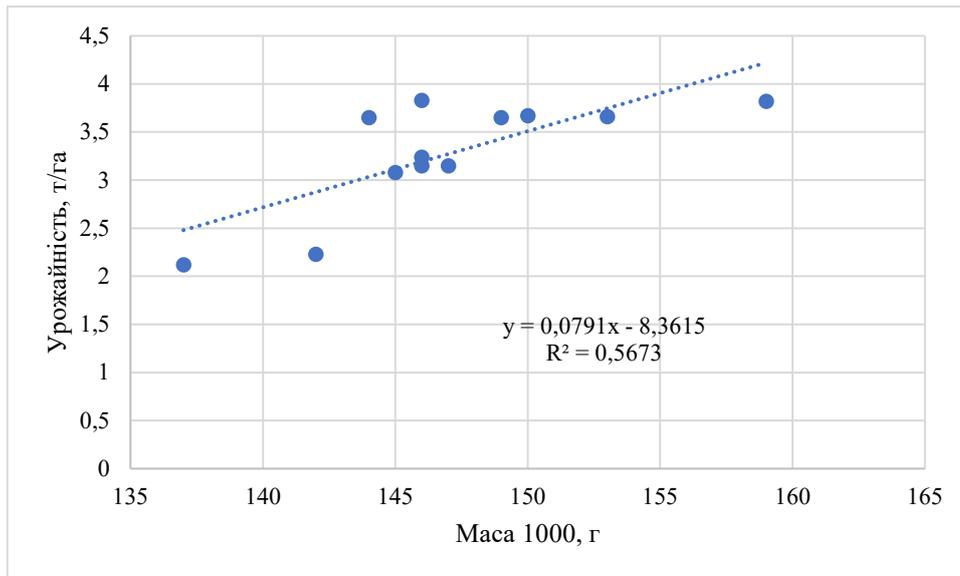


Рис. 4. Рівняння регресії між урожайністю та масою 1000 насінин

Отже, дія біопрепаратів сприяла підвищенню врожайності зерна порівняно з використанням додаткових доз азотного підживлення. Кінцевою метою оптимізації технології вирощування будь-якої культури є отримання високих показників урожайності культури. Для формування високої продуктивності гороху озимого найбільш ефективним агроприйомом є внесення добрив та біологічних препаратів при сівбі, які допоможуть знівелювати вплив мінливих ґрунтово-кліматичних умов в період органогенезу культури.

Висновки

Проведена оцінка особливостей формування елементів продуктивності сортів та врожайності культури. Встановлено, що внесення основних добрив за сівби та підживлень навесні після відновлення вегетації культури підвищують густоту рослин в середньому на 11 %, застосування препарату Мікофренд підвищило густоту рослин досліджуваних сортів у середньому на 15 % порівняно з контролем та на 3 % порівняно з основним удобренням.

Сорт 'НС Мороз' сформував на 45 % бобів більше порівняно з сортом 'Ендуро' за рахунок більшого числа квіток та майже вдвічі довшого періоду цвітіння, при цьому озерненість однієї рослини у сорту 'Ендуро' була на 13 % більша, ніж у морфотипу 'НС Мороз'.

Серед досліджуваних препаратів варто відмітити мікоризоутворюючий препарат Мікофренд, який своєю дією забезпечив підвищення показників елементів структури врожаю гороху озимого досліджуваних морфотипів. Найбільший вплив даний біопрепарат мав на показники кількості зерен, маси 1000 насінин та врожайність культури, що обумовлено підвищеною здатністю рослини адаптуватись до умов ґрунтової посухи та кращого поглинання поживних речовин за рахунок симбіотичних зв'язків із мікроорганізмами у складі біопрепарату.

Урожайність зерна гороху озимого обох сортотипів підвищилась в середньому на 43 % порівняно з контролем та на 17 % порівняно з внесенням азотних добрив.

Використана література

1. Побережна А. А. Еколого-економічні проблеми світового виробництва зернобобових культур для нарощування білкових ресурсів. *Селекція і насінництво*. 2005. Вип. 90. С. 66–74.
2. Камінський В. Ф. Наукові засади біологічного землеробства в умовах зміни клімату. *Збірник наукових праць ННЦ «Інституту землеробства»*. 2000. № 5. С. 3–15.

3. Asfaw S. Gender integration into climatesmart agriculture. Rome : Maggio, Food and Agriculture Organization of the UN, 2016. 20 p.
4. Січкач В. І., Соломонов Р. В. Ефективність вирощування гороху за підзимової сівби. *Аграрна наука: стан та перспективи розвитку*: збірник матеріалів II Всеукраїнської науково-практичної конференції (м. Одеса, 24–25 лист. 2022 р.). Одеса, 2022. С. 105–107.
5. Cutforth H. W., McGinn S. M., McPhee K. E., Miller P. R. Adaptation of pulse crops in the changing climate of the northern Great Plains. *Agronomy Journal*. 2007. Vol. 99. P. 1684–1699. doi: 10.2134/agronj2006.0310s
6. Merrill S. D., Tanaka D. L., Krupinsky J. M., Ries R. E. Water use and depletion by diverse crop species on Haplustoll soil in the northern Great Plains. *Journal of Soil and Water Conservation*. 2004. Vol. 59. P. 176–183.
7. Eaglesham A., Hassoura S., Seegers R. Fertilizer-N effects on N₂ fixation by cowpea and soybean. *Agronomy Journal*. 1983. Vol. 75, Iss. 1. P. 61–66.
8. Chen C., Miller P., Muehlbauer F. et al. Winter pea and lentil response to seeding date and micro- and macro-environments. *Agronomy Journal*. 2006. Vol. 98. P. 1655–1663.
9. Jarchow M. E., Liebman M. Nitrogen fertilization increases diversity and productivity of prairie communities used for bioenergy. *GCB Bioenergy*. 2013. Vol. 5. P. 281–289.
10. Spaink H. Root nodulation and infection factors produced by Rhizobial bacteria. *Microbiology*. 2005. Vol. 54. P. 257–288.
11. Присяжнюк О. І., Король Л. В., Половинчук О. Ю. Урожайність та якість зерна гороху залежно від технологічних прийомів вирощування в умовах Лісостепу України. *Plant Varieties Studying and Protection*. 2018. Т. 14, № 1. С. 116–123. doi: 10.21498/2518-1017.14.1.2018.126520
12. Біологічний азот / за ред. В. П. Патики. Київ : Світ, 2003. 424 с.
13. Господаренко Г. Особливості удобрення сої. *Farmer*. 2012. № 4. С. 16–18.
14. Грицаєнко З. М., Грицаєнко А. О., Карпенко В. П. Методи біологічних та агрохімічних досліджень рослин і ґрунтів. Київ : Нічлава, 2003. 320 с.
15. Основи наукових досліджень в агрономії / за ред. В. О. Єщенко. Вінниця : ПП «ТД «Едельвейс і К», 2014. 332 с.
16. Ермантраут Е. Р., Присяжнюк О. І., Шевченко І. Л. Статистичний аналіз агрономічних дослідних даних в пакеті Statistica-6. Київ : ПоліграфКонсалтинг, 2007. 56 с.
17. Кондратенко М. І. Формування адаптивності ознак зернової продуктивності колекційних зразків гороху посівного різних морфотипів в умовах правобережного лісостепу України. *Корми і кормовиробництво*. 2015. Вип. 81. С. 21–30.
18. Mondal S. C., Pal S., Mukhopadhyay S. Effect of nitrogen and phosphorus on growth and yield of pea (*Pisum sativum* L.). *International Journal of Current Microbiology and Applied Science*. 2017. Vol. 6, Iss. 8. P. 2230–2237. doi: 10.20546/ijemas.2017.608.264
19. Zaman M. A., Prodhan Z. H., Hasanuzzaman M. Effect of temperature on the growth and development of pea (*Pisum sativum* L.) cultivars. *Journal of the Bangladesh Agricultural University*. 2015. Vol. 13, Iss. 1. P. 51–57. doi: 10.3329/jbau.v13i1.23455
20. Mahavar N. L., Meena R. K., Meena B. L. Effect of bio-fertilizers on growth and yield of pea (*Pisum sativum* L.) under organic farming system. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*. 2018. Vol. 7, Iss. 3. P. 384–389.
21. Kizil S., Tuncurk M., Sari N. Effects of cultivars and planting densities on yield, yield components and some quality characteristics of pea (*Pisum sativum* L.). *African Journal of Biotechnology*. 2013. Vol. 12, Iss. 4. P. 348–354. doi: 10.5897/ajb12.2579
22. Тараріко Ю. О. Формування сталих агроєкосистем: теорія і практика. Київ, 2015. 508 с.
23. Городній М. М. Агрохімія. Київ : Мастер Принт, 2015. 437 с.

References

1. Poberezhna, A. A. (2005). Environmental and economic problems of global production of legumes for increasing protein resources. *Breeding and Seed Production*, 90, 66–74. [In Ukrainian]

2. Kaminskyi, V. F. (2000). Scientific principles of biological agriculture in the conditions of climate change. *Collection of scientific works of the NSC "Institute of Agriculture"*, 5, 3–15. [In Ukrainian]
3. Asfaw, S. (2016). *Gender integration into climatesmart agriculture*. Rome: Maggio, Food and Agriculture Organization of the UN.
4. Sichkar, V. I., & Solomonov, R. V. (2022). The efficiency of growing peas under winter sowing. In *Agrarian science: state and prospects of development: a collection of materials of the II All-Ukrainian Scientific and Practical Conference* (pp. 105–107). Odesa. [In Ukrainian]
5. Cutforth, H. W., McGinn, S. M., McPhee, K. E., & Miller, P. R. (2014). Adaptation of pulse crops in the changing climate of the northern Great Plains. *Agronomy Journal*, 99, 1684–1699. doi: 10.2134/agronj2006.0310s
6. Merrill, S. D., Tanaka, D. L., Krupinsky, J. M., & Ries, R. E. (2004). Water use and depletion by diverse crop species on Haplustoll soil in the northern Great Plains. *Journal of Soil and Water Conservation*, 59, 176–183.
7. Eaglesham, A., Hassoura, S., & Seegers, R. (1983). Fertilizer-N effects on N₂ fixation by cowpea and soybean. *Agronomy Journal*, 75(1), 61–66.
8. Chen, C., Miller, P., & Muehlbauer, F. (2006). Winter pea and lentil response to seeding date and micro- and macro-environments. *Agronomy Journal*, 98, 1655–1663.
9. Jarchow, M. E., & Liebman, M. (2013). Nitrogen fertilization increases diversity and productivity of prairie communities used for bioenergy. *GCB Bioenergy*, 5, 281–289.
10. Spaink, H. (2005). Root nodulation and infection factors produced by Rhizobial bacteria. *Microbiology*, 54, 257–288.
11. Prysiazhniuk, O. I., Korol, L. V., & Polovynchuk, O. Yu. (2018). Yield and quality of pea grain as affected by agronomic practices under the conditions of the Forest-Steppe of Ukraine. *Plant Varieties Studying and Protection*, 14(1), 116–123. doi: 10.21498/2518-1017.14.1.2018.126520 [In Ukrainian]
12. Patyka, V. P. (Ed.). *Biological nitrogen*. Kyiv: Svit. [In Ukrainian]
13. Gospodarenko, G. (2012). Peculiarities of soybean fertilization. *Farmer*, 4, 16–18.
14. Hrytsaenko, Z. M., Hrytsaenko, A. O., & Karpenko, V. P. (2003). *Methods of biological and agrochemical research of plants and soils*. Kyiv: Nichlava. [In Ukrainian]
15. Yeshchenko, V. O. (2014). *Basics of scientific research in agronomy*. Vinnytsia: PP "TD "Edelweiss and K". [In Ukrainian]
16. Ermantraut, E. R., Prysiazhniuk, O. I., & Shevchenko, I. L. (2007). *Statistical analysis of agronomic research data in the Statistica-6 package*. Kyiv: PoligrafConsulting. [In Ukrainian]
17. Kondratenko, M. I. (2015). Formation of adaptability of grain productivity traits of collection samples of seed peas of different morphotypes in the conditions of the right-bank forest-steppe of Ukraine. *Fodder and Fodder Production*, 81, 21–30. [In Ukrainian]
18. Sushree, A., Khamari, B., & Muthu, M. C. (2017). Effect of nitrogen and phosphorus on growth and yield of pea (*Pisum sativum* L.). *International Journal of Current Microbiology and Applied Science*, 6(8), 2230–2237. doi: 10.20546/ijemas.2017.608.264
19. Zaman, M. A., Prodhhan, Z. H., & Hasanuzzaman, M. (2015). Effect of temperature on the growth and development of pea (*Pisum sativum* L.) cultivars. *Journal of the Bangladesh Agricultural University*, 13(1), 51–57. doi: 10.3329/jbau.v13i1.23455
20. Mahavar, N. L., Meena, R. K., & Meena, B. L. (2018). Effect of bio-fertilizers on growth and yield of pea (*Pisum sativum* L.) under organic farming system. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 7(3), 384–389.
21. Kizil, S., Tuncurk, M., & Sari, N. (2013). Effects of cultivars and planting densities on yield, yield components and some quality characteristics of pea (*Pisum sativum* L.). *African Journal of Biotechnology*, 12(4), 348–354. doi: 10.5897/ajb12.2579
22. Tarariko, Yu. O. (2015). *Formation of sustainable agroecosystems: theory and practice*. Kyiv. [In Ukrainian]
23. Horodnii, M. M. (2015). *Agrochemistry*. Kyiv: Master Print. [In Ukrainian]

UDC 633.358:631.54:631.89

Romanov, S. M., & Storozhyk, L. I.* (2023). Productivity of winter pea under the application of nitrogen fertilization and biological preparations in the Steppe of Ukraine. *Scientific Papers of the Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet*, 31, 59–68. [In Ukrainian]

*Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet of NAAS of Ukraine, 25 Klinichna St., Kyiv, 03141, Ukraine, *e-mail: larisastorozhyk1501@gmail.com*

Purpose. To determine the elements of the yield structure and the level of crop productivity under the effect of the studied agronomic practices. **Methods.** Field, agrochemical and statistical methods were used in the study. **Results.** The results of experiments on the effect of nitrogen fertilization and biological preparations on the yield structure formation and the productivity of winter pea in the Steppe of Ukraine are presented. It was determined that the winter pea varieties 'Enduro' and 'NS Moroz' formed different plant densities: 78 plants/m² and 77 plants/m², respectively. With the application of biological preparations Leanum Humikor and Mycofriend, plant density increased by an average of 3%. The number of beans and seeds per plant and the weight of grain for the application of fertilizers in 'Enduro' was on average 11.3 and 30.6, respectively, and for the application of biological preparations 11.0 and 28.6, respectively. In 'NS Moroz', these indicators were 15.6 and 27.1, respectively, for the application of fertilizers and 15.5 and 27.1, respectively, for the application of biological preparations. The grain weight was 4.5–4.3 g in 'Enduro' and 4–3.8 g in 'NS Moroz'. A high grain yield of 3.83 t/ha and 3.82 t/ha was obtained in both 'Enduro' and 'NS Moroz', respectively, after applying the Mycofriend + N₄₀. In the treatments where the main fertilizers N₁₀P₄₆K₀ + N₄₀ and N₆₄P₄₆K₀ + N₄₀ were applied in spring, the yield was 3.15 t/ha and 3.08 t/ha in the 'Enduro' variety and 3.15 t/ha and 3.24 t/ha in the 'NS Moroz' variety, respectively. **Conclusions.** The application of biological preparations increased grain yield of winter pea compared to the use of additional doses of nitrogen fertilizers. The difference in grain yield between the fertilization options and the application of biological preparations was 0.67–0.74 t/ha in 'Enduro' and 0.59–0.68 t/ha in 'NS Moroz', respectively. To obtain high productivity of winter pea, the most effective agronomic practice is the application of fertilizers and biological preparations during autumn sowing, which helps to reduce the influence of changing soil and climate conditions in the period of plant organogenesis, and obtain optimum yield structure.

Keywords: varieties; nitrogen; nutrition; biological preparations; crop structure; productivity.

Надійшла / Received 07.11.2023

Погоджено до друку / Accepted 21.11.2023

Формування поживного режиму чорнозему вилугуваного в агроценозі буряків цукрових залежно від удобрення

В. В. Іваніна*, В. М. Гурська

*Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН України, вул. Клінічна, 25, м. Київ, 03141, Україна, *e-mail: v_ivanina@ukr.net*

Мета. Дослідити вплив традиційних та альтернативних органічних та органо-мінеральних систем удобрення на формування поживного режиму ґрунту в посівах буряків цукрових. **Методи.** Довготривалий польовий та аналітичний. **Результати.** Представлено результати досліджень щодо впливу добрив на формування азотного, фосфорного та калійного режимів чорнозему вилугуваного в агроценозі буряків цукрових. Установлено, що поєднане застосування органічних та мінеральних добрив забезпечило найкращі показники поживного режиму ґрунту на початок вегетації буряків цукрових. Застосування соломи пшениці озимої та зеленої маси гірчиці білої в поєднанні з мінеральними добривами незначно поступалось за ефективністю традиційній на основі гною системі удобрення. **Висновки.** Найсприятливіші умови азотного режиму чорнозему вилугуваного формувались за внесення 40 т/га гною + N₉₀P₆₀K₉₀: на момент сівби запаси мінерального азоту у 0–100 см шарі ґрунту становили 288 кг/га. Застосування зеленої маси гірчиці білої + N₉₀P₆₀K₉₀ обумовило запаси мінерального азоту у ґрунті 259 кг/га, солома + сидерат + N₉₀P₆₀K₉₀ – 256 кг/га з перевищенням контролю без добрив – на 61 та 58 кг/га. У складі мінерального азоту ґрунту нітратна форма переважала над амонійною в 1,6 раза. Органо-мінеральні системи удобрення формували найвищий вміст рухомого фосфору та калію у ґрунті весною. За внесення 40 т/га гною + N₉₀P₆₀K₉₀ вміст рухомого фосфору у шарі 0–30 см на момент сівби становив 145 мг/кг, сидерат + N₉₀P₆₀K₉₀ – 140, солома + сидерат + N₉₀P₆₀K₉₀ – 142; вміст рухомого калію – 104, 93 та 97 мг/кг ґрунту. Зазначені системи удобрення підвищили вміст рухомого фосфору у ґрунті порівняно з контролем без добрив на 34–45 мг/кг, рухомого калію – на 17–28 мг/кг ґрунту. Упродовж вегетації вміст рухомого фосфору у ґрунті зберігав стабільність, вміст рухомого калію – зменшився на 11–28 %.

Ключові слова: елементи живлення; добрива; буряки цукрові; чорнозем вилугуваний.

Вступ

Система удобрення є основою формування продуктивності сільськогосподарських культур [1, 2]. Внесення добрив підвищує вміст рухомих форм елементів живлення у ґрунті, сприяє їх засвоєнню рослинами, посилює інтенсивність процесів живлення та метаболізму у рослинах, що в кінцевому рахунку визначає їх біологічну продуктивність [3, 4].

Зі зростанням потепління і посушливості клімату, система удобрення стає визначальним чинником впливу на поживний та водний режими ґрунту, формує вміст елементів живлення у ґрунті та визначає їх доступність рослинам [5, 6]. Основою стабільності та отримання високих врожаїв буряків цукрових є органо-мінеральна система удобрення. Поєднане внесення органічних та мінеральних добрив впливає на ґрунтовий комплекс, формує сприятливу структуру ґрунту, істотно збільшує вміст елементів живлення, сприяє збереженню ґрунтової вологи, що істотно покращує вологозабезпечення та мінеральне живлення рослин [7, 8].

В реаліях сьогодення, коли виробництво та застосування гною є мізерним, значної уваги набули альтернативні органо-мінеральні системи удобрення, в яких замість гною використовується побічна продукція сільськогосподарських культур та зелена маса проміжних сидератів [9, 10]. В умовах достатнього зволоження таке поєднання є ефективним і може бути основою для сталого вирощування буряків цукрових [11].

Мета досліджень – установити вплив традиційних і альтернативних органічних та органо-мінеральних систем удобрення на формування поживного режиму ґрунту в посівах буряків цукрових.

Матеріали та методика досліджень

Дослідження проводили у 2021–2023 рр. у стаціонарному польовому досліді на Уладово-Люлинецькій дослідно-селекційній станції. Посівна ділянка – 200 м², облікова – 100 м². Варіанти досліді розміщені послідовно, повторність триразова.

Ґрунт дослідної ділянки чорнозем вилугуваний легкосуглинковий: вміст гумусу в орному 0–30 см шарі за Тюрнімом – 4,0–4,1 %, рН сольове – 5,8–6,0, гідролітична кислотність за Каппеном – 2,1–2,3 мг-екв/100 г ґрунту, рухомий фосфор та калій за Чиріковим – 130–145 та 85–95 мг/кг ґрунту відповідно.

Мінеральні та органічні добрива вносили з осені під глибоку оранку: азот у формі амонійної селітри, фосфор – суперфосфату простого гранульованого, калій – калію хлористого. На зелене добриво висівали післязнівний сидерат гірчицю білу, зелену масу якої заорювали у ґрунт в кінці жовтня.

У досліді сіяли гібрид буряків цукрових ‘Булава’. Вирощували буряки цукрові за українською інтенсивною технологією, яка загальноприйнята для зони Лісостепу.

Відбір зразків ґрунту проводили в шарах 0–30 та 30–60 см у п’ятикратній повторності на кожній дослідній ділянці. У середньозваженому зразку ґрунту, визначали вміст нітратного та амонійного азоту згідно з ДСТУ 4729:2007, рухомий фосфор та калій – згідно з ДСТУ 4115-2002.

Урожай обліковували методом пробних ділянок, зважували і перераховували на площу 1 га. Результати досліджень опрацьовували методом дисперсійного аналізу з використанням комп’ютерної програми Статистика.

Результати досліджень

У середньому за 2021–2023 рр. на період сівби буряків цукрових у ґрунті формувались сприятливі умови мінерального живлення, які здатні були забезпечити інтенсивний ріст і розвиток буряків цукрових на початкових етапах органогенезу. На контролі без добрив у шарі 0–100 см чорнозему вилугуваного накопичувались значні запаси мінерального азоту – 198 кг/га, у складі якого нітратний азот становив 113 кг/га, амонійний – 85 кг/га (рис. 1).

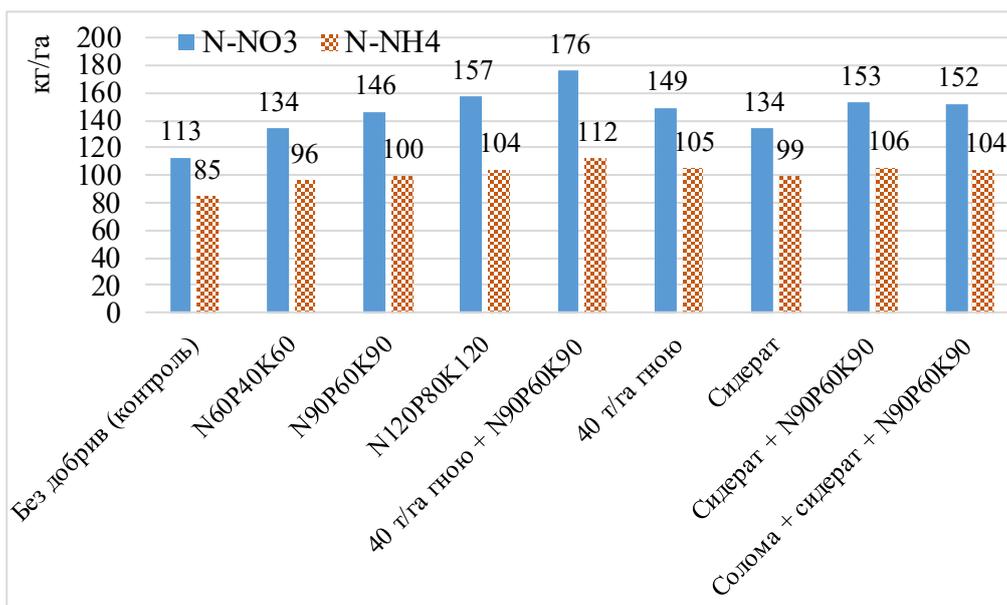


Рис. 1. Запаси мінерального азоту в 0–100 см шарі ґрунту на момент сівби буряків цукрових залежно від удобрення, кг/га (середнє за 2021–2023 рр.)

Застосування добрив істотно збільшило запаси мінерального азоту у ґрунті. За внесення зростаючих доз мінеральних добрив від $N_{60}P_{40}K_{60}$ до $N_{120}P_{80}K_{120}$ запаси мінерального азоту у ґрунті порівняно з контролем без добрив зросли на 32 та 63 кг/га і становили – 230 та 261 кг/га, відповідно. Такі запаси азоту ґрунту здатні сформувати біологічну врожайність буряків цукрових понад 60 т/га.

Найбільші запаси мінерального азоту в 0–100 см шарі ґрунту весною формувались за традиційної органо-мінеральної системи удобрення. Внесення 40 т/га гною + $N_{90}P_{60}K_{90}$ забезпечило на момент сівби буряків цукрових запаси мінерального азоту у ґрунті 288 кг/га, що порівняно з контролем без добрив було вищим на 90 кг/га. У складі мінерального азоту переважала нітратна форма – 176 кг/га, тоді як амонійний азот становив 112 кг/га, кількість якого була у 1,6 раза меншою.

Достатньо ефективним у формуванні азотного режиму чорнозему вилугуваного визначено застосування органічної системи удобрення на основі гною. Внесення 40 т/га гною забезпечило запаси мінерального азоту у ґрунті весною 254 кг/га, де нітратний азот становив 149 кг/га, амонійний – 105 кг/га. Натомість використання на добриво зеленої маси проміжної сидеральної культури гірчиці білої значно поступалось гноєві за впливом на азотний режим ґрунту. Заорювання в середньому за 2021–2023 рр. 15,1 т/га зеленого добрива забезпечило запаси мінерального азоту у ґрунті 233 кг/га, що порівняно з контролем без добрив було вищим на 35 кг/га.

Ефективність альтернативного органічного добрива у формуванні азотного режиму ґрунту зростала за поєднаного внесення сидерату з мінеральними добривами. Застосування зеленої маси гірчиці білої + $N_{90}P_{60}K_{90}$ забезпечило запаси мінерального азоту у ґрунті весною – 259 кг/га, солома + пожнивний сидерат + $N_{90}P_{60}K_{90}$ – 256 кг/га, що порівняно з контролем без добрив було вищим – на 61 та 58 кг/га, відповідно.

Отже, за відсутності гною найкращою альтернативою у формуванні азотного режиму ґрунту є застосування зеленої маси проміжної сидеральної культури гірчиці білої або її поєднання з заорюванням соломи пшениці озимої та внесення мінеральних добрив в дозі $N_{90}P_{60}K_{90}$.

Застосування добрив істотно підвищило вміст рухомого фосфору в чорноземі вилугуваному у весняний період. Так, на контролі без добрив вміст рухомого фосфору у ґрунті на момент сівби становив 106 мг/кг ґрунту, за внесення добрив у дозах від $N_{60}P_{40}K_{60}$ до $N_{120}P_{80}K_{120}$ – 125–138, внесення 40 т/га гною + $N_{90}P_{60}K_{90}$ – 151 мг/кг ґрунту. Традиційні мінеральна та органо-мінеральна системи удобрення збільшили вміст рухомого фосфору у ґрунті порівняно з контролем без добрив – на 19–32 та 45 мг/кг ґрунту (табл. 1).

Ефективними в підвищенні вмісту рухомих фосфатів у ґрунті весною визначено органічну на основі гною та альтернативні органо-мінеральні системи удобрення. За внесення 40 т/га гною вміст рухомого фосфору у ґрунті на момент сівби підвищився до контролю без добрив – на 36 мг/кг ґрунту, зеленої маси гірчиці білої + $N_{90}P_{60}K_{90}$ – на 34, солома + сидерат + $N_{90}P_{60}K_{90}$ – на 36 за абсолютних показників 142, 140 та 142 мг/кг ґрунту, відповідно.

Використання на добриво лише зеленої маси гірчиці білої підвищувало мобільність рухомого фосфору у ґрунті, проте вміст рухомого фосфору до контролю без добрив підвищився незначно – на 12 мг/кг ґрунту, що поступалось мінеральній та органо-мінеральним систем удобрення.

У підорному 30–60 см шарі ґрунту за внесення мінеральних добрив вміст рухомого фосфору весною підвищився до контролю без добрив – на 2–5 мг/кг, 40 т/га гною + $N_{90}P_{60}K_{90}$ – на 11 мг/кг, 40 т/га гною – на 7 мг/кг, альтернативних органо-мінеральних добрив – на 7–9 мг/кг ґрунту.

На кінець вегетації вміст рухомого фосфору у ґрунті неістотно зменшився на контролі без добрив, за внесення мінеральних добрив у дозі $N_{60}P_{40}K_{60}$ та у варіанті з заорюванням зеленої маси гірчиці білої. У решті варіантів спостерігали стабільність та зростання вмісту рухомих фосфатів ґрунту.

Отже, за впливом на фосфатний режим ґрунту застосування зеленої маси гірчиці білої + N₉₀P₆₀K₉₀ та солома + сидерат + N₉₀P₆₀K₉₀ незначно поступались традиційній на основі гною органо-мінеральній системі удобрення, проте були ефективнішими в порівнянні з традиційними мінеральними системами удобрення.

Таблиця 1

Вміст рухомого фосфору в чорноземі вилугуваному залежно від удобрення, мг/кг ґрунту, (середнє за 2021–2023 рр.)

№ вар.	Варіант	Сівба		Збирання врожаю	
		шар ґрунту, см			
		0–30	30–60	0–30	30–60
1	Без добрив (контроль)	106	97	103	91
2	N ₆₀ P ₄₀ K ₆₀	125	99	118	93
3	N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀	131	101	136	91
4	N ₁₂₀ P ₈₀ K ₁₂₀	138	102	140	94
5	40 т/га гною + N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀	151	108	155	97
6	40 т/га гною	142	104	146	93
10	Пожнивний сидерат	118	101	114	90
11	Пожнивний сидерат + N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀	140	106	146	95
12	Солома + поживний сидерат + N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀	142	104	147	93
НІР _{0,05}		7	6	6	5
Р, %		2,4	2,3	2,6	2,2

Примітка. Ланка сівозмінні горох – пшениця озима – буряки цукрові; урожайність гірчиці – 15,1 т/га.

За внесення добрив значно покращились умови калійного режиму чорнозему вилугуваного весною. На контролі без добрив вміст рухомого калію у ґрунті на момент сівби становив 76 мг/кг, за внесення добрив у дозах від N₆₀P₄₀K₆₀ до N₁₂₀P₈₀K₁₂₀ – 87–92, внесення 40 т/га гною + N₉₀P₆₀K₉₀ – 104 мг/кг ґрунту. Традиційні мінеральна та органо-мінеральна системи удобрення збільшили вміст рухомого калію у ґрунті порівняно з контролем без добрив – на 11–16 та 28 мг/кг ґрунту (табл. 2).

Таблиця 2

Вміст рухомого калію в чорноземі вилугуваному залежно від удобрення, мг/кг ґрунту (середнє за 2021–2023 рр.)

№ вар.	Варіант	Сівба		Збирання врожаю	
		шар ґрунту, см			
		0–30	30–60	0–30	30–60
1	Без добрив (контроль)	76	67	68	64
2	N ₆₀ P ₄₀ K ₆₀	87	77	68	66
3	N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀	88	80	71	67
4	N ₁₂₀ P ₈₀ K ₁₂₀	92	80	70	67
5	40 т/га гною + N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀	104	84	75	68
6	40 т/га гною	96	79	72	68
10	Пожнивний сидерат	89	77	68	63
11	Пожнивний сидерат + N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀	93	80	70	67
12	Солома + поживний сидерат + N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀	97	83	73	69
НІР _{0,05}		6	5	4	4
Р, %		2,7	2,4	2,2	2,3

Примітка. Ланка сівозмінні горох – пшениця озима – буряки цукрові; урожайність гірчиці – 15,1 т/га.

Покращенню калійного режиму чорнозему вилугуваного сприяло застосування гною та альтернативних органо-мінеральних систем удобрення. За внесення 40 т/га гною вміст рухомого калію у ґрунті на момент сівби підвищився до контролю без добрив – на 20 мг/кг, зеленої маси гірчиці білої + N₉₀P₆₀K₉₀ – на 17, солома + сидерат + N₉₀P₆₀K₉₀ – на 21 за абсолютних показників 96, 93 та 97 кг/га ґрунту, відповідно.

За використання на добриво зеленої маси гірчиці білої вміст рухомого калію у ґрунті порівняно з контролем без добрив підвищився на 13 мг/кг ґрунту, що було меншим, ніж на інших систем удобрення.

У підорному 30–60 см шарі ґрунту за внесення добрив вміст рухомого калію весною підвищився до контролю без добрив – на 10–17 мг/кг ґрунту, що вказує на мобільність і часткове вимивання калію в глибші шари ґрунту.

На кінець вегетації вміст рухомого калію у ґрунті порівняно з весняними термінами зменшився на 11–28 %. Зменшення було характерним для усіх варіантів досліду, що вказує на використання калію рослинами та процеси його адсорбції ґрунтом.

Отже, застосування альтернативних органо-мінеральних систем удобренням істотно підвищило фонд рухомого калію ґрунту весною і за ефективністю поступалось лише традиційній системі удобрення, коли вносили 40 т/га гною + N₉₀P₆₀K₉₀.

Висновки

1. Найсприятливіші умови азотного режиму чорнозему вилугуваного формувались за традиційної та альтернативних органо-мінеральних систем удобрення. На момент сівби запаси мінерального азоту у 0–100 см шарі ґрунту за внесення 40 т/га гною + N₉₀P₆₀K₉₀ становили 288 кг/га, зеленої маси гірчиці білої + N₉₀P₆₀K₉₀ – 259, солома + сидерат + N₉₀P₆₀K₉₀ – 256 кг/га з перевищенням контролю без добрив – на 90, 61 та 58 кг/га. У складі мінерального азоту переважала нітратна форма – 152–176 кг/га, тоді як амонійний азот становив 104–112 кг/га, що було у 1,6 раза меншим.

2. Органо-мінеральні системи удобрення створювали сприятливіші умови фосфорного режиму ґрунту, підвищивши його вміст переважно в орному 0–30 см шарі. За внесення 40 т/га гною + N₉₀P₆₀K₉₀ вміст рухомого фосфору у шарі 0–30 см на момент сівби становив 145 мг/кг, сидерат + N₉₀P₆₀K₉₀ – 140, солома + сидерат + N₉₀P₆₀K₉₀ – 142 мг/кг з перевищенням контролю без добрив – на 45, 34 та 36 мг/кг ґрунту. Упродовж вегетації вміст рухомого фосфору у ґрунті зберігав стабільність.

3. Поєднане застосування органічних та мінеральних формувало найкращі умови калійного режиму чорнозему вилугуваного. За внесення 40 т/га гною + N₉₀P₆₀K₉₀ вміст рухомого калію у шарі ґрунту 0–30 см на момент сівби становив 104 мг/кг, сидерат + N₉₀P₆₀K₉₀ – 93, солома + сидерат + N₉₀P₆₀K₉₀ – 97 мг/кг з перевищенням контролю без добрив – на 28, 17 та 21 мг/кг ґрунту. На кінець вегетації вміст рухомого калію у ґрунті порівняно з весняними термінами зменшився на 11–28 %.

Використана література

1. Барштейн Л. А., Шкаредний І. С., Одрехівський О. Г. Залежність родючості ґрунту та продуктивності цукрових буряків від сівозмін та добрив. *Землеробство*. 1998. Вип. 72. С. 85–90.
2. Цвей Я. П., Карачка В. П., Петрова О. Т. Формування поживного режиму чорнозему від добрив у посівах цукрових буряків. *Вісник аграрної науки*. 2008. № 12. С. 23–26.
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. Ahmad I., Ahmad B., Ali S. et al. Nutrients management strategies to improve yield and quality of sugar beet in semi-arid regions. *Journal of Plant Nutrition*. 2017. Vol. 40, Iss. 15. P. 2109–2115. doi: 10.1080/01904167.2016.1267207

5. Lori M., Symanczik S., Mäder M. et al. Distinct Nitrogen Provisioning From Organic Amendments in Soil as Influenced by Farming System and Water Regime. *Environment Science*. 2018. Vol. 4. P. 33–40. doi: 10.3389/fenvs.2018.00040
6. Цвей Я. П., Шиманська Н. К. Продуктивність цукрових буряків і винесення елементів живлення залежно від системи удобрення. *Вісник Львівського державного аграрного університету*. 2005. № 5. С. 205–208.
7. Schütz L., Gattinger A., Meier M. et al. Improving crop yield and nutrient use efficiency via biofertilization – a global meta-analysis. *Frontiers in Plant Science*. 2018. Vol. 8. Article 2204. doi: 10.3389/fpls.2017.02204
8. Польовий В. М. Оптимізація систем удобрення у сучасному землеробстві. Рівне : Волинські обереги, 2007. 320 с.
9. Сайко В. Ф. Наукові основи землеробства в контексті змін клімату. *Вісник аграрної науки*. 2008. № 11. С. 5–10.
10. Bagherzadeh A., Kalat S. M. N., Hajian J. Effects of Residual Wheat Straw and Nitrogen Fertilizer on Yield and Quality of Sugar Beet in a Semi-Arid Region. *Sugar Tech*. 2014. Vol. 16, Iss. 2. P. 189–194. doi: 10.1007/s12355-013-0253-6
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

References

1. Barshtein, L. A., Shkarednyi, I. S., & Odrekivskyi, O. G. (1998). Dependence of soil fertility and sugar beet productivity on crop rotation and fertilizers. *Agriculture*, 72, 85–90. [In Ukrainian]
2. Tsvey, Ya. P., Karachka, V. P., & Petrova, O. T. (2008). Formation of nutrients regime of black soil as depends on fertilizers in sugar beet crops. *Bulletin of Agricultural Science*, 12, 23–26. [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. Ahmad, I., Ahmad, B., Ali, S., Kamran, M., Fang, H. Q., & Bilegjargal, B. (2017). Nutrients management strategies to improve yield and quality of sugar beet in semi-arid regions. *Journal of Plant Nutrition*, 40(15), 2109–2115. doi: 10.1080/01904167.2016.1267207
5. Lori, M., Symanczik, S., Mäder, M., Efosa, N., Jaenicke, S., Buegger, F., Tresch, S., Goesmann, A., & Gattinger, A. (2018). Distinct Nitrogen Provisioning from Organic Amendments in Soil as Influenced by Farming System and Water Regime. *Environment Science*, 4, 33–40. doi: 10.3389/fenvs.2018.00040
6. Tsvey, Ya. P., & Shymanska, N. K. (2005). Sugar beet productivity and nutrient removal depending on the fertilizer system. *Bulletin of Lviv State Agrarian University*, 5, 205–208. [In Ukrainian]
7. Schütz, L., Gattinger, A., Meier, M., Muller, A., Boller, T., & Mäder, P. (2018). Improving crop yield and nutrient use efficiency via biofertilization – a global meta-analysis. *Frontiers in Plant Science*, 8, Article 2204. doi: 10.3389/fpls.2017.02204
8. Poliovyi, V. M. (2007). *Optimization of fertilization systems in modern agriculture*. Rivne: Volyn amulets. [In Ukrainian]
9. Saiko, V. F. (2008). The scientific basis of agriculture in the context of climate change. *Bulletin of Agrarian Science*, 11, 5–10. [In Ukrainian]
10. Bagherzadeh, A., Kalat, S. M. N., & Hajian, J. (2014). Effects of Residual Wheat Straw and Nitrogen Fertilizer on Yield and Quality of Sugar Beet in a Semi-Arid Region. *Sugar Tech*, 16(2), 189–194. doi: 10.1007/s12355-013-0253-6
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

UDC 631.452:631.81.86

Ivanina, V. V.*, & **Gurska, V. M.** (2023). Formation of the nutritional regime of leached chernozem in the sugar beet agrocenosis depending on fertilization. *Scientific Papers of the Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet*, 31, 69–75. [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 study the influence of traditional and alternative organic and organic-mineral fertilization systems on the formation of the nutrient regime of the soil in sugar beet crops. **Methods.** Long-term field and analytical. **Results.** The research data on the effect of fertilizers on the formation of nitrogen, phosphorus and potassium regimes of leached chernozem in the agrocenosis of sugar beets are presented. It was established that the combined application of organic and mineral fertilizers provided the best indicators of the nutrient regime of the soil at the beginning of the sugar beet vegetation. The use of winter wheat straw and white mustard green mass in combination with mineral fertilizers was slightly inferior in effectiveness to the traditional manure-based fertilization system. **Conclusions.** The most favorable conditions of the nitrogen regime of the leached chernozem were formed with the application of 40 t/ha of manure + N₉₀P₆₀K₉₀: at the time of sowing, mineral nitrogen reserves in the 0–100 cm soil layer amounted to 288 kg/ha. The use of green mass of white mustard + N₉₀P₆₀K₉₀ resulted in mineral nitrogen reserves in the soil of 259 kg/ha, straw + green manure + N₉₀P₆₀K₉₀ – 256, exceeding the control without fertilizers – by 61 and 58 kg/ha. In the composition of soil mineral nitrogen, the nitrate form prevailed over the ammonium form by 1.6 times. Organic-mineral fertilization systems formed the highest content of mobile phosphorus and potassium in the soil in spring. When applying 40 t/ha of manure + N₉₀P₆₀K₉₀, the content of mobile phosphorus in the 0-30 cm layer at the time of sowing was 145 mg/kg, green manure + N₉₀P₆₀K₉₀ – 140, straw + green manure + N₉₀P₆₀K₉₀ – 142; the content of mobile potassium was 104, 93 and 97 mg/kg of soil. The specified fertilization systems increased the content of mobile phosphorus in the soil compared to the control without fertilizers by 34–45 mg/kg, mobile potassium – by 17–28 mg/kg of soil. During the growing season, the content of mobile phosphorus in the soil remained stable, the content of mobile potassium decreased by 11–28 %.

Keywords: nutrients; fertilizers; sugar beet; leached chernozem.

Надійшла / Received 10.11.2023

Погоджено до друку / Accepted 28.11.2023

Насіннева продуктивність проса прутіподібного залежно від сортових особливостей

В. В. Дрига¹, В. А. Доронін^{1*}, Ю. А. Кравченко¹, В. В. Доронін¹, А. І. Бойко²

¹Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН України, вул. Клінічна, 25, м. Київ, 03110, Україна, *e-mail: doronin1955@ukr.net

²Український інститут експертизи сортів рослин, вул. Генерала Родимцева, 15, м. Київ, 03041, Україна

Мета. Установити особливості формування врожаю та якості насіння проса прутіподібного залежно від сортових особливостей. **Методи.** Лабораторний, польовий, вимірально-ваговий, математично-статистичний. **Результати.** Установлено, що продуктивність досліджуваних сортів проса прутіподібного залежала від групи стиглості. Достовірно вищу врожайність насіння забезпечили середньопізній сортівразок 'Кейв-ін-рок' – 0,137 т/га, ранньостиглий 'Форестбур' – 0,128 т/га та середньоранній 'Небраска' – 0,124 т/га, урожайність інших сортівразків була значно нижчою. Найнижчу врожайність насіння забезпечили дуже ранній сортівразок 'Дакота' та пізній 'Картадж' і дуже пізній 'Канлоу'. З'ясовано, що найвищі показники якості насіння – енергії проростання і схожості мало насіння сортівразків дуже раннього 'Дакота', відповідно – 50 та 52 %, та середньораннього 'Самбурст' – 50 і 53 %. Енергія проростання і схожість насіння ранньостиглого сортівразку 'Форестбур', середньораннього 'Небраска' та середньопізнього 'Кейв-ін-рок' була на рівні відповідно 30–34 та 32–35 %, залежно від сортових особливостей не виявлено істотної різниці. Значно нижча якість насіння отримано в середньопізніх сортівразків, а найнижча – у дуже пізнього. Аналізуючи якість насіння за роками досліджень з'ясовано, що його схожість залежала від суми ефективних температур у період вегетації. Достовірно найвища схожість всіх сортів – 47 % була у 2018-му вегетаційному році, що зумовлено сумою ефективних температур понад 3539 °С. Вегетаційні періоди 2019 та 2020 рр. були менш сприятливими, ніж 2018 р., але значно сприятливішими, ніж 2021-й. **Висновки.** Продуктивність проса прутіподібного – урожайність насіння, його енергія проростання та схожість залежали від груп стиглості сортів та погодних умов вирощування – суми ефективних температур. З'ясовано, що чим більша сума ефективних температур, тим вища схожість насіння. Найвищу схожість всіх сортів, яка становила 47 %, отримано за суми ефективних температур понад 3539 °С. Між схожістю насіння і сумою ефективних температур виявлено сильну кореляцію ($r = 0,96$).

Ключові слова: сортівразок; група стиглості; урожайність насіння; енергія проростання; схожість.

Вступ

Вагомою альтернативою традиційним викопним енергоресурсам – газу, нафті та вугіллю є створення відновлюваних джерел енергії. Серед останніх, енергія з біомаси відіграє найважливішу роль у шляхах зберігання енергії [1], передусім це стосується палива з біомаси [2, 3]. Для нашої держави біопаливо сьогодні є суттєвою альтернативою традиційним енергоресурсам [4]. Враховуючи, що ґрунтово-кліматичні умови в Україні сприятливі для вирощування біоенергетичних культур і вона має для них достатньо великий потенціал земельних ресурсів, є можливість створення ринку енергетичних культур та використання їх сировини для виготовлення біопалива [5].

Біоенергетичні культури – це переважно рослини типів C₃ та C₄ [6]. До яких належать швидкорослі дерева – тополі, різні види верби, багаторічні та однорічні трав'янисті рослини, як-от сорго, міскантус, цукровий очерет, амарант, свічграс (просо лозове), гірчак

гострокінцевий, гібридний тютюн, горець сахалінський, румекс, мальва пенсильванська [7]. Для виробництва біопалива із фітомаси практичний інтерес становляють буряки цукрові, сорго цукрове, просо прутоподібне (свічграс), міскантус [8] та деревні рослини – верба та тополя [9]. Перевагами біоенергетичних культур є можливість їх вирощування на низькопродуктивних землях, непридатних для традиційних сільськогосподарських культур, вони відновлюють непродуктивні землі, зупиняють ерозію ґрунтів, використання їх для виробництва біопалива сприяє зменшенню використання викопних видів палива – газу і вугілля [10, 11].

Серед різноманіття багаторічних рослин для виробництва біопалива в Україні перспективною рослиною є просо прутоподібне, або свічграс (*Panicum virgatum* L.). Сьогодні проводяться дослідження з ефективності його використання для виготовлення біопалива [12–14], вивчення елементів технології, що забезпечують високу врожайність біомаси [15–17], біологічні особливості будови рослин [18], а також розробляння методів визначення якості насіння [19] і підвищення його схожості за післязбиральної підготовки [20, 21].

Широке впровадження культури у виробництво неможливе без наявності якісного насіння, оскільки просо прутоподібне (свічграс) розмножується насінням і кореневищем [22, 23], а також прискореним способом клонального мікророзмноження [24]. Насіння характеризується великим станом спокою, причиною якого може бути понижена активність зародка або різні властивості його оболонки покриву [25, 26]. У науковій літературі мало інформації щодо особливостей формування врожаю та якості насіння як за його вирощування, так і за передпосівної підготовки, що й було завданням наших досліджень.

Мета досліджень – установити особливості формування врожаю та якості насіння проса прутоподібного залежно від сортових особливостей.

Матеріали та методика досліджень

Програмою досліджень було передбачено вивчення закономірностей формування врожайності та якості насіння проса прутоподібного сортозразків залежно від різних груп їх стиглості. Лабораторні досліді проводили в Інституті біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН, польові – в умовах нестійкого зволоження Західного Лісостепу України Ялтушківської дослідно-селекційної станції впродовж 2018–2023 рр. Дослідження проводили із сортозразками проса прутоподібного різних груп стиглості – дуже раннього ('Дакота'), раннього ('Форестбур'), середньораннього ('Небраска', 'Самбурст'), середньопізнього ('Кейв-ін-рок', 'Аламо'), пізнього ('Картадж') і дуже пізнього ('Канлоу').

Урожайність насіння визначали зважуванням на пробних закріплених ділянках, якість насіння – енергію проростання та схожість – за методикою Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН [27].

Достовірність експериментальних результатів обраховували дисперсійним і кореляційним методами за Фішером [28] з використанням комп'ютерної програми Statistica 6.0 та використанням методичних рекомендацій [29].

Ґрунти дослідних ділянок – малопродуктивні, сірі опідзолені слабкозмиті з низьким вмістом гумусу (1,56 %). Вміст рухомих форм фосфору (за Чириковим) становить 170 мг/кг, обмінного калію – 132 мг/кг, азоту, що легко гідролізується (за Корнфілдом) – 59 мг/кг ґрунту. Щільність ґрунту – 1,25 г/см³. Гідролітична кислотність – 2,7 мг-екв на 100 г ґрунту, рН – 5,1. У метровому шарі ґрунту вміст продуктивної вологи становить 110 мм.

У роки проведення досліджень погодні умови були наближеними до оптимальних за співвідношенням кількості опадів та активних температур повітря за вегетаційний період і були сприятливими для формування врожаю і якості насіння.

Результати досліджень

Установлено, що продуктивність проса прутоподібного – урожайність насіння, його енергія проростання та схожість – залежали від груп стиглості сортів (табл. 1). Достовірно вищу врожайність насіння забезпечили середньопізній сортозразок 'Кейв-ін-рок' – 0,137 т/га,

ранньостиглий 'Форестбур' – 0,128 т/га та середньоранній 'Небраска' – 0,124 т/га, урожайність інших сортозразків була значно нижчою. Найнижчу урожайність насіння забезпечили дуже ранній сортозразок 'Дакота' та пізній 'Картадж' і дуже пізній 'Канлоу'.

Аналізуючи якість насіння з'ясовано, що найвищі показники – енергії проростання і схожості мало насіння сортозразків дуже раннього 'Дакота', відповідно – 50 та 52 % та середньораннього 'Самбурст' – 50 і 53 %. Енергія проростання і схожість насіння ранньостиглого сортозразку 'Форестбур', середньораннього 'Небраска' та середньопізнього 'Кейв-ін-рок' була на рівні, відповідно – 30–34 та 32–35 %, залежно від сортових особливостей не виявлено істотної різниці. Значно нижча якість насіння отримано в середньопізніх сортозразків, а найнижча – у дуже пізнього.

Таблиця 1

Насіннева продуктивність сортозразків проса прутоподібного залежно від сортових особливостей (середнє за 2020–2023 рр.)

Варіант		Урожайність насіння, т/га	Енергія проростання, %	Схожість, %
сортозразок	група стиглості			
'Дакота'	дуже ранній	0,085	50	52
'Форестбур'	ранньостиглий	0,128	30	32
'Небраска'	середньоранній	0,124	34	34
'Самбурст'	середньоранній	0,119	50	53
'Кейв-ін-рок'	середньопізній	0,137	33	35
'Аламо'	середньопізній	0,112	26	31
'Картадж'	пізній	0,097	19	23
'Канлоу'	дуже пізній	0,090	6	6
НІР _{0,05} заг.		0,007	8,0	7,9
НІР _{0,05} сорт, група стиглості		0,005	4,3	4,1

Дослідженнями L. E. Moser та K. P. Vogel [30] виявлено, що основними факторами, які визначають територію адаптації сорту до навколишнього середовища, є довжина світлового дня, вологість повітря та ґрунту – кількість опадів. В умовах Західного Лісостепу сортозразки середньопізньої, пізньої та дуже пізньої груп стиглості не дозрівають, що призводить до значного зниження якості насіння – схожості. Тому для отримання якісного насіння сортозразків цих груп стиглості насінництво їх доцільно концентрувати в інших агрокліматичних зонах, де будуть створені сприятливі умови для проходження всіх фенологічних фаз росту й розвитку рослин.

Найбільшим вплив на врожайність насіння був фактору «сорт» – 63,0 %, взаємодія факторів «рік урожаю × сорт» – 21,1 %, а умов вирощування – меншим і становив 15,1 % (рис. 1).



Рис. 1. Вплив факторів на врожайність насіння (середнє за 2020–2023 рр.)

РОСЛИННИЦТВО

Аналізуючи якість насіння за роками досліджень з'ясовано, що його схожість залежала від суми ефективних температур у період вегетації (рис. 2).

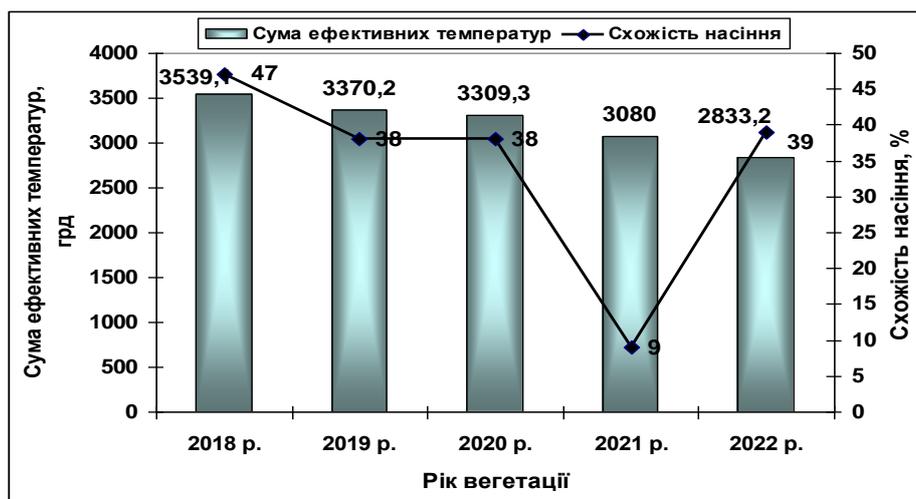


Рис. 2. Схожість насіння залежно від суми ефективних температур за вегетаційний період (2018–2023 рр.)

Достовірно найвищу схожість усіх сортів були у 2018-му вегетаційному році, яка становила 47 %, за найбільшої суми ефективних температур понад 3500 °С.

Веgetаційні періоди 2019 та 2020 років були менш сприятливими, ніж 2018-й, але значно сприятливішими, ніж 2021 р. Сума ефективних температур в ці роки сягала понад 3300 °С, що сприяло формуванню якісного насіння проса прутіподібного всіх сортів, схожість яких у середньому становила 38 %. Найнижчу схожість насіння всіх сортів отримано у 2021 р., що зумовлено як сумою ефективних температур упродовж вегетації, так і погодними умовами в період формування насіння – температурним режимом та вологістю ґрунту.

Ефективність взаємодії цих показників визначається гідротермічним коефіцієнтом (ГТК) і коли він дорівнює одиниці або наближеним до одиниці, то період вважається сприятливим для росту й розвитку рослин. В усі роки досліджень за вегетаційний період ГТК був наближеним до одиниці (табл. 2).

Таблиця 2

Гідротермічний коефіцієнт за роки проведення досліджень

Місяць	Роки проведення досліджень					
	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Травень	0,3	4,5	2,1	1,2	0,6	0,3
Червень	1,6	1,0	1,4	0,7	0,4	1,6
Липень	1,3	0,6	0,3	0,9	0,5	1,1
Серпень	0,6	0,4	0,3	1,5	0,6	0,4
Вересень	0,8	0,6	1,0	0,7	2,6	0,4
Жовтень	1,2	0,3	3,8	0,0	0,6	2,3
За вегетацію	0,9	1,4	1,2	1,0	0,8	0,9

У 2021 р. ГТК за вегетацію становив одиницю, але якість насіння була найменша за всі роки досліджень. Аналіз погодних умов за фазами росту і розвитку рослин показав, що в міжфазний період формування насіння ГТК був 1,5, тобто цей період був занадто зволеним, що вплинуло на істотне зменшення схожості насіння, яка становила 9 %, щодо насіння сортів пізньостиглих і дуже пізніх, то воно зовсім не проросло. В інші роки досліджень міжфазний період формування насіння проходив в засушливих умовах, що забезпечило формування якісного насіння. Адже, за даними Caddel J. L. та ін. [31], якщо

міжфазний період формування та дозрівання насіння (серпень і вересень) проса прутіподібного проходить у суху погоду, то формується якісне насіння.

На основі експериментальних даних з'ясовано, що між схожістю насіння і сумою ефективних температур існують сильна кореляція, яка зображено у вигляді графіків на рисунку 2. Розташування точок на діаграмах показує, що схожість насіння підвищується зі збільшенням суми ефективних температур.

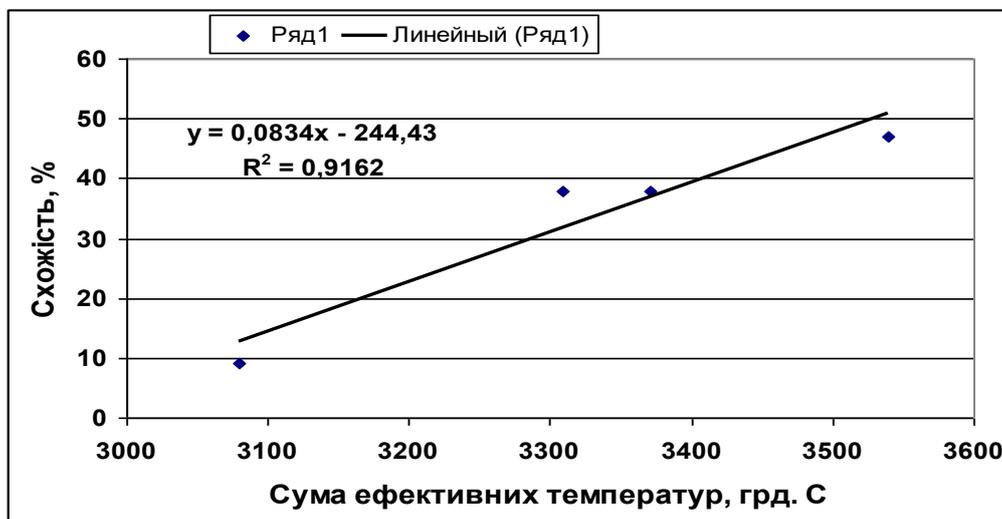


Рис. 2. Залежність схожості насіння проса прутіподібного від суми ефективних температур

Залежність між вказаними величинами є лінійною, кореляція сильна, коефіцієнт кореляції між сумою ефективних температур та схожістю становить 0,96. Побудовані рівняння регресії, що описують цю залежність: для схожості $y = 0,0834x - 244,43$, величина достовірності апроксимації становить 0,92.

На якість насіння – енергію проростання та схожість вплив фактору «умови року» у період вегетації був найбільшим і становив 37,3–37,6 % (рис. 3). Вплив фактору «сорт», був меншим і становив на енергію проростання 33,8 %, схожість – 34,0 %.

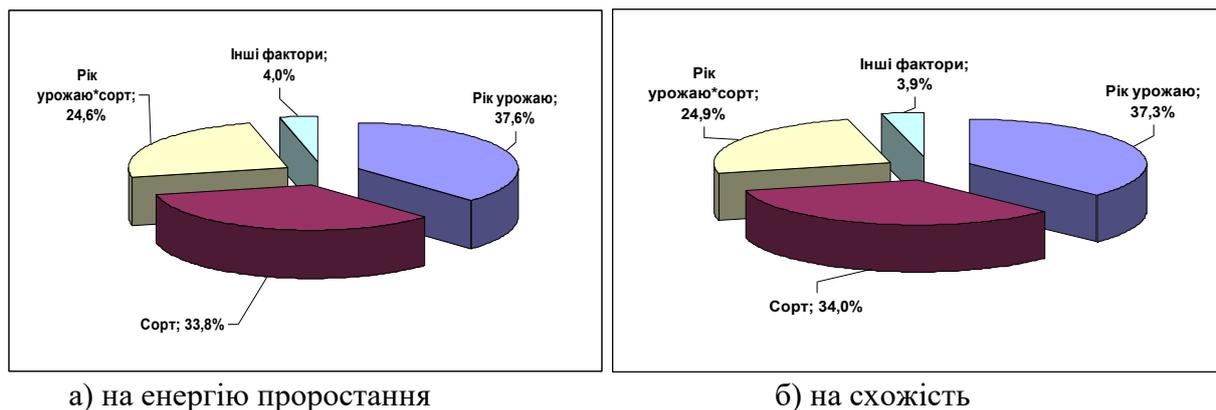


Рис. 3. Вплив факторів на якість насіння проса прутіподібного

Висновки

Продуктивність проса прутіподібного – урожайність насіння, його енергія проростання та схожість залежали від груп стиглості сортів та погодних умов вирощування – суми ефективних температур. З'ясовано, що чим більша суми ефективних температур, тим вища схожість насіння. Найвищу схожість всіх сортів, яка становила 47 %, отримано за суми ефективних температур понад 3539 °С. Між схожістю насіння і сумою ефективних температур виявлено сильну кореляція ($r = 0,96$).

Використана література

1. Wang M., Dewil R., Maniatis K. et al. Biomass-derived aviation fuels: Challenges and perspective. *Progress in Energy and Combustion Science*. 2019. Vol. 74. P. 31–49. doi: 10.1016/j.pecs.2019.04.004
2. Robinius M., Otto A., Heuser P. et al. Linking the power and transport sectors – Part 1: The principle of sector coupling. *Energies*. 2017. Vol. 10, Iss. 7. Article 956. doi: 10.3390/en10070956
3. Caspeta L., Buijs N. A. A., Nielsen J. The role of biofuels in the future energy supply. *Energy & Environmental Science*. 2013. Vol. 6, Iss. 4. P. 1077–1082. doi: 10.1039/C3EE24403B
4. Сінченко В. М., Гументик М. Я., Бондар В. С. Перспективи технології виробництва біопалива. *Біоенергетика*. 2014. № 2. С. 13.
5. Курило В. Л., Роїк М. В., Ганженко О. М. Біоенергетика в Україні: стан та перспективи розвитку. *Біоенергетика*. 2013. № 1. С. 5–10.
6. Calabrò P. S., Catalán E., Folino A. et al. Effect of three pretreatment techniques on the chemical composition and on the methane yields of *Opuntia ficus-indica* (prickly pear) biomass. *Waste Management & Research*. 2018. Vol. 36, Iss. 1. P. 17–29. doi: 10.1177/0734242X17741193
7. Яценко А. С., Балюк А. В., Єсіпов О. В. Світчграсс як енергоємка сировина для виробництва біопалива. *Матеріали міжнародної науково-практичної конференції «Молодь і технічний прогрес в АПВ»*. Харків, 2020. С. 54–55.
8. Можарівська І. А. Технологія вирощування малопоширених енергетичних культур для виробництва різних видів біопалива. *Наукові праці Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків*. 2013. Вип. 19. С. 85–89.
9. Фучило Я. Д., Сбитна М. В., Фучило О. Я., Літвін В. М. Досвід та перспективи вирощування тополі (*Populus sp.l.*) в південному степу України. *Наукові праці Лісової академії наук України*. 2009. Вип. 7. С. 66–69.
10. Vogel K. P., Brejda J. J., Walters D. T., Buxton D. R. Switchgrass biomass production in the Midwest USA: Harvest and nitrogen management. *Agronomy Journal*. 2002. Vol. 94, Iss. 3. P. 413–420. doi: 10.2134/agronj2002.0413
11. Роїк М. В., Ягольник О. Г. Агропромислові енергетичні плантації – майбутнє України. *Біоенергетика*. 2015. № 2. С. 4–7.
12. Роїк М. В., Курило В. Л., Гументик М. Я. та ін. Роль і місце фітоенергетики у паливно-енергетичному комплексі України. *Цукрові буряки*. 2011. № 1. С. 6–7.
13. Мандровська С. М. Світчграсс (*Panicum virgatum* L.) – перспективний інтродуцент для виробництва біопалива в Лісостепу України. *Наукові праці Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків*. 2013. Вип. 19. С. 82–84.
14. Кулик М. І. Вплив умов вирощування на врожайність фітомаси світчграсу (*Panicum virgatum* L.) другого року вегетації. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2013. № 2. С. 30–35.
15. Мандровська С. М., Балан В. М. Продуктивність проса прутоподібного (*Panicum virgatum* L.) залежно від норми висіву та сортових особливостей. *Наукові праці Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків*. 2015. Вип. 23. С. 44–49.
16. Кулик М. І., Сиплова Н. О. Рівень врожайності проса прутоподібного залежно від сорту та строку збирання. *Таврійський науковий вісник*. 2019. Вип. 107. С. 93–100. doi: 10.32851/2226-0099.2019.107.12
17. Гументик М. Я. Агротехнічні прийоми вирощування проса прутоподібного «*Panicum virgatum* L.». *Біоенергетика*. 2014. № 1. С. 29–32.
18. Щербакова Т. О., Рахметов Д. Б. Особливості будови пагонів проса прутоподібного (*Panicum virgatum* L.) в умовах інтродукції в Правобережному Лісостепу та Поліссі України. *Plant Varieties Studying and Protection*. 2017. Т. 13, № 1. С. 85–88. doi: 10.21498/2518-1017.13.1.2017.97334
19. Доронін В. А., Кравченко Ю. А., Дрига В. В. та ін. Визначення якості насіння проса прутоподібного (*Panicum virgatum* L.). *Наукові праці Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків*. 2021. Вип. 29. С. 113–118. doi: 10.47414/np.29.2021.244433

20. Дрига В. В. Якість насіння проса прутоподібного (*Panicum virgatum* L.) залежно від режиму його скарифікації. *Агробіологія*. 2020. Вип. 1. С. 35–41. doi: 10.33245/2310-9270-2020-157-1-35-41
21. Дрига В. В., Доронін В. А., Кравченко Ю. А., Доронін В. В. Підготовка насіння проса прутоподібного (*Panicum virgatum* L.) для сівби. *Передгірне та гірське землеробство та тваринництво*. 2022. Вип. 71(2). С. 112–125. doi: 10.32636/01308521.2022-(71)-2-8
22. Elbersen H. W., Christian D. G., El Bassen N. et al. Switchgrass variety choice in Europe. *Aspects of Applied Biology*. 2001. Vol. 65. P. 21–28.
23. Beaty E. R., Engel J. L., Powell J. D. Tiller development and growth in switchgrass. *Journal of Range Management*. 1978. Vol. 31, Iss. 5. P. 361–365. doi: 10.2307/3897360
24. Патент 85560 Україна, МКИ А01Н 4/00. Спосіб прискороного відтворення свічграсу / Войтовська В. І., Мандровська С. М. (Україна). u201306037, Заяв. 16.05.2013; Опубл. 25.11.2013; Бюл. 22.
25. Adkins S. W., Bellairs S. M., Loch D. S. Seed dormancy mechanisms in warm season grass species. *Euphytica*. 2002. Vol. 126, Iss. 1. P. 13–20. doi: 10.1023/A:1019623706427
26. Li M., Han J., Wang Y. et al. Different seed dormancy levels imposed by tissues covering the Caryopsis in zoysiagrass (*Zoysia japonica* Steud.). *Seed Science and Technology*. 2010. Vol. 38, Iss. 2. P. 320–331. doi: 10.15258/sst.2010.38.2.05
27. Доронін В. А., Кравченко Ю. А., Бусол М. В. та ін. Визначення схожості насіння проса прутоподібного (свічграсу) *Panicum virgatum* L. (методичні рекомендації). Київ, 2015. 10 с.
28. Fisher R. A. Statistical methods for research workers. New Delhi : Cosmo Publications, 2006. 354 p.
29. Ермантраут Е. Р., Присяжнюк О. І., Шевченко І. Л. Статистичний аналіз агрономічних дослідних даних в пакеті Statistica 6. Київ : ПоліграфКонсалтинг, 2007. 55 с.
30. Moser L. E., Vogel K. P. Switchgrass, Big Bluestem, and Indiangrass. *An introduction to grassland agriculture* / R. F. Barnes, D. A. Miller, C. J. Nelson (Eds.). 5th ed. Ames, IA : Iowa University Press, 1995. Vol. 1. P. 409–420.
31. Caddel J. L., Kakani G., Porter D. R. et al. Switchgrass Production Guide for Oklahoma. Stillwater, OK : Oklahoma Cooperative Extension Service, 2002. P. 28–30.

References

1. Wang, M., Dewil, Raf., Maniatis, K., Wheeldon, J., Tan, T., Baeyens, J., & Fang, Y. (2019). Biomass-derived aviation fuels: Challenges and perspective. *Progress in Energy and Combustion Science*, 74, 31–49. doi: 10.1016/j.pecs.2019.04.004
2. Robinius, M., Otto, A., Heuser, P., Welder, L., Syranidis, K., Ryberg, D., Grube, T., Markewitz, P., Peters, R., & Stolten, D. (2017). Linking the power and transport sectors – Part 1: The principle of sector coupling. *Energies*, 10(7), Article 956. doi: 10.3390/en10070956
3. Caspeta, L., Buijs, N. A. A., & Nielsen, J. (2013). The role of biofuels in the future energy supply. *Energy & Environmental Science*, 6(4), 1077–1082. doi: 10.1039/C3EE24403B
4. Sinchenko, V. M., Humentyk, M. Ya., & Bondar, V. S. (2014). Prospects of biofuel production technology. *Bioenergy*, 2, 13. [In Ukrainian]
5. Kurylo, V. L., Roik, M. V., & Hanzhenko, O. M. (2013). Bioenergy in Ukraine: state and prospects for development. *Bioenergy*, 1, 5–10. [In Ukrainian]
6. Calabrò, P., Catalán, E., Folino, A., Sánchez, A., & Komilis, D. (2017). Effect of three pretreatment techniques on the chemical composition and on the methane yields of *Opuntia ficus-indica* (prickly pear) biomass. *Waste Management & Research*, 36(1), 17–29. doi: 10.1177/0734242X17741193
7. Yatsenko, A. S., Baliuk, A. V., & Yesipov, O. V. (2020). Switchgrass as an energy-intensive raw material for biofuel production. In *Materials of the international scientific and practical conference “Youth and technical progress in APV”* (pp. 54–55). Kharkiv. [In Ukrainian]
8. Mozharivska, I. A. (2013). Technology of cultivation of rare energy crops for the production of various types of biofuel. *Scientific Papers of the Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet*, 19, 85–89. [In Ukrainian]

9. Fuchylo, Ya. D., Sbytna, M. V., Fuchylo, O. Ya., & Litvin, V. M. (2009). Experience and prospects of growing poplar (*Populus* sp.l.) in the southern steppe of Ukraine. *Scientific works of the Forest Academy of Sciences of Ukraine*, 7, 66–69. [In Ukrainian]
10. Vogel, K. P., Brejda, J. J., Walters, D. T., & Buxton, D. R. (2002). Switchgrass biomass production in the Midwest USA: Harvest and nitrogen management. *Agronomy Journal*, 94(3), 413–420. doi: 10.2134/agronj2002.0413
11. Roik, M. V., & Yagolnyk, O. H. (2015). Agro-industrial energy plantations – the future of Ukraine. *Bioenergy*, 2, 4–7. [In Ukrainian]
12. Roik, M. V., Kurylo, V. L., & Humentyk, M. Ya. (2011). The role and place of phytoenergy in the fuel and energy complex of Ukraine. *Sugar Beet*, 1, 6–7. [In Ukrainian]
13. Mandrovska, S. M. (2013). Switchgrass (*Panicum virgatum* L.) is a promising introducer for biofuel production in the Forest Steppe of Ukraine. *Scientific Papers of the Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet*, 19, 82–84. [In Ukrainian]
14. Kulyk, M. I. (2013). The influence of growing conditions on the yield of phytomass of switchgrass (*Panicum virgatum* L.) in the second year of vegetation. *Bulletin of the Poltava State Agrarian Academy*, 2, 30–35. [In Ukrainian]
15. Mandrovska, S. M., & Balan, V. M. (2015). Productivity of millet (*Panicum virgatum* L.) depending on the rate of sowing and varietal characteristics. *Scientific Papers of the Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet*, 23, 44–49. [In Ukrainian]
16. Kulyk, M. I., & Siplova, N. O. (2019). The yield level of rod-shaped millet depending on the variety and harvesting period. *Taurian Scientific Bulletin*, 107, 93–100. doi: 10.32851/2226-0099.2019.107.12
17. Humentyk, M. Ya. (2014). Agrotechnical methods of growing millet “*Panicum virgatum* L.”. *Bioenergy*, 1, 29–32. [In Ukrainian]
18. Shcherbakova, T. O., & Rakhmetov, D. B. (2017). Structural peculiarities of shoots of switch grass (*Panicum virgatum* L.) in the context of introduction in the Right-Bank Forest-Steppe and Polissia zones of Ukraine. *Plant Varieties Studying and Protection*, 13(1), 85–88. doi: 10.21498/2518-1017.13.1.2017.97334 [In Ukrainian]
19. Doronin, V. A., Kravchenko, Yu. A., Dryha, V. V., Doronin, V. V., & Honcharuk, H. S. (2021). Determination of switchgrass (*Panicum virgatum* L.) seeds quality. *Scientific Papers of the Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet*, 29, 113–118. doi: 10.47414/np.29.2021.244433 [In Ukrainian]
20. Dryha, V. (2020). Seeds quality of the domestic millet (*Panicum virgatum* L.) depending on the scarification mode. *Agrobiologia*, 1, 35–41 doi: 10.33245/2310-9270-2020-157-1-35-41 [In Ukrainian]
21. Dryha, V. V., Doronin, V. A., Kravchenko, Yu. A., & Doronin, V. V. (2022). Preparation of panicle millet (*Panicum virgatum* L.) seeds for sowing. *Foothill and Mountain Agriculture and Stockbreeding*, 71(2), 112–125. doi: 10.32636/01308521.2022-(71)-2-8 [In Ukrainian]
22. Elbersen, H. W., Christian, D. G., El Bassen, N., Bacher, W., Sauerbeck, G., Aleopoulou, E., ... Van Den Berg, D. (2001). Switchgrass variety choice in Europe. *Aspects of Applied Biology*, 65, 21–28.
23. Beaty, E. R., Engel, J. L., & Powell, J. D. (1978). Tiller development and growth in switchgrass. *Journal of Range Management*, 31(5), 361–365. doi: 10.2307/3897360
24. Patent 85560 Ukraine, MKY A01N 4/00. The method of accelerated reproduction of switchgrass / V. I. Voitovska, S. M. Mandrovska (Ukraine). u201306037, App. 16.05.2013; Publ. 25.11.2013; Bul. 22.
25. Adkins, S. W., Bellairs, S. M., & Loch, D. S. (2002). Seed dormancy mechanisms in warm season grass species. *Euphytica*, 126(1), 13–20. doi: 10.1023/A:1019623706427
26. Li, M., Han, J., Wang, Y., Sun, J., & Haferkamp, M. (2010). Different seed dormancy levels imposed by tissues covering the Cypypopsis in zoysiagrass (*Zoysia japonica* Steud). *Seed Science and Technology*, 38(2), 320–331. doi: 10.15258/sst.2010.38.2.05

27. Doronin, V. A., Kravchenko, Yu. A., Busol, M. V., Doronin, V. V., Mandrovska, S. M., & Honcharuk, H. S. (2015). *Determining the germination of Panicum virgatum L. millet seeds (Methodological recommendations)*. Kyiv. [In Ukrainian]
28. Fisher, R. A. (2006). *Statistical methods for research workers*. New Delhi: Cosmo Publications.
29. Ermantraut, E. R., Prysiazhniuk, O. I., & Shevchenko, I. L. (2007). *Statistical analysis of agronomic research data in package Statistica 6.0*. Kyiv: PolihrafKonsaltnh. [In Ukrainian]
30. Moser, L. E., & Vogel, K. P. (1995). Switchgrass, Big Bluestem, and Indiangrass. In R. F. Barnes, D. A. Miller, C. J. Nelson (Eds.), *An introduction to grassland agriculture* (5th ed., Vol. 1, pp. 409–420). Ames, IA: Iowa University Press.
31. Caddel, J. L., Kakani, G., Porter, D. R., Redfearn, D. D., Walker, N. R., Warren, J., Wu, Y., & Zhang, H. (2002). *Switchgrass Production Guide for Oklahoma* (pp. 28–30). Stillwater, OK: Oklahoma Cooperative Extension Service.

UDC 633.179: 631. 53.01:631.559

Dryha, V. V.¹, Doronin, V. A.^{1*}, Kravchenko, Yu. A.¹, Doronin, V. V.¹, & Boiko, A. I.² (2023). Seed productivity of switchgrass depending on varietal characteristics. *Scientific Papers of the Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet*, 31, 76–84. [In Ukrainian]

¹*Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet, NAAS of Ukraine, 25 Klinichna St., Kyiv, 03110, Ukraine, *e-mail: doronin1955@ukr.net*

²*Ukrainian Institute for Plant Variety Examination, 15 Henerala Rodymtseva St., Kyiv, 03041, Ukraine*

Purpose. To establish the features of yield formation and seed quality of switchgrass depending on varietal characteristics. **Methods.** Laboratory, field, measuring and weighing, mathematical and statistical. **Results.** It was established that the productivity of switchgrass varieties depends on the ripeness group. A significantly higher seed yield was provided by the mid-late cultivar ‘Cave-in-Rock’, 0.137 t/ha, early-ripening ‘Forestbur’, 0.128 t/ha, and mid-early ‘Nebraska’, 0.124 t/ha, while the yield of other cultivars was significantly lower. The lowest seed yield was provided by the very early variety ‘Dakota’ and late ‘Carthage’ and very late ‘Kanlow’. The highest indicators of seed quality – germination energy and germination – were found in very early ‘Dakota’ variety, 50 and 52%, respectively, and in mid-early ‘Samburst’, 50 and 53%, respectively. Germination energy and seed germination of the early-ripening variety ‘Forestbur’, mid-early ‘Nebraska’, and mid-late ‘Cave-in-Rock’ were 30–34 and 32–35%, respectively, depending on the varietal characteristics, and no significant difference was found. Much lower seed quality was obtained in mid-late varieties, and the lowest – in very late varieties. Analyzing seed quality over the years of research, it was found that its germination depended on the sum of effective temperatures during the growing season. The highest germination of all varieties, 47% was in 2018, which is caused by the sum of effective temperatures over 3539 °C. The 2019 and 2020 growing seasons were less favourable than 2018, but significantly better than 2021. **Conclusions.** Productivity of switchgrass, seed yield, its germination energy and germination depended on maturity group and growing weather conditions, i.e., the sum of effective temperatures. It was found that the higher the sum of effective temperatures, the higher the seed germination. The highest germination of all varieties, 47%, was obtained for the sum of effective temperatures above 3539 °C. A strong correlation was found between seed germination and the sum of effective temperatures ($r = 0.96$).

Keywords: variety; maturity group; seed yield; germination energy; germination.

Надійшла / Received 16.11.2023

Погоджено до друку / Accepted 27.11.2023

Ріст та продуктивність гороху озимого за різних варіантів захисту від бур'янів в умовах Правобережного Лісостепу України

О. Є. Кукуруза, С. О. Ременюк*

*Інститут біоенергетичних культур і цукрових бур'яків НААН України, вул. Клінічна, 25, м. Київ, 03110, Україна, *e-mail: svetlana19862010@ukr.net*

Мета. Проаналізувати особливості росту та формування продуктивності посівів гороху озимого за різних варіантів захисту від бур'янів в умовах Правобережного Лісостепу України. **Методи.** Дослідження проводили впродовж 2020–2023 рр. в умовах ДП ДГ «Саливонківське» Інституту біоенергетичних культур і цукрових бур'яків НААН України (Білоцерківський р-н, Київська обл.). Агротехніка вирощування культури в досліді загальноприйнята для зони недостатнього зволоження Правобережного Лісостепу України за винятком досліджуваних елементів. **Результати.** Найліпші умови для росту й розвитку рослин гороху та формування ними площі листя відзначено за осіннього внесення гербіциду Корум у фазі ВВСН 12. Це сприяло тому, що на час цвітіння в рослин культури утворювалась площа листя понад 36 тис. м²/га, а у весняний – понад 35 тис. м²/га. Застосування цього ж препарату у фазі ВВСН 14 забезпечувало формування площі листя понад 35 тис. м²/га, що відповідає показникам варіанту зі внесенням гербіциду Пульсар 40 у фазі ВВСН 12. Тобто посіви гороху озимого, на час цвітіння, здатні ефективно обмежувати появу нових сходів бур'янів та ріст і розвиток уже наявних їх рослин, чому сприяло своєчасне застосування системи гербіцидного захисту. Застосування гербіциду Корум виявилось найліпшим варіантом з погляду формування високого рівня фотосинтетичного потенціалу (ФП) посівів гороху. За внесення препарату восени у фазі розвитку рослин ВВСН 12 з нормою витрати 1,50 л/га ФП становив 1,57 тис. м²/га × діб. При цьому варіант застосування цього препарату в нормі 1,25 л/га незначно відрізнявся від найкращого в досліді. Весняне внесення гербіциду Корум у фазі ВВСН 12 з нормами витрати 1,25 і 1,50 л/га сприяло отриманню ФП на рівні 1,51–1,52 тис. м²/га × діб, що також забезпечувало найвищі показники у весняному блоці досліді. Оскільки завдяки застосуванню гербіциду Корум рослини гороху озимого формували велику площу листя, то показники чистої продуктивності фотосинтезу посівів кращих варіантів були на рівні 2,89 г/м² за добу за осіннього внесення та 2,64 г/м² за добу за весняного. Найвищу ж у досліді ЧПФ гороху забезпечувало застосування препарату Пульсар Флекс, що, ймовірно, досягнуто завдяки дещо меншій площі листя, сформованої посівами, та м'якій дії препарату на рослини, що зменшувало ризик виникнення дис-стресів та сприяло їх активнішому росту й розвитку. **Висновки.** Найефективнішим за рівнем приросту врожайності гороху було осіннє застосування для захисту посівів гербіциду Корум. В усі роки досліджень, а також у середньому по досліді внесення 1,50 л/га цього гербіциду у фазі ВВСН 12 забезпечувало отримання найвищої врожайності: 3,08; 1,98 та 3,68 т/га у 2021, 2022 та 2023 рр. відповідно та 2,91 т/га в середньому за три роки. На другому місці за ефективністю формування врожайності було застосування цієї ж норми гербіциду у фазі ВВСН 14, тоді як більш пізні строки внесення не сприяли високому рівню реалізації біологічного потенціалу посівів. Ефективним також було весняне застосування Корум за обох норм витрати у фазі ВВСН 12 розвитку бур'янів: урожайність насіння гороху становила 2,52 та 2,62 т/га відповідно.

Ключові слова: горох озимий; фотосинтетичний потенціал; площа листя; чиста продуктивність фотосинтезу; урожайність.

Вступ

Негативний вплив бур'янів на горох виявляється передусім в обмеженні його росту й розвитку через конкуренцію за ресурси живлення, що призводить до значного зниження врожаю. Тому важливо правильно визначити не лише рівень забур'яненості, але й гербокритичний період, коли присутність небажаної рослинності може стати особливо шкідливою. Для гороху такий період триває 25–40 діб, від фази трьох листків до початку бутонізації. Конкурентна боротьба в цей період може значно знизити врожайність гороху – до 50–70 %, за умови, якщо бур'яни не будуть знищені на полі до рівня їх нешкідливості для культури [1].

Весною багато видів бур'янів швидко розвиваються, випереджаючи горох. Наприклад, різні види гірчаків, підмаренник чіпкий, спориш звичайний можуть прорости за низьких температур, тоді як талабан польовий, мілка широколиста можуть відновити вегетацію після зими. Ці види бур'янів створюють серйозну конкуренцію рослинам гороху за вологу й світло, коли ті намагаються відновити вегетацію [2].

Вивчення особливостей застосування гербіцидів восени та весною має важливе значення. Останнім часом безморозний період у Лісостепу України збільшився на два-три тижні, що призводить до висівання озимих культур у непідходящі строки та отримання ослаблених рослин з недостатнім запасом поживних речовин. Це ускладнює застосування гербіцидів восени, а основне їх унесення переноситься на весну. З іншого боку, висівання рослин в оптимальні строки накладає додаткові обмеження з погляду побудови якісної системи осіннього захисту посівів від бур'янів. Адже тривалий теплий безморозний період сприяє активному розвитку небажаної на полі рослинності [3].

В останні десятиліття навесні вегетація починається раніше, а тривалі періоди безморозної погоди сприяють швидкому росту бур'янів, тоді як культури ростуть дещо повільніше, а так звані «вікна» використовують більше для поповнення запасів поживних речовин. При цьому можливості до застосування гербіцидів значно звужуються, оскільки температур для ефективної їх роботи немає, а рослини бур'янів переростають досить швидко і виходять за межі чутливих фаз, у які можлива максимальна ефективність застосування препаратів [4].

Отже, бур'яни мають перевагу в конкуренції за ресурси, оскільки без гербіцидного контролю вони зростають швидко і можуть мати високий відсоток виживання навіть після обробки препаратами. Погодні умови вегетаційного періоду також можуть вплинути на ефективність гербіцидів, особливо в разі комплексного захисту рослин від різноманітних видів бур'янів. Багато гербіцидів ефективно працюють за температури від +10 до +20 °C та вологості повітря не менше ніж 60 %. Проте, через зміни погодних умов, може виникнути ситуація, коли погодні умови будуть або занадто спекотні й сухі, або надто холодні, що ускладнить застосування гербіцидів [5, 6].

Причому, серед усіх факторів контролювання небажаної рослинності, в умовах агрофітоценозу поля, формування достатньої площі листової поверхні культури розглядається як найбільш дієвий і спосіб захисту посівів від бур'янів. При цьому гербокритичний період гороху озимого припадає в основному на осінній час розвитку культури, а навесні, за настання сприятливих умов для росту й розвитку рослини здатні швидко нарощувати вегетативну масу та збільшувати площу листової поверхні до рівня, достатнього для контролювання небажаної рослинності на полі [7, 8].

Вважається, що для ефективного контролювання поверхні поля від появи нових сходів бур'янів достатньо, щоб культурні рослин формували площу листя, що удвічі й більше перевищує площу поля [9, 10].

Мета дослідження – проаналізувати особливості росту та формування продуктивності посівів гороху озимого за застосування різних варіантів захисту від бур'янів в умовах Правобережного Лісостепу України.

Матеріали та методика досліджень

Дослідження проводили впродовж 2020–2023 рр. в умовах ДП ДГ «Саливонківське» Інституту біоенергетичних культур і цукрових бур'яків НААН України. Дослідні ділянки господарства розташовані у с. Ксаверівка-2 Білоцерківського району Київської області. Схему досліду наведено в таблиці 1.

Таблиця 1

Системи захисту посівів гороху озимого від бур'янів у досліді

Варіант	Осіньне внесення	Весняне внесення
Контроль без гербіциду		
Видалення бур'янів вручну		
Фюзілад Форте (стандарт)	0,5 л/га ВВСН 12	0,5 л/га ВВСН 12
	1,0 л/га ВВСН 12	1,0 л/га ВВСН 12
	0,5 л/га ВВСН 14	0,5 л/га ВВСН 14
	1,0 л/га ВВСН 14	1,0 л/га ВВСН 14
	0,5 л/га ВВСН 16	0,5 л/га ВВСН 16
	1,0 л/га ВВСН 16	1,0 л/га ВВСН 16
Корум	1,25 л/га ВВСН 12	1,25 л/га ВВСН 12
	2,0 л/га ВВСН 12	2,0 л/га ВВСН 12
	1,25 л/га ВВСН 14	1,25 л/га ВВСН 14
	2,0 л/га ВВСН 14	2,0 л/га ВВСН 14
	1,25 л/га ВВСН 16	1,25 л/га ВВСН 16
	2,0 л/га ВВСН 16	2,0 л/га ВВСН 16
Пульсар 40	1,0 л/га ВВСН 12	1,0 л/га ВВСН 12
	1,2 л/га ВВСН 12	1,2 л/га ВВСН 12
	1,0 л/га ВВСН 14	1,0 л/га ВВСН 14
	1,2 л/га ВВСН 14	1,2 л/га ВВСН 14
	1,0 л/га ВВСН 16	1,0 л/га ВВСН 16
	1,2 л/га ВВСН 16	1,2 л/га ВВСН 16
Пульсар Флекс	1,0 л/га ВВСН 12	1,0 л/га ВВСН 12
	2,0 л/га ВВСН 12	2,0 л/га ВВСН 12
	1,0 л/га ВВСН 14	1,0 л/га ВВСН 14
	2,0 л/га ВВСН 14	2,0 л/га ВВСН 14
	1,0 л/га ВВСН 16	1,0 л/га ВВСН 16
	2,0 л/га ВВСН 16	2,0 л/га ВВСН 16

Площа посівної ділянки становила 25 м², облікової – 20 м². Повторність досліду – трикратна, розміщення варіантів – рендомізоване. Попередник – пшениця озима. Висівали горох озимий у другій половині вересня з нормою висіву 1,2 млн схожих насінин на 1 га із шириною міжрядь 15 см на глибину 4,0–4,5 см.

Для вивчення ефективності застосування гербіцидів на рослини гороху озимого в досліді були використані також варіанти з ручними прополюваннями, де бур'яни були відсутні протягом усього періоду вегетації, а також забур'янений контроль.

Осіньне застосування гербіцидів проводили з розрахунку фенологічних фаз росту й розвитку рослин гороху озимого, а весняне – визначаючи усереднені фази розвитку бур'янів, оскільки рослини гороху на цей час уже вегетували в більш пізні фази.

Вирощували горох озимий 'НС Мороз', перший озимий сорт білкового гороху сербської селекції, призначений для виробництва зерна. Рік реєстрації – 2016, рекомендовані зони вирощування – Степ, Лісостеп, Полісся. Сорт дуже ранній, створений методом добору гібридної популяції.

Полеві дослідження виконували за умови дотримання вимог загальноприйнятих методик польового досліду, а також методики Державного сорто випробування сільськогосподарських культур, у частині визначення оптимальних площ ділянок, обліків фенофаз росту й розвитку рослин, структури врожаю [11, 12].

Видовий склад бур'янів визначали протягом вегетаційного періоду гороху озимого згідно із загальними та спеціальними методиками [11, 12] за допомогою визначника.

Статистичний аналіз результатів роботи виконували за допомогою прикладного пакету Statistica 6.0 методом дисперсійного аналізу [13].

Результати досліджень

Розглянемо особливості формування площі листя гороху озимого на час максимального розвитку рослин – у фазі цвітіння (табл. 2).

Таблиця 2

Площа листя посівів гороху озимого у фазі цвітіння, тис. м²/га

Варіант	Норма та фаза застосування	Застосування гербіцидів	
		восени	навесні
Контроль без гербіциду		24,2	23,1
Видалення бур'янів вручну		35,8	35,0
Фюзілад Форте, (стандарт)	0,5 л/га ВВСН 12	27,5	26,8
	1,0 л/га ВВСН 12	27,7	26,9
	0,5 л/га ВВСН 14	27,1	26,0
	1,0 л/га ВВСН 14	27,4	26,3
	0,5 л/га ВВСН 16	26,5	25,8
	1,0 л/га ВВСН 16	26,1	25,9
Корум	1,25 л/га ВВСН 12	36,8	35,8
	1,50 л/га ВВСН 12	36,9	35,6
	1,25 л/га ВВСН 14	35,6	35,0
	1,50 л/га ВВСН 14	35,0	34,5
	1,25 л/га ВВСН 16	34,7	34,1
	1,50 л/га ВВСН 16	34,9	34,3
Пульсар 40	0,75 л/га ВВСН 12	35,4	34,4
	1,0 л/га ВВСН 12	35,4	34,2
	0,75 л/га ВВСН 14	34,2	33,6
	1,0 л/га ВВСН 14	33,6	33,1
	0,75 л/га ВВСН 16	33,4	32,8
	1,0 л/га ВВСН 16	33,5	33,0
Пульсар Флекс	0,75 л/га ВВСН 12	33,8	32,9
	1,0 л/га ВВСН 12	33,9	32,7
	0,75 л/га ВВСН 14	32,8	32,3
	1,0 л/га ВВСН 14	32,3	31,8
	0,75 л/га ВВСН 16	32,0	31,5
	1,0 л/га ВВСН 16	32,2	31,7
НІР _{0,05}		2,2	2,1

Загалом площа листової поверхні посівів гороху формувалась на достатньому для ефективної противаги бур'янам рівні, і за осіннього застосування гербіцидів площа листя в середньому по досліді була 32,3 тис. м²/га, а за весняного застосування препаратів – 31,5 тис. м²/га. Тобто не виявлено істотних відмінностей між досліджуваними строками застосування гербіцидів щодо зміни площі листя гороху озимого. Це означає, що пізнє внесення гербіцидів впливає більше на рослини гороху в плані дис-стресів, аніж ініціювання кардинальних змін у площі листя культурних рослин.

Оскільки різні строки застосування гербіцидів (осінній та весняний) аналогічно впливають на формування площі листя посівів гороху, то розглянемо закономірності її зміни загалом по досліджуваних гербіцидах.

Внесення гербіциду Фюзілад Форте забезпечувало формування в гороху наближених до забур'яненого контролю показників. За весняного внесення площа листя становила 26,3 тис. м²/га, а за осіннього – 27,1 тис. м²/га, що пояснюється досить обмеженою його дією на бур'яни, передусім щодо контролювання лише злакових видів.

У разі застосування гербіциду Пульсар Флекс у середньому по досліді площа листя гороху була на рівні 32,8 тис. м²/га за осіннього внесення та 32,1 тис. м²/га – за весняного. При цьому Пульсар 40 створював кращі умови для рослин гороху, тож площа їх листкової поверхні формувалась на рівні 34,2 та 33,5 тис. м²/га відповідно.

Кращі умови для росту й розвитку рослин гороху були за внесення Корум, у фазі ВВСН 12 в осінній період площа листя становила понад 36 тис. м²/га, а у весняний – понад 35 тис. м²/га. Застосування препарату у фазі ВВСН 14 забезпечувало формування площі листя понад 35 тис. м²/га, що аналогічно і за внесення Пульсар 40 у фазі ВВСН 12.

Також цікавим з погляду аналізу є показник фотосинтетичного потенціалу посівів гороху озимого за період вегетації, який дає змогу показати параметри площі листкової поверхні, задіюваної у фотосинтезі (табл. 3).

Таблиця 3

Фотосинтетичний потенціал посівів гороху озимого, тис. м²/га × діб

Варіант	Норма та фаза застосування	Застосування гербіцидів	
		восени	навесні
Контроль без гербіциду		1,03	0,98
Видалення бур'янів вручну		1,52	1,49
Фюзілад Форте, (стандарт)	0,5 л/га ВВСН 12	1,17	1,14
	1,0 л/га ВВСН 12	1,18	1,14
	0,5 л/га ВВСН 14	1,15	1,11
	1,0 л/га ВВСН 14	1,17	1,12
	0,5 л/га ВВСН 16	1,13	1,10
	1,0 л/га ВВСН 16	1,11	1,10
Корум	1,25 л/га ВВСН 12	1,56	1,52
	1,50 л/га ВВСН 12	1,57	1,51
	1,25 л/га ВВСН 14	1,51	1,49
	1,50 л/га ВВСН 14	1,49	1,47
	1,25 л/га ВВСН 16	1,47	1,45
	1,50 л/га ВВСН 16	1,48	1,46
Пульсар 40	0,75 л/га ВВСН 12	1,50	1,46
	1,0 л/га ВВСН 12	1,50	1,45
	0,75 л/га ВВСН 14	1,45	1,43
	1,0 л/га ВВСН 14	1,43	1,41
	0,75 л/га ВВСН 16	1,42	1,39
	1,0 л/га ВВСН 16	1,43	1,40
Пульсар Флекс	0,75 л/га ВВСН 12	1,44	1,40
	1,0 л/га ВВСН 12	1,44	1,39
	0,75 л/га ВВСН 14	1,39	1,37
	1,0 л/га ВВСН 14	1,37	1,35
	0,75 л/га ВВСН 16	1,36	1,34
	1,0 л/га ВВСН 16	1,37	1,35
НІР _{0,05}		0,12	0,14

Як бачимо, вирощування гороху озимого без обмеження росту в посівах бур'янів сприяє отриманню найменших показників фотосинтетичного потенціалу рослин – 0,98–1,03 тис. $\text{м}^2/\text{га} \times \text{дїб}$, а чисті від присутності бур'янів ділянки мали на 0,49–0,51 тис. $\text{м}^2/\text{га} \times \text{дїб}$ більші значення.

Якщо аналізувати закономірності формування фотосинтетичного потенціалу рослин у разі застосування гербіциду Фюзілад Форте, то найвищий показник – 1,18 тис. $\text{м}^2/\text{га} \times \text{дїб}$ було отримано за внесення препарату в осінній період нормою 1,0 л/га у фазі розвитку рослин гороху ВВСН 12.

Застосування гербіциду Корум виявилось кращим варіантом щодо формування високого рівня фотосинтетичного потенціалу посівів гороху. За внесення препарату восени, у фазі розвитку рослин ВВСН 12 з нормою витрати 1,50 л/га ФП становив 1,57 тис. $\text{м}^2/\text{га} \times \text{дїб}$. Причому варіант обробки препаратом у нормі 1,25 л/га незначно відрізнявся від кращого в досліді. Аналогічно, весняне внесення препарату у фазі ВВСН 12, з нормами витрати 1,25 і 1,50 л/га сприяло тому, що посіви гороху мали ФП на рівні 1,51 і 1,52 тис. $\text{м}^2/\text{га} \times \text{дїб}$, що відповідало найкращим показникам у весняному блоці досліді.

Найліпші варіанти застосування гербіциду були ефективнішими і щодо формування фотосинтетичного потенціалу посівів, порівняно з чистим контролем. Це, на нашу думку, пов'язано з особливостями ручного прополювання гороху, адже вузькорядні посіви неможливо прополоти якісно без втрати частини культурних рослин.

Оброблення посівів гербіцидом Пульсар 40 у фазі ВВСН 12 також було ефективним: ФП посівів гороху був на рівні 1,50 тис. $\text{м}^2/\text{га} \times \text{дїб}$. Достатньо ефективними були також і ранні строки весняного застосування препарату.

Серед усіх факторів аналізування фотосинтетичного апарату рослин найкраще ефективність його роботи визначати за тим, скільки сухої речовини здатна накопичити одиниця листової поверхні рослин за одиницю часу. Для цього проаналізуємо параметри чистої продуктивності посівів гороху в нашому експерименті (табл. 4).

Саме докладне аналізування показників чистої продуктивності фотосинтезу дає змогу зрозуміти, чи впливають досліджувані нами фактори на накопичення сухої речовини. Причому ефективність процесів формування високої площі листової поверхні не завжди має суттєвий вплив на накопичення сухої речовини цим листям. Оскільки чим більше листя на рослині, тим менш ефективно працює його найменша структурна одиниця.

І це твердження знаходить наочне підтвердження в наших дослідженнях, коли найкращий у досліді за впливом на формування показників площі листової поверхні та фотосинтетичного потенціалу посівів гербіцид Корум спрацював ефективно, але рослини накопичували сухої речовини в середньому 2,80 $\text{г}/\text{м}^2$ за добу за осіннього застосування і 2,48 $\text{г}/\text{м}^2$ за добу – за весняного. При цьому у варіантах внесення Пульсар 40 отримано 2,82 та 2,59 $\text{г}/\text{м}^2$ за добу, а в гербіциду Пульсар Флекс – 2,84 та 2,62 $\text{г}/\text{м}^2$ за добу відповідно.

Отже, завдяки тому, що в разі застосування гербіциду Корум рослини гороху озимого утворювали велику площу листя, то ЧПФ кращих варіантів була 2,89 $\text{г}/\text{м}^2$ за добу за осіннього внесення та 2,64 $\text{г}/\text{м}^2$ за добу за весняного. Найвищі ж у досліді показники чистої продуктивності фотосинтезу гороху забезпечувало застосування препарату Пульсар Флекс, найімовірніше завдяки дещо меншій площі листя, сформованій посівами, та м'якій дії препарату на рослини, що зменшувало ризик виникнення дис-стресів та сприяло активнішому їх росту й розвитку.

Особливо помітно негативний вплив гербіцидів на культурні рослини виявляється за пізніх строків їх застосування, коли є ризик пригнічення гороху озимого. За внесення ж гербіциду Пульсар Флекс у фазі ВВСН 16 з нормою витрати 1,0 л/га ЧПФ був 2,96 $\text{г}/\text{м}^2$ за добу, а у весняний період – 2,70 $\text{г}/\text{м}^2$ за добу. Це відповідало найкращим показникам у досліді.

Універсальним мирилом ефективності гербіцидів є визначення рівня урожайності культури, а тому більш широко проаналізуємо особливості формування урожайності за осіннього внесення системи захисту (табл. 5).

Чиста продуктивність фотосинтезу посівів гороху озимого, г/м² за добу

Варіант	Норма та фаза застосування	Застосування гербіцидів	
		восени	навесні
Контроль без гербіциду		2,27	2,13
Видалення бур'янів вручну		2,22	2,04
Фюзілад Форте, (стандарт)	0,5 л/га ВВСН 12	2,51	2,32
	1,0 л/га ВВСН 12	2,48	2,30
	0,5 л/га ВВСН 14	2,35	2,23
	1,0 л/га ВВСН 14	2,52	2,35
	0,5 л/га ВВСН 16	2,44	2,26
	1,0 л/га ВВСН 16	2,39	2,19
Корум	1,25 л/га ВВСН 12	2,73	2,51
	1,50 л/га ВВСН 12	2,83	2,64
	1,25 л/га ВВСН 14	2,79	2,54
	1,50 л/га ВВСН 14	2,89	2,63
	1,25 л/га ВВСН 16	2,74	2,52
	1,50 л/га ВВСН 16	2,83	2,57
Пульсар 40	0,75 л/га ВВСН 12	2,75	2,56
	1,0 л/га ВВСН 12	2,79	2,60
	0,75 л/га ВВСН 14	2,80	2,56
	1,0 л/га ВВСН 14	2,83	2,58
	0,75 л/га ВВСН 16	2,85	2,59
	1,0 л/га ВВСН 16	2,89	2,65
Пульсар Флекс	0,75 л/га ВВСН 12	2,63	2,44
	1,0 л/га ВВСН 12	2,76	2,58
	0,75 л/га ВВСН 14	2,88	2,65
	1,0 л/га ВВСН 14	2,96	2,70
	0,75 л/га ВВСН 16	2,85	2,60
	1,0 л/га ВВСН 16	2,95	2,71
НІР _{0,05}		0,44	0,40

Аналіз урожайності гороху озимого загалом за роки досліджень свідчить, що погодні умови сприяли отриманню високого рівня продуктивності посівів у 2023 році – 3,10 т/га, у 2021 р. отримано 2,55 т/га. Найнижчий врожай був в умовах 2022 року – 1,66 т/га, що пов'язано з впливом несприятливих умов вирощування, особливо в критичні для росту й розвитку рослин гороху періоди.

В умовах 2021 року за оброблення посівів гербіцидом Фюзілад Форте з нормою 0,5 л/га у фазі ВВСН 12 отримано найвищу за варіантами застосування цього препарату врожайність – 2,16 т/га. Причому, в умовах 2022 року ефективнішими виявилась норма 1,0 л/га, за оброблення рослин у фази ВВСН 12 та ВВСН 14, а в умовах 2023 року – лише у фазі ВВСН 12. Загалом за роки досліджень найефективнішими були строки внесення препарату у фазі ВВСН 12.

Застосування для захисту посівів гербіциду Корум було найдієвішим щодо формування продуктивності гороху. Визначено, що в усі роки досліджень, а також у середньому по досліді внесення 1,50 л/га гербіциду у фазі ВВСН 12 сприяло формуванню умов для отримання найвищої врожайності по досліді: 3,08 т/га у 2021-му, 1,98 – у 2022-му, 3,68 т/га – у 2023 р. та 2,91 т/га в середньому за роками. На другому місці за ефективністю формування врожайності було застосування цієї ж норми гербіциду у фазі ВВСН 14, тоді як більш пізні строки внесення не сприяли високому рівню реалізації біологічного потенціалу посівів.

**Урожайність насіння гороху озимого за осіннього внесення гербіцидів, т/га
(2021–2023 рр.)**

Варіант	Норма та фаза застосування	Урожайність насіння, т/га			
		2021	2022	2023	Середнє
Контроль без гербіциду		1,54	1,04	2,00	1,53
Видалення бур'янів вручну		2,34	1,53	2,80	2,22
Фюзілад Форте, (стандарт)	0,5 л/га ВВСН 12	2,16	1,22	2,40	1,93
	1,0 л/га ВВСН 12	1,98	1,33	2,46	1,92
	0,5 л/га ВВСН 14	1,81	1,21	2,34	1,79
	1,0 л/га ВВСН 14	2,04	1,38	2,40	1,94
	0,5 л/га ВВСН 16	1,89	1,23	2,30	1,80
	1,0 л/га ВВСН 16	1,82	1,10	2,33	1,75
Корум	1,25 л/га ВВСН 12	2,99	1,88	3,53	2,80
	1,50 л/га ВВСН 12	3,08	1,98	3,68	2,91
	1,25 л/га ВВСН 14	2,94	1,85	3,50	2,76
	1,50 л/га ВВСН 14	3,00	1,94	3,55	2,83
	1,25 л/га ВВСН 16	2,93	1,70	3,41	2,68
	1,50 л/га ВВСН 16	2,93	1,84	3,49	2,75
Пульсар 40	0,75 л/га ВВСН 12	2,85	1,85	3,45	2,72
	1,0 л/га ВВСН 12	2,88	1,88	3,50	2,75
	0,75 л/га ВВСН 14	2,70	1,91	3,42	2,68
	1,0 л/га ВВСН 14	2,67	1,85	3,46	2,66
	0,75 л/га ВВСН 16	2,68	1,99	3,30	2,66
	1,0 л/га ВВСН 16	3,01	1,72	3,42	2,72
Пульсар Флекс	0,75 л/га ВВСН 12	2,44	1,69	3,33	2,49
	1,0 л/га ВВСН 12	2,73	1,72	3,40	2,62
	0,75 л/га ВВСН 14	2,80	1,80	3,30	2,63
	1,0 л/га ВВСН 14	2,78	1,83	3,37	2,66
	0,75 л/га ВВСН 16	2,62	1,80	3,24	2,55
	1,0 л/га ВВСН 16	2,75	1,95	3,30	2,66
НІР _{0,05}		0,14	0,10	0,16	0,14

Використання гербіциду Пульсар 40 було ефективним за внесення його у фазі ВВСН 12 з нормами 0,75 та 1,0 л/га. Щорічно отримували високі показники врожайності посівів, а в середньому рівень урожайності становив 2,72 та 2,75 т/га відповідно.

У разі застосування в посівах гороху озимого гербіциду Пульсар Флекс більш ефективною була норма препарату 1,0 л/га за внесення у фази розвитку ВВСН14 та ВВСН16. А відмітності в межах років досліджень суттєво залежали від взаємодії препарату з погодними умовами, що склались на час його застосування.

Також звернемо увагу на закономірності формування врожайності гороху озимого за весняного внесення гербіцидів (табл. 6).

У середньому за роки досліджень, за весняного внесення гербіцидів у 2023 р. отримано врожайність зерна 2,79 т/га, у 2021-му – 2,30 т/га, а найнижчий урожай був в умовах 2022 р. – 1,50 т/га.

У разі застосування гербіциду Фюзілад Форте, навесні, в умовах 2021 року з нормою 0,5 л/га у фазі ВВСН 12 отримано найвищу за варіантами застосування цього препарату врожайність – 1,95 т/га. Причому, в умовах 2022 року більш ефективними виявились норми 1,0 л/га, за оброблення рослин у фази ВВСН 12 та ВВСН 14, а в умовах 2023 року – лише у фазі ВВСН 12.

**Урожайність насіння гороху озимого за весняного застосування гербіцидів, т/га
(2021–2023 рр.)**

Варіант	Норма та фаза застосування	Урожайність насіння, т/га			
		2021	2022	2023	Середнє
Контроль без гербіциду		1,39	0,94	1,80	1,38
Видалення бур'янів вручну		2,11	1,37	2,52	2,00
Фюзілад Форте, (стандарт)	0,5 л/га ВВСН 12	1,95	1,10	2,16	1,73
	1,0 л/га ВВСН 12	1,78	1,19	2,21	1,73
	0,5 л/га ВВСН 14	1,63	1,09	2,11	1,61
	1,0 л/га ВВСН 14	1,84	1,24	2,16	1,75
	0,5 л/га ВВСН 16	1,70	1,11	2,07	1,63
	1,0 л/га ВВСН 16	1,64	0,99	2,10	1,57
Корум	1,25 л/га ВВСН 12	2,68	1,69	3,17	2,52
	1,50 л/га ВВСН 12	2,77	1,78	3,31	2,62
	1,25 л/га ВВСН 14	2,64	1,66	3,15	2,48
	1,50 л/га ВВСН 14	2,70	1,75	3,19	2,55
	1,25 л/га ВВСН 16	2,64	1,53	3,07	2,41
	1,50 л/га ВВСН 16	2,64	1,66	3,15	2,48
Пульсар 40	0,75 л/га ВВСН 12	2,57	1,66	3,11	2,45
	1,0 л/га ВВСН 12	2,59	1,69	3,14	2,47
	0,75 л/га ВВСН 14	2,42	1,72	3,07	2,40
	1,0 л/га ВВСН 14	2,40	1,67	3,11	2,39
	0,75 л/га ВВСН 16	2,41	1,79	2,97	2,39
	1,0 л/га ВВСН 16	2,71	1,55	3,08	2,45
Пульсар Флекс	0,75 л/га ВВСН 12	2,19	1,52	3,00	2,24
	1,0 л/га ВВСН 12	2,45	1,55	3,06	2,35
	0,75 л/га ВВСН 14	2,52	1,62	2,97	2,37
	1,0 л/га ВВСН 14	2,50	1,65	3,04	2,40
	0,75 л/га ВВСН 16	2,36	1,62	2,91	2,30
	1,0 л/га ВВСН 16	2,47	1,75	2,97	2,40
НІР _{0,05}		0,12	0,09	0,13	0,15

За оброблення посівів для захисту від бур'янів гербіцидом Корум в усі роки досліджень, а також у середньому по досліді внесення 1,50 л/га препарату у фазі ВВСН 12 сприяло формуванню умов для отримання найвищої врожайності по досліді: 2,77 т/га у 2021-му, 1,78 т/га у 2022-му, 3,31 т/га у 2023 р та 2,62 т/га в середньому за роками. На другому місці за ефективністю формування врожайності було застосування цієї ж норми гербіциду у фазі ВВСН 14, тоді як більш пізні строки внесення, аналогічно осінньому застосуванню препарату, не сприяли високому рівню реалізації біологічного потенціалу посівів.

Також встановлено, що використання для захисту посівів гороху гербіциду Пульсар 40 навесні було ефективним за внесення його у фазі ВВСН 12 з нормами 0,75 та 1,0 л/га. Щороку ми отримували високі показники продуктивності посівів, а в середньому рівень урожайності становив 2,45 та 2,47 т/га відповідно.

Аналогічно осіннім показникам, застосування в посівах гороху озимого гербіциду Пульсар Флекс було більш ефективним за підвищеної норми його внесення – 1,0 л/га у фазі розвитку ВВСН 14 та ВВСН 16.

Висновки

Найліпші умови для росту й розвитку рослин гороху та формування ними площі листя відзначено за осіннього внесення гербіциду Корум у фазі ВВСН 12. Це сприяло тому, що на час цвітіння в рослин культури утворювалась площа листя понад 36 тис. м²/га, а у весняний – понад 35 тис. м²/га. Застосування цього ж препарату у фазі ВВСН 14 забезпечувало формування площі листя понад 35 тис. м²/га, що відповідає показникам варіанту зі внесенням гербіциду Пульсар 40 у фазі ВВСН 12. Тобто посіви гороху озимого, на час цвітіння, здатні ефективно обмежувати появу нових сходів бур'янів та ріст і розвиток уже наявних їх рослин, чому сприяло своєчасне застосування системи гербіцидного захисту.

Застосування гербіциду Корум виявилось найліпшим варіантом з погляду формування високого рівня фотосинтетичного потенціалу (ФП) посівів гороху. За внесення препарату восени у фазі розвитку рослин ВВСН 12 з нормою витрати 1,50 л/га ФП становив 1,57 тис. м²/га × діб. При цьому варіант застосування цього препарату в нормі 1,25 л/га незначно відрізнявся від найкращого в досліді. Весняне внесення гербіциду Корум у фазі ВВСН 12 з нормами витрати 1,25 і 1,50 л/га сприяло отриманню ФП на рівні 1,51–1,52 тис. м²/га × діб, що також забезпечувало найвищі показники у весняному блоці досліді.

Оскільки завдяки застосуванню гербіциду Корум рослини гороху озимого формували велику площу листя, то показники чистої продуктивності фотосинтезу посівів кращих варіантів були на рівні 2,89 г/м² за добу за осіннього внесення та 2,64 г/м² за добу за весняного. Найвищу ж у досліді ЧПФ гороху забезпечувало застосування препарату Пульсар Флекс, що, ймовірно, досягнуто завдяки дещо меншій площі листя, сформованої посівами, та м'якій дії препарату на рослини, що зменшувало ризик виникнення дис-стресів та сприяло їх активнішому росту й розвитку.

Найефективнішим за рівнем приросту врожайності гороху було осіннє застосування для захисту посівів гербіциду Корум. В усі роки досліджень, а також у середньому по досліді внесення 1,50 л/га цього гербіциду у фазі ВВСН 12 забезпечувало отримання найвищої врожайності – 3,08; 1,98 та 3,68 т/га у 2021, 2022 та 2023 рр. відповідно та 2,91 т/га в середньому за три роки. На другому місці за ефективністю формування врожайності було застосування цієї ж норми гербіциду у фазі ВВСН 14, тоді як більш пізні строки внесення не сприяли високому рівню реалізації біологічного потенціалу посівів. Ефективним також було весняне застосування Корум за обох норм витрати у фазі ВВСН 12 розвитку бур'янів: урожайність насіння гороху становила 2,52 та 2,62 т/га відповідно.

Використана література

1. Rana S., Pandita V., Chhokar R. S., Sirohi S. Effect of pre and post emergence herbicides on weeds and seed yield of garden pea. *Legume Research - An International Journal*. 2015. Vol. 38, Iss. 4. Article 484. doi: 10.5958/0976-0571.2015.00132.0
2. Das S. K. Chemical weed management in pea (*Pisum sativum* L.). *Journal of Crop and Weed*. 2016. Vol. 12. P. 110–115.
3. Іващенко О. О. Гербологія – пріоритети і перспективи. *Карантин і захист рослин*. 2018. № 3. С. 2–3.
4. Іващенко О. О., Іващенко О. О. Загальна гербологія. Київ : Фенікс, 2019. 701 с.
5. Smith B. M., Aebischer N. J., Ewald J. A. et al. The potential of arable weeds to reverse invertebrate declines and associated ecosystem services in cereal crops. *Frontiers in Sustainable Food Systems*. 2020. Vol. 3. Article 118. doi: 10.3389/fsufs.2019.00118
6. Nichols V., Verulst N., Cox R., Govaerts B. Weed dynamics and conservation agriculture principles. *Field Crops Research*. 2015. Vol. 183. P. 56–68. doi: 10.1016/j.fcr.2015.07.012
7. Shabbir A., Dhileepan K., Zalucki M. P. et al. Reducing the fitness of an invasive weed, *Parthenium hysterophorus*: complementing biological control with plant competition. *Journal of Environmental Management*. 2020. Vol. 254. Article 109790. doi: 10.1016/j.jenvman.2019.109790

8. Kumar R., Kumar V., Prasad S. K., Verma S. K. Effect of chemical on weed management practices on irrigated field pea (*Pisum sativum* L.) crop yield and yield attributes. *International Journal of Chemical Studies*. 2019. Vol. 7. P. 843–847.
9. Jursik M., Holec J. Future of weed management in sugar beet in Central Europe. *Listy Cukrovarnicke a Reparske*. 2019. Vol. 135, Iss. 5–6. P. 180–186.
10. Govardhan J. D., Dar S., Bharat K. A. Effect of different weed management practices on growth and yield of field pea (*Pisum sativum* L.). *Agricultural Science Digest*. 2007. Vol. 27. P. 311–312.
11. Єщенко В. О., Копитко П. Г., Опришко В. П., Костогриз П. В. Основи наукових досліджень в агрономії. Київ : Дія, 2005. 288 с.
12. Методики проведення досліджень у буряківництві / за ред. М. В. Роїка, Н. Г. Гізбулліна. Київ : ФОП Корзун Д. Ю., 2014. 373 с.
13. 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. Rana, S. C., Pandita, V. K., Chhokar, R. S., & Sirohi, S. (2015). Effect of pre and post emergence herbicides on weeds and seed yield of garden pea. *Legume Research - An International Journal*, 38(4), Article 484. doi: 10.5958/0976-0571.2015.00132.0
2. Das, S. K. (2016). Chemical weed management in pea (*Pisum sativum* L.). *Journal of Crop and Weed*, 12, 110–115.
3. Ivashchenko, O. O. (2018). *Herbology – priorities and prospects. Quarantine and Plant Protection*, 3, 2–3. [In Ukrainian]
4. Ivashchenko, O. O., & Ivashchenko, O. O. (2019). *General herbology*. Kyiv: Phoenix. [In Ukrainian]
5. Smith, B. M., Aebischer, N. J., Ewald, J., Moreby, S., Potter, C., & Holland, J. M. (2020). The potential of arable weeds to reverse invertebrate declines and associated ecosystem services in cereal crops. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 3, Article 118. doi: 10.3389/fsufs.2019.00118
6. Nichols, V., Verhulst, N., Cox, R., & Govaerts, B. (2015). Weed dynamics and conservation agriculture principles. *Field Crops Research*, 183, 56–68. doi: 10.1016/j.fcr.2015.07.012
7. Shabbir, A., Dhileepan, K., Zalucki, M. P., Khan, N., & Adkins, S. W. (2020). Reducing the fitness of an invasive weed, *Parthenium hysterophorus*: complementing biological control with plant competition. *Journal of Environmental Management*, 254, Article 109790. doi: 10.1016/j.jenvman.2019.109790
8. Kumar, R., Kumar, V., Prasad, S. K., & Verma, S. K. (2019). Effect of chemical on weed management practices on irrigated field pea (*Pisum sativum* L.) crop yield and yield attributes. *International Journal of Chemical Studies*, 7, 843–847.
9. Jursik, M., & Holec, J. (2019). Future of weed management in sugar beet in Central Europe. *Listy Cukrovarnicke a Reparske*, 135(5–6), 180–186.
10. Govardhan, J. D., Dar, S., & Bharat, K. A. (2007). Effect of different weed management practices on growth and yield of field pea (*Pisum sativum* L.). *Agricultural Science Digest*, 27, 311–312.
11. Yeshchenko, V. O., Kopytko, P. H., Opryshko, V. P., & Kostohryz, P. V. (2005). *Principles of scientific research in agronomy*. Kyiv: Diia. [In Ukrainian]
12. Roik, M. V., & Hizbullin, N. H. (Eds.). *Methods of research in sugar beet*. Kyiv: FOP Korzun D. Yu. [In Ukrainian]
13. Ehrmantraut, E. R., Prysiashniuk, O. I., & Shevchenko, I. L. (2007). *Statistical analysis of agronomic experimental data in the Statistica 6.0 package*. Kyiv: PolihrafConsaltynh. [In Ukrainian]

UDC 632.934:633.11

Kukuruza, O. Ye., & Remeniuk, S. O. (2023). Growth and productivity of winter pea under different weed control practices in the Right Bank Forest Steppe of Ukraine. *Scientific Papers of the Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet*, 31, 85–96. [In Ukrainian]

*Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet, NAAS of Ukraine, 25 Klinichna St., Kyiv, 03110, Ukraine, *e-mail: svetlana19862010@ukr.net*

Purpose. To analyze the features of growth and formation of the winter pea productivity under various weed control options in the Right Bank Forest Steppe of Ukraine. **Methods.** The research was conducted at the Salyvonky State Enterprise of the Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine (Bila Tserkva district, Kyiv region) in 2020–2023. The agronomic practices used in the experiment were conventional for the zone of insufficient moisture of the Right Bank Forest Steppe of Ukraine, with the exception of the studied elements. **Results.** The best conditions for the growth and development of pea plants and leaf area formation were noted for the autumn application of the herbicide Corum in the BBCH 12 stage. This contributed to the fact that during the flowering period, the leaf area of the crop plants was more than 36 thousand m²/ha, and in the spring, it was more than 35 thousand m²/ha. The use of the same herbicide in the BBCH 14 ensured the formation of a leaf area of more than 35 thousand m²/ha, which corresponded to the indicators of the treatment with herbicide Pulsar 40 in the BBCH 12. That is, winter pea crops, during flowering, are able to effectively limit the sprouting of new weed plants and the growth and development of their existing plants, which was facilitated by the timely application of the herbicide. The application of the herbicide Corum turned out to be the best option from the point of view of the formation of a high level of photosynthetic potential (PP) of pea crops. For the application in the herbicide in autumn in the BBCH 12 stage at an application rate of 1.50 l/ha, the FP was 1.57 thousand m²/ha × day. At the same time, application rate of 1.25 l/ha slightly differed from the best in the experiment. The spring application of the herbicide Corum in the BBCH 12 at application rates of 1.25 and 1.50 l/ha contributed to obtaining PP of 1.51–1.52 thousand m²/ha × days, which also provided the highest indicators in the spring block of the experiment. Since, thanks to the application of Corum herbicide, winter pea plants formed a large leaf area, the indicators of net photosynthesis productivity of crops in the best treatments were at the level of 2.89 g/m² per day for autumn application and 2.64 g/m² per day for spring application. The highest PP of pea in the experiment was provided by the use of herbicide Pulsar Flex, which was probably achieved due to the slightly smaller leaf area formed by the crops and the mild effect of the herbicide on the plants, which reduced the risk of stress in crops and contributed to active plant growth and development. **Conclusions.** Autumn application of Corum herbicide to protect crops was the most efficient for increasing pea yield. In all years of research, as well as on average in the experiment, the application of 1.50 l/ha of this herbicide in the BBCH 12 provided the highest yield: 3.08, 1.98, and 3.68 t/ha in 2021, 2022, and 2023, respectively, and 2.91 t/ha on average over three years. In the second place in terms of yield formation efficiency was the application of the same rate of herbicide in the BBCH 14, while later application dates did not contribute to a high level of realization of the crop biological potential. Spring application of Corum was also effective at both application rates in the BBCH 12 stage of weed development: the yield of pea seeds was 2.52 and 2.62 t/ha, respectively.

Keywords: winter pea; photosynthetic potential; leaf area; net productivity of photosynthesis; crop yield.

Надійшла / Received 18.11.2023

Погоджено до друку / Accepted 29.11.2023

Формування фотосинтетичних показників сортів сої залежно від площі живлення в Правобережному Лісостепу України

А. В. Лемешик, Н. В. Новицька*

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

Мета. Установити вплив ширини міжряддя й норми висіву насіння сортів сої на формування їхніх фотосинтетичних показників. **Методи.** Дослідження проводили у 2021–2023 рр. у наукових лабораторіях та стаціонарній сівозміні кафедри рослинництва на полях ВП «Агрономічна дослідна станція» Національного університету біоресурсів і природокористування України (с. Пшеничне, Васильківський р-н, Київська обл.). Схема досліду: фактор А – спосіб сівби: звичайний рядковий з міжряддям 19 см; стрічковий з міжряддям 19 + 38 + 19 см; широкорядний з міжряддям 38 см; фактор В – норма висіву насіння: 450, 600 та 750 тис. шт./га. **Результати.** Загущення посівів сприяло підвищенню кількості листків на рослинах сої як наслідок загострення конкуренції за фактори живлення, а особливо – доступність сонячної енергії. За норми висіву насіння 450 тис. шт./га кількість листків на одній рослині сорту ‘Сірелія’ становила в середньому 50,8 шт., ‘Сайдіна’ – 52,4, ‘Вишиванка’ – 51,7, ‘Жаклін’ – 54,6 шт. За збільшення норми висіву насіння до 600 тис. шт./га цей показник зростав у сорту ‘Сірелія’ на 2,9 шт., ‘Сайдіна’ – на 1,3 шт., ‘Вишиванка’ – на 1,1 шт. та ‘Жаклін’ – на 2,1 шт./рослину. Також подібні закономірності спостерігались і в разі подальшого збільшення норми висіву до 750 тис. шт./га – 4,1; 2,6; 1,9 та 3,7 шт. листків на рослину відповідно. Отже, за вирощування сої в загущених посівах площа листя зростає в міру збільшення кількості рослин на одиницю площі поля. Адже посилюється конкурентна боротьба та рослини намагаються створити передумови до ефективного засвоєння сонячної енергії. Зокрема, у фазі утворення бобів в сорту ‘Сірелія’ найвищі показники площі листкової поверхні отримано за вирощування рослин із шириною міжрядь 19 + 38 + 19 см та норми висіву 750 тис. шт./га насінин – 46,5 тис. м²/га. Відповідно на другому місці за формуванням площі листя був варіант із шириною міжрядь 38 + 38 + 38 см та нормою висіву 750 тис. шт./га насінин – 45,1 тис. м²/га. Сорт ‘Сайдіна’ за вирощування з шириною міжрядь 38 + 38 + 38 см та нормою висіву 750 тис. шт./га насінин мав площу листя на рівні 45,5 тис. м²/га, ‘Вишиванка’ – 46,6, ‘Жаклін’ – 48,5 тис. м²/га, тобто ці показники були максимальними для цих сортів. **Висновки.** У середньому по досліді збір сухої речовини в сортів ‘Сірелія’ та ‘Сайдіна’ був на рівні 3,21 т/га, у ‘Вишиванка’ – 3,00 т/га, ‘Жаклін’ – 3,09 т/га. У сорту ‘Сірелія’ за ширини міжрядь 19 + 38 + 19 см та норми 600 тис. шт./га отримано збір сухої речовини 3,53 т/га, а максимум зафіксовано за тієї ж ширини міжрядь та норми висіву насіння 750 тис. шт./га – 3,57 т/га. Отриманий показник був найбільшим серед усіх досліджуваних сортів. Найвищі показники чистої продуктивності фотосинтезу на час цвітіння в сорту ‘Сірелія’ були за ширини міжрядь 19 + 38 + 19 см та норми висіву насіння 450 тис. шт./га – 1,08 г/м² за добу, ‘Сайдіна’ – 1,02, ‘Жаклін’ – 1,06 г/м² за добу сухої речовини. Водночас у сорту ‘Вишиванка’ за ширини міжрядь 19 + 38 + 19 см та норми висіву 600 тис. шт./га ЧПФ була на рівні 0,94 г/м² за добу сухої речовини. На час утворення бобів максимум сухої речовини сорт ‘Сірелія’ формував за ширини міжрядь 19 + 38 + 19 см та норми висіву 600 тис. шт./га – 0,65, а ‘Вишиванка’ – 1,24 г/м² за добу. У сортів ‘Сайдіна’ та ‘Жаклін’ найкращим варіантом була ширина міжрядь 19 + 38 + 19 см за норми висіву насіння 450 тис. шт./га – 1,17 та 1,40 г/м² за добу сухої речовини відповідно.

Ключові слова: густина посівів; ширина міжрядь; норма висіву насіння; площа листя; кількість листків; чиста продуктивність фотосинтезу; суха речовина.

Вступ

Сонячна радіація є вирішальним екологічним фактором, який визначає наскільки ефективно можна вирощувати культуру та отримувати високі врожаї сої. Реакція рослин цього виду на тривалість світлового дня впливає на репродуктивні процеси, такі як початок цвітіння, цвітіння, плодоношення та виповнення насіння, визначаючи час початку та кінця кожної з цих фаз розвитку, а також швидкості змін в межах рослини [1].

У проростаючих проростках світло активує фотоморфогенез, запускаючи перехід від гетеротрофного до автотрофного росту [2–4]. Світло пригнічує ріст гіпокотилу, сприяє відкриттю сім'ядолей і активує експресію світлорегульованих генів [5].

Вплив світла на сім'ядолі/гіпокотилі має значний вплив на ініціацію інфекції *Rhizobium* і розвиток бульбочок на первинному корені проростків сої. Вплив світла полягає в суттєвому пригніченні утворення вузлів на первинному корені. Це пригнічення спостерігається, якщо перед інокуляцією сім'ядолі/гіпокотилу сої спочатку піддають дії світла, тоді як вплив світла на них після інокуляції може значно збільшити утворення бульбочок [6].

Також проведено дослідження, які показують, що цвітіння, а також час досягання сортів сої регулюються генетично, факторами середовища та їх взаємодією [8].

Урожайність деяких сортів сої може бути значно знижена, якщо їх вирощувати за межами нормальних широт придатних для вирощування цих сортотипів [10]. Низькоширотні екотипи більш чутливі до незалежних та інтерактивних фототеплових ефектів порівняно з високоширотними [7, 8].

Для індукції цвітіння більшості сортів цього виду потрібна певна довжина світлового дня. Проте, висока чутливість сої до фотоперіоду означає, що культивування деяких сортів зазвичай обмежується вузьким діапазоном широт [8, 9]. Коли сорти сої, адаптовані до нормальних широт, висівають у низьких широтах, то вони рано цвітуть, утворюють низькі рослини та формують мало стручків. І навпаки, коли сорти, адаптовані до низьких широт, висівають у районах нормальних широт, то вони зацвітають занадто пізно і зазвичай не можуть завершити свій життєвий цикл до настання холодних зимових температур. Адаптація до умов вегетації у нижчих широтах передбачає затримку цвітіння, що подовжує вегетативний ріст для максимального потенціалу врожайності [9].

Отже, правильний добір сортів щодо їх регіонального поширення, а також формування умов для високої фотосинтетично активної листкової поверхні є запорукою до накопичення високого рівня продуктивності посівів. Водночас такі оптимізаційні завдання є актуальними до вивчення в контексті отримання нової інформації про вже поширені у виробництві сорти сої.

Мета досліджень – установити вплив ширини міжряддя й норми висіву насіння сортів сої на динаміку формування їх фотосинтетичних показників.

Матеріали та методика досліджень

Дослідження проводили впродовж 2021–2023 рр. у наукових лабораторіях та стаціонарній сівозміні кафедри рослинництва на полях ВП «Агрономічна дослідна станція» Національного університету біоресурсів і природокористування України (с. Пшеничне, Васильківський р-н, Київська обл.), що розташована в північно-східній частині Правобережного Лісостепу та входить до складу Білоцерківсько-Миронівського природно-сільськогосподарського регіону, Білоцерківського агрогрунтового району.

Аналіз гідротермічних умов показав, що температурний режим вегетаційного періоду вплинув на врожайність сої. У 2021 році в Україні був високий рівень опадів, що сприяло утворенню високих врожаїв для багатьох культур. Температури у 2022 році були нижчими, але все ж інтенсивність приросту температур залишалася вищою за норму. Найвищі температури зафіксовано у липні та серпні, а найнижчі – у лютому. Мінімальні температури у 2021 році були нижчими порівняно з 2022 роком, особливо у січні та лютому. У 2022 році в Україні був помітний знижений рівень опадів порівняно з попереднім роком. Найвищі

температури було зафіксовано влітку, особливо в липні та серпні, тоді як найнижчі температури спостерігались у лютому. На протигагу двом попереднім рокам досліджень, погодні умови 2023 року складались доволі сприятливо для ефективного росту, розвитку та формування врожаю рослин сої.

Ґрунт дослідного поля – чорнозем типовий малогумусний, крупнопилувато-середньосуглинковий за гранулометричним складом. Уміст гумусу в орному шарі (за Тюрнімом) – 4,39–4,53 %; рН сольової витяжки – 6,9–7,3; ємність поглинання – 30,7–32,0 мг-екв на 100 г ґрунту. Уміст загального азоту (за К'ельдалем) – 0,27–0,31 %, фосфору – 0,15–0,25 %, калію – 2,3–2,5 %. Уміст рухомого фосфору (за Мачигінімом) – 4,5–5,5 мг, рухомого калію – 9,8–10,3 мг на 100 г ґрунту.

Господарство розташоване на території помірно теплого й зволоженого агрокліматичного підрайону Київської області. Середня температура повітря становить 6,5–7,0 °С, відносна вологість повітря – 79 %. У середньому за рік випадає 540–560 мм опадів, основна кількість їх припадає на весну (120–135 мм) та літо (195–200 мм). Узимку в середньому випадає 90–100 мм, восени – 13–135 мм опадів. Упродовж вегетаційного періоду випадає близько 65 % опадів, що дає змогу вирощувати переважну більшість сільськогосподарських культур.

Дослід передбачав такі фактори:

фактор А – спосіб сівби: звичайний рядковий з міжряддям 19 см; стрічковий з міжряддям 19 + 38 + 19 см; широкорядний з міжряддям 38 см;

фактор В – норма висіву насіння: 450, 600 та 750 тис. шт./га.

Технологія вирощування сої – загальноприйнята для ґрунтово-кліматичної зони проведення досліджень. Норма внесення мінеральних добрив – N₃₀P₆₀K₆₀ кг/га.

Початок фаз розвитку рослин фіксували за їх настання не менше ніж у 10 % рослин, повна фаза – 75 % і більше; висоту рослин вимірювали за настання кожної фази розвитку рослин [11, 12].

Площу листової поверхні за фазами розвитку визначали методом «висічок».

Чисту продуктивність фотосинтезу (г/м² за добу) визначали за формулою:

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

де: B₁, B₂ – суха речовина, накопичена рослинами на час настання двох сусідніх облікових періодів; L₁, L₂ – сумарна площа листя двох облікових періодів; T – тривалість міжфазного періоду.

Статистичний аналіз результатів досліджень проводили, використовуючи програмні продукти Excel та Statistica 10 [13].

Результати досліджень

Проаналізуємо особливості формування кількості листків на рослинах сортів сої у фазі цвітіння під впливом ширини міжрядь та норми висіву (табл. 1).

У цій фазі в сорту 'Сірелія' середня кількість листків на рослину становила 53,1 шт., у 'Сайдіна' – 53,7, 'Вишиванка' – 52,7, а в 'Жаклін' – 56,5 шт.

Середня кількість листків сорту 'Сірелія' у разі вирощування з шириною міжрядь 19 + 19 + 19 см становила 52,0 шт./рослину, 'Сайдіна' – 53,0, 'Вишиванка' – 52,1, 'Жаклін' – 56,1 шт./рослину. При цьому, за збільшення міжрядь до 19 + 38 + 19 см достовірно підвищення кількості листків на рослинах було зафіксоване лише в сорту 'Сірелія' – 0,75 шт. тоді як за ширини міжрядь 38 + 38 + 38 см у сорту 'Сірелія' було на 2,59 шт., 'Сайдіна' – 1,94, 'Вишиванка' – 2,03 та 'Жаклін' на 1,52 шт./рослину більше, ніж у варіанті з міжряддями 19 см.

За норми висіву сої 450 тис. насінин/га кількість листків на одній рослині сорту 'Сірелія' становила в середньому 50,8 шт., 'Сайдіна' – 52,4, 'Вишиванка' – 51,7, 'Жаклін' – 54,6 шт. За збільшення норми висіву до 600 тис. насінин/га кількість листків на рослинах сорту 'Сірелія' зросла на 2,9 шт., 'Сайдіна' – 1,3, 'Вишиванка' – 1,1 та 'Жаклін' – на 2,1 шт.

Також подібні закономірності спостерігались і в разі подальшого підвищення норми висіву насіння до 750 тис. шт./га – 4,1; 2,6; 1,9 та 3,7 шт./рослину відповідно.

Таблиця 1

Кількість листків на рослинах сортів сої у фазі цвітіння під впливом ширини міжрядь та норми висіву насіння, шт./рослину (середнє за 2021–2023 рр.)

Ширина міжрядь, см	Норма висіву насіння, тис. шт./га	Сорт			
		‘Сірелія’	‘Сайдіна’	‘Вишиванка’	‘Жаклін’
19 + 19 + 19	450	50,0	51,8	51,0	54,0
	600	52,2	53,2	52,2	56,1
	750	53,8	54,1	53,0	58,1
19 + 38 + 19	450	50,4	52,1	50,9	53,9
	600	53,3	53,2	52,1	56,0
	750	54,6	54,3	52,8	58,0
38 + 38 + 38	450	51,9	53,4	53,2	55,9
	600	55,6	55,0	54,2	57,9
	750	56,2	56,6	55,0	58,9
НІР _{0,05}		сорту – 0,16; ширини міжрядь – 0,14; норми висіву насіння – 0,14; загальна – 0,48			

Отже, загушення посівів сприяло підвищенню кількості листків на рослинах сої, як наслідок загострення конкуренції за фактори живлення, а особливо – доступність сонячної енергії.

Також було визначено вплив факторів дослідів на формування кількості листків на рослинах сої (рис. 1).

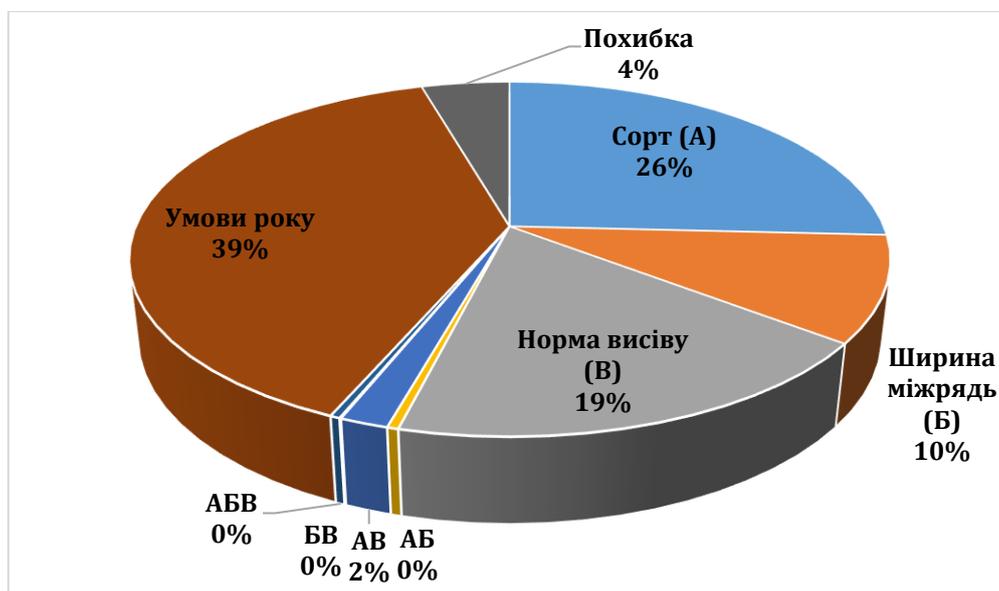


Рис. 1. Вплив факторів дослідів на формування кількості листків на рослинах сої

Серед факторів впливу погодні умови року визначали можливі відхилення ознаки на 39 %, проте біологічні особливості сорту впливали на 26 %, а норми висіву та фактор ширини міжрядь – на 19 %.

Дослідимо особливості формування площі листків у фазі цвітіння на рослинах сортів сої під впливом ширини міжрядь та норми висіву насіння (табл. 2).

Площа листків на рослинах сортів сої у фазі цвітіння під впливом ширини міжрядь та норми висіву насіння, тис. м²/га (середнє за 2021–2023 рр.)

Ширина міжрядь, см	Норма висіву насіння, тис. шт./га	Сорт			
		‘Сірелія’	‘Сайдіна’	‘Вишиванка’	‘Жаклін’
19 + 19 + 19	450	37,0	38,1	41,0	38,3
	600	39,9	39,0	43,2	41,3
	750	42,2	41,1	44,0	42,0
19 + 38 + 19	450	38,0	38,9	41,4	39,9
	600	42,2	42,2	42,9	42,0
	750	44,1	42,5	42,9	43,0
38 + 38 + 38	450	38,1	39,8	42,2	42,1
	600	41,1	42,0	43,1	43,9
	750	42,2	42,8	44,0	46,0
НІР _{0,05}		сортів – 0,14; ширини міжрядь – 0,12; норми висіву насіння – 0,12; загальна – 0,41			

Якщо проаналізувати сортові відмінності у формуванні площі листя на час цвітіння культури, то в середньому в сорту ‘Сірелія’ вона становила 40,5 тис. м²/га, ‘Сайдіна’ – 40,7, ‘Вишиванка’ – 42,7, ‘Жаклін’ – 42,1 тис. м²/га. Тобто приблизно однакові за тривалістю вегетаційного періоду сорти сої формували співставні показники площі листової поверхні, здатні забезпечити ефективно проходження процесів фотосинтезу.

Якщо проаналізувати закономірності формування площі листя залежно від ширини міжрядь, то за вирощування рослин з міжряддям 19 + 19 + 19 см сорт ‘Сірелія’ мав площу в 39,7, ‘Сайдіна’ – 39,4, ‘Вишиванка’ – 42,7, ‘Жаклін’ – 40,5 тис. м²/га. У разі використання комбінованої ширини міжрядь 19 + 38 + 19 см у сортів ‘Сірелія’, ‘Сайдіна’ та ‘Жаклін’ була сформована відповідно на 1,74; 1,82 та 1,10 тис. м²/га більша площа листового апарату. За збільшення ширини міжрядь посівів до 38 + 38 + 38 см площа листя в сорту ‘Сірелія’ була на 0,79, ‘Сайдіна’ – на 2,17, ‘Жаклін’ – на 3,45 тис. м²/га вище, ніж за міжрядь 19 см. Відхилення показників площі листя в сорту ‘Вишиванка’ в обох варіантах збільшення ширини міжрядь перебували в межах похибки досліду.

Щодо тенденцій до зміни площі листя, то в міру збільшення ширини міжрядь у сортів ‘Сайдіна’ та ‘Жаклін’ спостерігалось підвищення показників. Отже, на загушені посіви вони реагували збільшенням листового апарату понад показники, отримані в оптимальних посівах.

Якщо проаналізувати дані впливу норми висіву, то у варіанті з 450 тис. шт./га схожих насінин у фазі цвітіння площа листя сорту ‘Сірелія’ становила 37,7 тис. м²/га, ‘Сайдіна’ – 38,9, ‘Вишиванка’ – 41,5, ‘Жаклін’ – 40,1 тис. м²/га. Коли норма висіву, а отже й густина посівів, зростала до 600 тис. шт./га, то ми спостерігали збільшення площі листя на 3,4; 2,1; 1,5 та 2,3 тис. м²/га, а за зростання норми до 750 тис. шт./га – 5,1; 3,2; 2,1 та 3,5 тис. м²/га відповідно.

У сорту ‘Сірелія’ найкращі показники площі листової поверхні відзначено за вирощування рослин із шириною міжрядь 19 + 38 + 19 см та норми висіву насіння 750 тис. шт./га – 44,1 тис. м²/га. Причому на другому місці за формуванням площі листя був варіант із шириною міжрядь 38 + 38 + 38 см та нормою висіву 750 тис. шт./га насінин.

Сорт ‘Сайдіна’ за вирощування рослин із шириною міжрядь 38 + 38 + 38 см та нормою висіву 750 тис. шт./га насінин мав площу листя на рівні 42,8 тис. м²/га. За таких же параметрів посівів у сорту ‘Вишиванка’ площа листової поверхні становила 44,0 тис. м²/га, ‘Жаклін’ – 46,0 тис. м²/га, тобто була максимальною в розрізі досліджуваних сортів.

Загалом було встановлено, що варіанти максимальної норми висіву, а отже й густоти посівів, мали перевагу над нижчими нормами в плані формування площі листової поверхні сортів сої.

Показано вплив факторів досліду на формування площі листків на рослинах сої у фазі цвітіння (рис. 2).

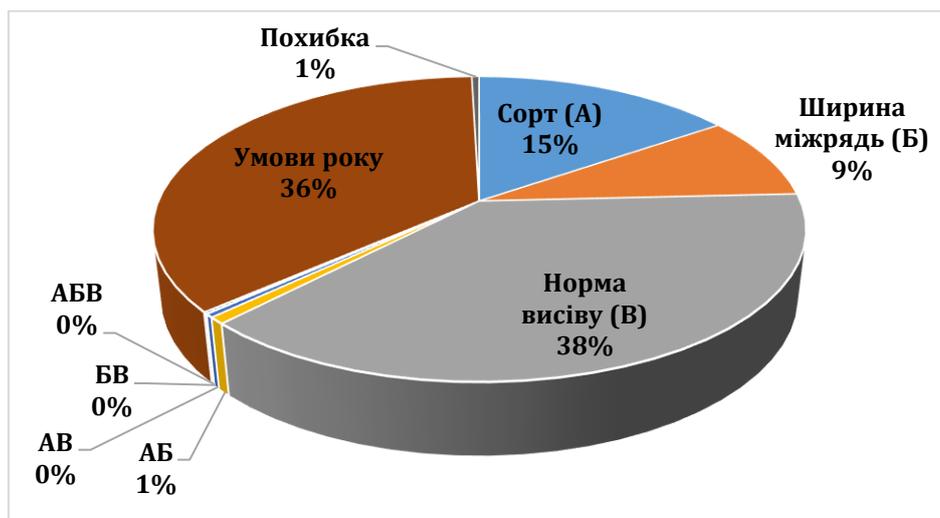


Рис. 2. Вплив факторів досліду на формування площі листків на рослинах сої у фазі цвітіння

За впливом факторів на формування площі листя на час цвітіння рослин сої було визначено, що норма висіву визначає відхилення досліджуваного показника на 38 %, при цьому вплив умов року визначав 36 % взаємодій, біологічні особливості сорту – 15 %, а ширина міжрядь впливала на показник у межах 9 %.

Також проведемо аналіз змін площі листків у фазі утворення бобів на рослинах сортів сої під впливом ширини міжрядь та норми висіву насіння (табл. 3).

Таблиця 3

Площа листків на рослинах сортів сої у фазі утворення бобів під впливом ширини міжрядь та норми висіву насіння, тис. м²/га (середнє за 2021–2023 рр.)

Ширина міжрядь, см	Норма висіву насіння, тис. шт./га	Сорт			
		‘Сірелія’	‘Сайдіна’	‘Вишиванка’	‘Жаклін’
19 + 19 + 19	450	39,2	40,3	43,7	40,4
	600	42,4	41,3	45,5	43,6
	750	44,7	43,7	46,5	44,5
19 + 38 + 19	450	40,5	41,3	44,0	42,3
	600	44,8	44,9	45,4	44,4
	750	46,5	45,4	45,0	45,6
38 + 38 + 38	450	40,0	42,1	44,8	44,6
	600	43,9	44,3	45,7	46,8
	750	45,1	45,5	46,6	48,5
НІР _{0,05}		сортів – 0,21; ширини міжрядь – 0,18; норми висіву насіння – 0,18; загальна – 0,64			

На час утворення бобів у середньому в сорту ‘Сірелія’ площа листя була 43,0 тис. м²/га, ‘Сайдіна’ – 43,2, ‘Вишиванка’ – 45,3, а в сорту ‘Жаклін’ – 44,5 тис. м²/га. Отже, порівняно із фазою цвітіння рослин спостерігалось незначне підвищення площі листової поверхні.

За вирощування рослин з міжряддям 19 + 19 + 19 см сорт ‘Сірелія’ формував площу 42,1 тис. м²/га, ‘Сайдіна’ – 41,8, ‘Вишиванка’ – 45,2, ‘Жаклін’ – 42,8 тис. м²/га. А за вирощування рослин з комбінованою шириною міжрядь 19 + 38 + 19 см у сортів ‘Сірелія’, ‘Сайдіна’ та ‘Жаклін’ була сформована на 1,80; 2,12 та 1,29 тис. м²/га більша площа листя. Подальше збільшення ширини міжрядь до 38 + 38 + 38 см сприяло отриманню площі листя в

сорту 'Сірелія' на 0,88, 'Сайдіна' – на 2,21 та 'Жаклін' – на 3,83 тис. м²/га вищої, ніж за міжрядь 19 см. Аналогічно попередньому обліковому періоду, сорт 'Вишиванка' в обох варіантах збільшення ширини міжрядь мав відхилення площі листя у межах похибки дослідів.

Також було встановлено, що за норми висіву 450 тис. шт./га схожих насінин у фазі утворення бобів площа листя сорту 'Сірелія' становила 39,9 тис. м²/га, 'Сайдіна' – 41,2, 'Вишиванка' – 44,2, 'Жаклін' – 42,4 тис. м²/га. За зростання норми висіву до 600 тис. насінин/га, спостерігалось підвищення площі листя на 3,8; 2,3; 1,4 та 2,5 тис. м²/га, а до 750 тис. насінин/га – на 5,5; 3,6; 1,9 та 3,8 тис. м²/га порівняно з варіантом ширини міжрядь 19 см.

Було також виявлено, що в сорту 'Сірелія' найвищі показники площі листкової поверхні отримано за вирощування рослин із шириною міжрядь 19 + 38 + 19 см та норми висіву 750 тис. шт./га насінин – 46,5 тис. м²/га. Відповідно на другому місці за формуванням площі листя був варіант із шириною міжрядь 38 + 38 + 38 см та нормою висіву 750 тис. шт./га насінин, що забезпечував площу листя на рівні 45,1 тис. м²/га.

Також встановлено, що сорт 'Сайдіна' за вирощування з шириною міжрядь 38 + 38 + 38 см та норми висіву 750 тис. шт./га насінин мав площу листя на рівні 45,5 тис. м²/га. За аналогічних показників у сорту 'Вишиванка' площа листкової поверхні становила 46,6 тис. м²/га, а в 'Жаклін' – 48,5 тис. м²/га, тобто була максимальною за сортами.

Отже, за вирощування сої в загущених посівах площа листя зростає в міру збільшення кількості рослин на одиницю площі поля. Адже посилюється конкурентна боротьба та рослини намагаються створити передумови до ефективного засвоєння сонячної енергії.

Проаналізуємо також вплив факторів дослідів на формування площі листків на рослинах сої у фазі утворення бобів (рис. 3).

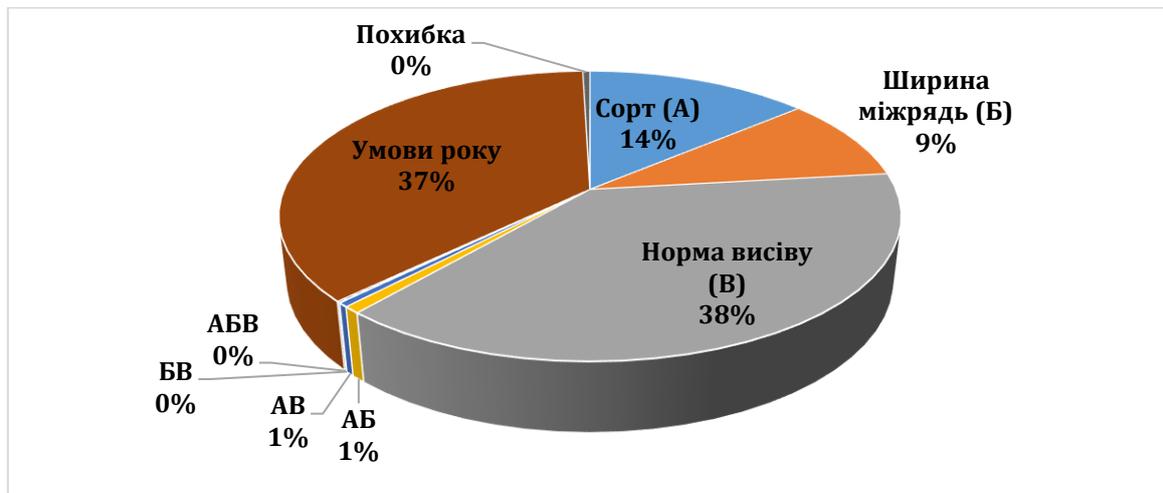


Рис. 3. Вплив факторів дослідів на формування площі листків на рослинах сої у фазі утворення бобів

За впливом факторів дослідів на формування площі листя на час утворення бобів можна було спостерігати значний вплив норми висіву насіння (38 %), а умови року з огляду на формування різного рівня вологозабезпечення посівів та, як наслідок, біометричного розвитку рослин сої визначали показник на 37 %. При цьому сортові відмінності визначала мінливість ознаки на рівні 14 %, а ширина міжрядь – 9 %. Отже, отримані закономірності впливу за результатами аналізу дисперсій співпадають з виявленими та описаними нами складниками зміни експериментального матеріалу даних дослідів.

Проаналізуємо закономірності збору сухої речовини сортів сої під впливом ширини міжрядь та норми висіву насіння (табл. 4).

Збір сухої речовини сортів сої під впливом ширини міжрядь та норми висіву насіння, т/га (середнє за 2021–2023 рр.)

Ширина міжрядь, см	Норма висіву насіння, тис. шт./га	Сорт			
		‘Сірелія’	‘Сайдіна’	‘Вишиванка’	‘Жаклін’
19 + 19 + 19	450	3,14	3,29	2,95	2,94
	600	3,37	3,22	3,21	3,09
	750	3,43	3,18	2,97	3,29
19 + 38 + 19	450	3,25	3,45	3,06	3,11
	600	3,53	3,35	3,35	3,19
	750	3,57	3,22	3,00	3,31
38 + 38 + 38	450	2,82	3,16	2,76	2,81
	600	2,88	3,07	2,96	2,94
	750	2,91	2,95	2,79	3,09
НІР _{0,05}		сортів – 0,02; ширини міжрядь – 0,01; норми висіву насіння – 0,01; загальна – 0,04			

У середньому по досліді збір сухої речовини в сорту ‘Сірелія’ був на рівні 3,21 т/га, аналогічно до середніх показників сорту ‘Сайдіна’, тоді як у сорту ‘Вишиванка’ – 3,00 т/га, а в ‘Жаклін’ – 3,09 т/га.

Також за вирощування сої з шириною міжрядь 19 + 19 + 19 см у сорту ‘Сірелія’ збір сухої речовини становив 3,31 т/га, ‘Сайдіна’ – 3,23, ‘Вишиванка’ – 3,04, а в сорту ‘Жаклін’ – 3,11 т/га. У разі вирощування рослин з міжряддями 19 + 38 + 19 см отримано приріст збору сухої речовини в сорту ‘Сірелія’ 0,14 т/га, у ‘Сайдіна’ – 0,11, у ‘Вишиванка’ – 0,09, ‘Жаклін’ – 0,10 т/га. За збільшення ширини міжрядь до 38 + 38 + 38 см збір сухої речовини сортів сої зменшувався порівняно з міжряддями 19 см на 0,44; 0,17; 0,21 та 0,16 т/га відповідно.

Також проаналізуємо і зміни показника залежно від норм висіву насіння. Зокрема, за норми висіву 450 тис. шт./га схожих насінин у сорту ‘Сірелія’ збір сухої речовини був 3,07 т/га, ‘Сайдіна’ – 3,30, ‘Вишиванка’ – 2,92, а в ‘Жаклін’ – 2,95 т/га. У разі зростання норми висіву насіння до 600 тис. шт./га в сорту ‘Сірелія’ збір сухої речовини зріс на 0,19 т/га, ‘Вишиванка’ – на 0,25, ‘Жаклін’ – на 0,12 т/га, тоді як у сорту ‘Сайдіна’ навпаки зменшився на 0,09 т/га. За збільшення норми висіву насіння до 750 тис. шт./га в сорту ‘Сірелія’ приріст збору сухої речовини порівняно з нормою 450 тис. шт./га становив 0,23 т/га. У сорту ‘Сайдіна’ отримано сухої речовини на 0,18 т/га менше, тоді як у ‘Вишиванка’ за норми висіву в 750 тис. шт./га не відрізнявся від показників у варіанті 450 тис. шт./га. Сорт сої ‘Жаклін’ за норми висіву 750 тис. шт./га мав у середньому на 0,28 т/га більший збір сухої речовини порівняно із 450 тис. шт./га.

У сорту ‘Сірелія’ за ширини міжрядь 19 + 38 + 19 см та норми висіву насіння 600 тис. шт./га в середньому за роки отримано збір сухої речовини на рівні 3,53 т/га, а максимум зафіксовано за цієї ж ширини міжрядь та норми висіву 750 тис. шт./га – 3,57 т/га. Отриманий показник був найбільшим серед усіх досліджуваних сортів. Найвищий збір сухої речовини за варіантами вирощування сорту ‘Сайдіна’ відзначено за ширини міжрядь 19 + 38 + 19 см та норми висіву 450 тис. насінин/га – 2,82 т/га. Фактично це єдиний сорт сої в нашому досліді, що забезпечив високий рівень продуктивності за низьких норм висіву.

Якщо аналізувати збір сухої речовини в сорту ‘Вишиванка’, то загалом ефективною для нього з біологічної точки зору реалізації потенціалу була ширина міжрядь 19 + 38 + 19 см та норма висіву 600 тис. насінин/га. Саме за таких умов було отримано показник 3,35 т/га.

У сорту ‘Жаклін’ найвищі показники збору сухої речовини отримано за ширини міжрядь 19 + 38 + 19 см та висівання нормою 750 тис. насінин/га – 3,31 т/га. Проте, для цього сорту залишалась актуальною і ширина міжрядь 19 + 19 + 19 см та норма висіву 750 тис. шт./га, за яких отримано 3,29 т/га сухої речовини.

Оцінимо також вплив факторів досліду на формування збору сухої речовини посівами сої на час збирання (рис. 4).

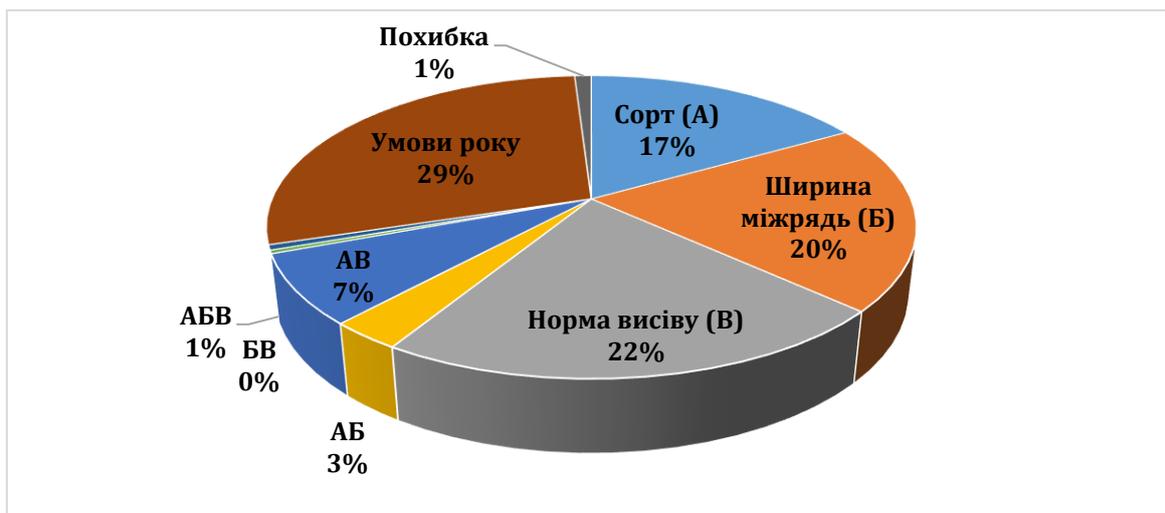


Рис. 4. Вплив факторів досліду на формування збору сухої речовини посівами сої на час збирання

Отже, в розрізі впливу факторів досліду на збір сухої речовини умови року мали значний вплив, що передусім пов'язано з досить контрастними умовами в роки проведення досліджень. Окрім того, суха речовина накопичується не лише в зерні сої, а й у вегетативній частині, рівень розвитку якої доволі сильно залежить саме від оптимальності прояву умов вегетаційного періоду. При цьому норма висіву визначала формування показника на 22 %, ширина міжрядь – на 20 %, а фактор біологічних особливостей сорту – на 17 %. Це підтверджує важливість впливів усіх факторів досліду на накопичення сухої речовини посівами культури.

Проаналізуємо параметри чистої продуктивності фотосинтезу (ЧПФ) досліджуваних сортів сої на час цвітіння під впливом ширини міжрядь та норми висіву насіння (табл. 5).

Таблиця 5

Чиста продуктивність фотосинтезу сортів сої на час цвітіння під впливом ширини міжрядь та норми висіву насіння, г/м² за добу (середнє за 2021–2023 рр.)

Ширина міжрядь, см	Норма висіву насіння, тис. шт./га	Сорт			
		‘Сірелія’	‘Сайдіна’	‘Вишиванка’	‘Жаклін’
19 + 19 + 19	450	1,07	0,99	0,86	1,04
	600	1,07	0,95	0,89	1,02
	750	1,03	0,89	0,81	1,06
19 + 38 + 19	450	1,08	1,02	0,89	1,06
	600	1,06	0,91	0,94	1,03
	750	1,02	0,87	0,84	1,05
38 + 38 + 38	450	0,93	0,91	0,79	0,90
	600	0,89	0,84	0,82	0,91
	750	0,87	0,79	0,76	0,91

Отже, загалом ЧПФ посівів сорту ‘Сірелія’ у фазі цвітіння становила 1,00, ‘Сайдіна’ – 0,91, ‘Вишиванка’ – 0,85 та ‘Жаклін’ – 1,00 г/м² за добу.

Також визначено, що за вирощування рослин сої з шириною міжрядь 19 + 38 + 19 см ЧПФ усіх досліджуваних сортів сої суттєво не відрізнялась від варіанту досліду з шириною міжрядь в 19 + 19 + 19 см. При цьому, збільшення ширини міжрядь до 38 + 38 + 38 см сприяло зменшенню показника в сорту ‘Сірелія’ на 0,16 г/м² за добу, ‘Сайдіна’ – 0,10, ‘Вишиванка’ – 0,07, а в сорту ‘Жаклін’ – на 0,13 г/м² за добу.

Збільшення норм висіву насіння до 600 та 750 тис. шт./га приводило, зазвичай, до зменшення показників ЧПФ: у 'Сірелія' відповідно на 0,03 та 0,06 г/м² за добу, у 'Сайдіна' – на 0,07 та 0,12 г/м² за добу сухої речовини.

Найвищі показники ЧПФ на час цвітіння в сорту 'Сірелія' були за ширини міжрядь 19 + 38 + 19 см та норми висіву 450 тис. шт./га – 1,08 г/м², 'Сайдіна' – 1,02, а 'Жаклін' – 1,06 г/м² сухої речовини за добу. Водночас у сорту 'Вишиванка' за ширини міжрядь 19 + 38 + 19 см та норми висіву насіння 600 тис. шт./га ЧПФ була на рівні 0,94 г/м² за добу сухої речовини.

Розглянемо зміни чистої продуктивності фотосинтезу сортів сої на час утворення бобів під впливом ширини міжрядь та норми висіву насіння (табл. 6).

Таблиця 6

Чиста продуктивність фотосинтезу сортів сої на час утворення бобів під впливом ширини міжрядь та норми висіву насіння, г/м² за добу (середнє за 2021–2023 рр.)

Ширина міжрядь, см	Норма висіву насіння, тис. шт./га	Сорт			
		'Сірелія'	'Сайдіна'	'Вишиванка'	'Жаклін'
19 + 19 + 19	450	0,64	1,14	1,15	1,38
	600	0,64	1,09	1,18	1,34
	750	0,63	1,02	1,00	1,32
19 + 38 + 19	450	0,64	1,17	1,18	1,40
	600	0,65	1,05	1,24	1,37
	750	0,63	1,00	1,03	1,30
38 + 38 + 38	450	0,54	1,05	1,00	1,17
	600	0,52	0,97	0,97	1,18
	750	0,51	0,91	0,90	1,11

Установлено, що чиста продуктивність фотосинтезу посівів сорту 'Сірелія' у фазі утворення бобів становила 0,60 г/м² за добу, 'Сайдіна' – 1,04, 'Вишиванка' – 1,07 та 'Жаклін' – 1,28 г/м² за добу. За вирощування сої з шириною міжрядь 19 + 38 + 19 см ЧПФ в усіх досліджуваних сортів сої суттєво не відрізнялась від варіанту досліду з шириною міжрядь 19 + 19 + 19 см. У разі збільшення ширини міжрядь до 38 + 38 + 38 см цей показник знижувався в сорту 'Сірелія' на 0,11 г/м² за добу, 'Сайдіна' – 0,11, 'Вишиванка' – 0,16, 'Жаклін' – на 0,19 г/м² за добу.

Найвищі показники ЧПФ на час утворення бобів у сорту 'Сірелія' були за ширини міжрядь 19 + 38 + 19 см та норми висіву 600 тис. шт./га – 0,65 г/м² за добу. У сорту 'Вишиванка' за таких параметрів посівів отримано накопичення сухої речовини на рівні 1,24 г/м² за добу. У сорту 'Сайдіна' кращим варіантом була ширина міжрядь 19 + 38 + 19 см за норми висіву насіння 450 тис. шт./га – 1,17 г/м² за добу. Сорт 'Жаклін' за аналогічних умов накопичував 1,40 г/м² за добу сухої речовини.

Отже, закономірності накопичення сухої речовини посівами сої суттєво залежали як від умов року, так і визначались власне біологічними особливостями досліджуваних сортів (площа листової поверхні, ефективність її роботи тощо). Тобто не можна стверджувати однозначно, що там, де була більша площа листової поверхні, ми маємо максимум накопичення сухої речовини на одиницю площі посіву. Адже нерідко велика кількість листя працює менш ефективно, ніж менша, проте розташована більш раціонально. А тому, важливість просторової оптимізації посівів сої залишається актуальним до вивчення питань.

Висновки

Загущення посівів сприяло підвищенню кількості листків на рослинах сої як наслідок загострення конкуренції за фактори живлення, а особливо – доступність сонячної енергії. За

норми висіву сої 450 тис. шт./га насінин кількість листків на одній рослині сорту 'Сірелія' становила в середньому 50,8 шт., 'Сайдіна' – 52,4, 'Вишиванка' – 51,7, 'Жаклін' – 54,6 шт. За збільшення норми висіву насіння до 600 тис. шт./га цей показник зростав у сорту 'Сірелія' на 2,9 шт., 'Сайдіна' – 1,3 шт., 'Вишиванка' – 1,1 шт. та 'Жаклін' – 2,1 шт./рослину. Також подібні закономірності спостерігались і в разі подальшого збільшення норми висіву до 750 тис. шт./га – 4,1; 2,6; 1,9 та 3,7 шт. листків на рослину відповідно.

Отже, за вирощування сої в загущених посівах площа листя зростає в міру збільшення кількості рослин на одиницю площі поля. Адже посилюється конкурентна боротьба та рослини намагаються створити передумови до ефективного засвоєння сонячної енергії.

Зокрема, у фазі утворення бобів в сорту 'Сірелія' найвищі показники площі листової поверхні отримано за вирощування рослин із шириною міжрядь 19 + 38 + 19 см та норми висіву 750 тис. шт./га насінин – 46,5 тис. м²/га. Відповідно на другому місці за формуванням площі листя був варіант із шириною міжрядь 38 + 38 + 38 см та нормою висіву 750 тис. шт./га насінин – 45,1 тис. м²/га. Сорт 'Сайдіна' за вирощування з шириною міжрядь 38 + 38 + 38 см та нормою висіву 750 тис. шт./га насінин мав площу листя на рівні 45,5 тис. м²/га, 'Вишиванка' – 46,6, 'Жаклін' – 48,5 тис. м²/га, тобто ці показники були максимальними для цих сортів.

У середньому по досліді збір сухої речовини в сортів 'Сірелія' та 'Сайдіна' був на рівні 3,21 т/га, у 'Вишиванка' – 3,00 т/га, 'Жаклін' – 3,09 т/га. У сорту 'Сірелія' за ширини міжрядь 19 + 38 + 19 см та норми 600 тис. шт./га отримано збір сухої речовини 3,53 т/га, а максимум зафіксовано за тієї ж ширини міжрядь та норми висіву насіння 750 тис. шт./га – 3,57 т/га. Отриманий показник був найбільшим серед усіх досліджуваних сортів.

Найвищі показники чистої продуктивності фотосинтезу на час цвітіння в сорту 'Сірелія' були за ширини міжрядь 19 + 38 + 19 см та норми висіву насіння 450 тис. шт./га – 1,08 г/м² за добу, 'Сайдіна' – 1,02, 'Жаклін' – 1,06 г/м² за добу сухої речовини. Водночас у сорту 'Вишиванка' за ширини міжрядь 19 + 38 + 19 см та норми висіву 600 тис. шт./га ЧПФ була на рівні 0,94 г/м² за добу сухої речовини. На час утворення бобів максимум сухої речовини сорт 'Сірелія' формував за ширини міжрядь 19 + 38 + 19 см та норми висіву 600 тис. шт./га – 0,65, а 'Вишиванка' – 1,24 г/м² за добу. У сортів 'Сайдіна' та 'Жаклін' найкращим варіантом була ширина міжрядь 19 + 38 + 19 см за норми висіву насіння 450 тис. шт./га – 1,17 та 1,40 г/м² за добу сухої речовини відповідно.

Використана література

1. Cooper R. L. A delayed flowering barrier to higher soybean yields. *Field Crops Research*. 2003. Vol. 82, Iss. 1. P. 27–35. doi: 10.1016/S0378-4290(03)00003-0
2. Casal J. J. Photoreceptor signaling networks in plant responses to shade. *Annual Review of Plant Biology*. 2013. Vol. 64. P. 403–427. doi: 10.1146/annurev-arplant-050312-120221
3. Galvão V. C., Fankhauser C. Sensing the light environment in plants: Photoreceptors and early signaling steps. *Current Opinion in Neurobiology*. 2015. Vol. 34. P. 46–53. doi: 10.1016/j.conb.2015.01.013
4. Ji H., Xiao R., Lyu X. et al. Differential light-dependent regulation of soybean nodulation by papilionoid – Specific HY5 homologs. *Current Biology*. 2022. Vol. 32, Iss. 4. P. 783–795.e5. doi: 10.1016/j.cub.2021.12.041
5. Osterlund C. M. T., Hardtke S., Wei N., Deng X. W. Targeted destabilization of HY5 during light-regulated development of *Arabidopsis*. *Nature*. 2000. Vol. 405, Iss. 6785. P. 462–466. doi: 10.1038/35013076
6. Malik N. S. A., Pence M. K., Calvert H. E. et al. Rhizobium infection and nodule development in soybean are affected by exposure of the cotyledons to light. *Plant Physiology*. 1984. Vol. 75, Iss. 1. P. 90–94. doi: 10.1104/pp.75.1.90
7. Wu T., Li J., Wu C. et al. Analysis of the independent and interactive photo thermal effects on soybean flowering. *Journal of Integrative Agriculture*. 2015. Vol. 14, Iss. 4. P. 622–632. doi: 10.1016/S2095-3119(14)60856-X

8. Watanabe S., Harada K., Abe J. Genetic and molecular bases of photoperiod responses of flowering in soybean. *Breeding Science*. 2012, Vol. 61, Iss. 5. P. 531–543. doi: 10.1270/jsbbs.61.531
9. Lin X., Liu B., Weller J. L. et al. Molecular mechanisms for the photoperiodic regulation of flowering in soybean. *Journal of Integrative Plant Biology*. 2020. Vol. 63, Iss. 6. P. 981–994. doi: 10.1111/jipb.13021
10. Gai J. Y., Wang Y. S. A study on the varietal eco-regions of soybeans in China. *Scientia Agricultura Sinica*. 2001. Vol. 34. P. 139–145.
11. Методика Державного сортовипробування сільськогосподарських культур. Кив, 2004. Вип. 3. 78 с.
12. Методика державного сортовипробування сільськогосподарських культур / за ред. В. В. Волкодава. Київ, 2000. 100 с.
13. 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.

References

1. Cooper, R. L. (2003). A delayed flowering barrier to higher soybean yields. *Field Crops Research*, 82(1), 27–35. doi: 10.1016/S0378-4290(03)00003-0
2. Casal, J. J. (2013). Photoreceptor signaling networks in plant responses to shade. *Annual Review of Plant Biology*, 64, 403–427. doi: 10.1146/annurev-arplant-050312-120221
3. Galvão, V. C., & Fankhauser, C. (2015). Sensing the light environment in plants: Photoreceptors and early signaling steps. *Current Opinion in Neurobiology*, 34, 46–53. doi: 10.1016/j.conb.2015.01.013
4. Ji, H., Xiao, R., Lyu, X., Chen, J., Zhang, X., Wang, Z., ... Li, X. (2022). Differential light-dependent regulation of soybean nodulation by papilionoid-specific HY5 homologs. *Current Biology*, 32(4), 783–795.e5. doi: 10.1016/j.cub.2021.12.041
5. Osterlund, M. T., Hardtke, C. S., Wei, N., & Deng, X. W. (2000). Targeted destabilization of HY5 during light-regulated development of Arabidopsis. *Nature*, 405(6785), 462–466. doi: 10.1038/35013076
6. Malik, N. S. A., Pence, M. K., Calvert, H. E., & Bauer, W. D. (1984). Rhizobium infection and nodule development in soybean are affected by exposure of the cotyledons to light. *Plant Physiology*, 75(1), 90–94. doi: 10.1104/pp.75.1.90
7. Wu, T., Li, J., Wu, C., Sun, S., Mao, T., Jiang, B., Hou, W., & Han, T. Analysis of the independent and interactive photo thermal effects on soybean flowering. *Journal of Integrative Agriculture*, 14(4), 622–632. doi: 10.1016/S2095-3119(14)60856-X
8. Watanabe, S., Harada, K., & Abe, J. (2012). Genetic and molecular bases of photoperiod responses of flowering in soybean. *Breeding Science*, 61(5), 531–543. doi: 10.1270/jsbbs.61.531
9. Lin, X., Liu, B., Weller, J. L., Abe, J., & Kong, F. (2021). Molecular mechanisms for the photoperiodic regulation of flowering in soybean. *Journal of Integrative Plant Biology*, 63(6), 981–994. doi: 10.1111/jipb.13021
10. Gai, J. Y., & Wang, Y. S. (2001). A study on the varietal eco-regions of soybeans in China. *Scientia Agricultura Sinica*, 34, 139–145.
11. *Methodology of State variety testing of agricultural crops*. (2024). (Vol. 3). Kyiv. [In Ukrainian]
12. Volkodav, V. V. (Ed.). (2000). *Methodology of state variety testing of agricultural crops*. Kyiv. [In Ukrainian]
13. Prysiazhniuk, O. I., Karazhbei, H. M., & Leshchuk, N. V. (2016). *Statistical analysis of agronomic research data in the Statistica 10 package: methodological guidelines*. Kyiv: Nilan-LTD. [In Ukrainian]

UDC 633.34:631.5:631.8

Lemeshyk, A. V., & Novytska, N. V.* (2023). The formation of photosynthetic indicators of soybean varieties depending on the nutrition area in the Right Bank Forest Steppe of Ukraine. *Scientific Papers of the Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet*, 31, 97–109. [In Ukrainian]

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

Purpose. To determine the influence of row width and seeding rate on the formation of soybean photosynthetic indicators. **Methods.** The research was carried out in 2021–2023 in the stationary crop rotation of the Plant Breeding Department in the fields of the Agronomic Research Station of the National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine (Pshenychne, Vasytkiv district, Kyiv region). Scheme of the experiment: factor A – sowing method: ordinary row with a row spacing of 19 cm; strip with a row spacing of 19 cm + 38 cm + 19 cm; wide-row with a row spacing of 38 cm; factor B – seeding rate: 450, 600 and 750 thousand seeds/ha. **Results.** Thickening of crops contributed to an increase in the number of leaves on soybean plants as a result of increased competition for nutrients and solar energy. At the seeding rate of 450,000 seeds/ha, the number of leaves on one plant of the ‘Sirelia’ variety was on average 50.8, ‘Saidina’ 52.4, ‘Vyshyvanka’ 51.7, and ‘Zhaklin’ – 54.6. With an increase in the seeding rate to 600,000 seeds per hectare, this indicator increased by 2.9 leaves in ‘Sirelia’, by 1.3 in ‘Saidina’, by 1.1 in ‘Vyshyvanka’, and by 2.1 in ‘Zhaklin’. Similar regularities were observed in the case of a further increase in the seeding rate to 750,000 seeds/ha: 4.1; 2.6; 1.9 and 3.7 leaves per plant, respectively. Therefore, when growing soybean in thickened stands, leaf area increases as the number of plants per unit area of the field increases. After all, competition is intensifying and plants are trying to reach more efficient assimilation of solar energy. In particular, in the phase of bean formation in the ‘Sirelia’ variety, the highest values of the leaf area were obtained when growing plants at a planting design of 19 cm + 38 cm + 19 cm and a seeding rate of 750,000 seeds/ha – 46.5 thousand m²/ha. Accordingly, in second place in terms of the formation of the leaf area was planting design 38 cm + 38 cm + 38 cm and the seeding rate of 750,000 seeds/ha – 45.1 thousand m²/ha. The variety ‘Saidina’ when grown at a planting design of 38 cm + 38 cm + 38 cm and a seeding rate of 750,000 seeds/ha of seeds had a leaf area of 45.5 thousand m²/ha, ‘Vyshyvanka’ 46.6 thousand m²/ha, and ‘Zhaklin’ 48.5 thousand m²/ha, that is, these indicators were the maximum for these varieties. **Conclusions.** On average, the yield of dry matter in ‘Sirelia’ and ‘Saidina’ was 3.21 t/ha, in ‘Vyshyvanka’ 3.00 t/ha, and in ‘Zhaklin’ 3.09 t/ha. In ‘Sirelia’, at the row widths of 19 cm + 38 cm + 19 cm and a rate of 600,000 seeds/ha, dry matter yield of 3.53 t/ha was obtained, and the maximum was recorded for the same row width and seeding rate of 750,000 seeds/ha – 3.57 t/ha. The obtained indicator was the largest among all studied varieties. The highest rates of net photosynthesis productivity (NPP) at the time of flowering in the ‘Sirelia’ variety were at the planting design of 19 cm + 38 cm + 19 cm and the seeding rate of 450,000 seeds/ha – 1.08 g/m² of dry matter per day, in ‘Saidina’ 1.02, and in ‘Zhaklin’ 1.06 g/m². At the same time, in ‘Vyshyvanka’ at a planting design of 19 cm + 38 cm + 19 cm and a seeding rate of 600,000 seeds/ha, the NPP was 0.94 g/m² of dry matter per day. At the time of formation of beans, the highest dry matter was formed by the variety ‘Sirelia’ at a row width of 19 cm + 38 cm + 19 cm and a seeding rate of 600,000 seeds/ha – 0.65, and ‘Vyshyvanka’ – 1.24 g/m² per day. In the varieties ‘Saidina’ and ‘Zhaklin’, of dry matter was at a planting design of 19 cm + 38 cm + 19 cm and seeding rate 450,000 seeds/ha: 1.17 and 1.40 g/m² per day of dry matter, respectively.

Keywords: crop density; row width; seeding rate; leaf area; number of leaves; net productivity of photosynthesis; dry matter.

Надійшла / Received 09.11.2023

Погоджено до друку / Accepted 24.11.2023

УДК 633.9:631.54

DOI: <https://doi.org/10.47414/nr.31.2023.292403>

Формування врожайності та якості проса прутоподібного за багаторічного його вирощування на малопродуктивних ґрунтах Правобережного Лісостепу України

О. І. Присяжнюк^{1*}, В. В. Мусіч¹, Т. П. Костина², Н. О. Кононюк¹,
М. О. Черняк¹, О. М. Гончарук¹, Є. В. Качура³

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

²ТОВ «БАСФ Т.О.В», б-р Миколи Міхновського, 19, м. Київ, 01042, Україна

³Інститут агроекології і природокористування НААН України, вул. Метрологічна, 12, м. Київ, 03143, Україна

Мета. Установити вплив елементів технології вирощування проса прутоподібного на особливості формування врожайності та якості його біомаси. **Методи.** Дослідження проводили у 2019–2022 рр. на Уладово-Льолинецькій ДСС Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН за загальноприйнятими методиками. Просо прутоподібне ‘Морозко’ вирощували за схемою трифакторного польового досліду: фактор А – розкислення ґрунту: 1) без вапнування, 2) вапно, 1,6 т/га; фактор Б – застосування адсорбенту: 1) без адсорбенту, 2) МахіМарін гранульований, 30 кг/га; фактор В – позакореневе підживлення: 1) без підживлення, 2) Гуміфілд, 50 г/га; 3) Гуміфілд, 50 г/га + АміноСтар, 1,0 л/га. Адсорбент вносили за два тижні перед сівбою культури локально в рядки, позакореневе підживлення рослин проводили у фазі кушіння та повторно через два тижні. **Результати.** За результатами досліджень урожайності плантацій проса прутоподібного встановлено, що на четвертий рік вегетації рослини досягли свого піку продуктивності. Якщо на третій рік вегетації продуктивність зростає на 60 % порівняно з другим роком, то на четвертий рік приріст становив лише 8,94 %. Це дає змогу отримувати в середньому 6,25 т/га сухої речовини. Вапнування ґрунту було найбільш ефективним на перший рік вегетації, коли коренева система рослин перебувала в зоні внесення вапна, що сприяло утворенню додаткових 0,12 т/га сухої речовини. На четвертий рік заходи з розкислення ґрунту мали значніший вплив, збільшуючи врожайність на 0,14 т/га. Цей вплив можна пояснити підвищенням рівня зволоження ґрунту в останні два роки, коли кількість опадів зростає до рівня багаторічної норми. На четвертий рік вегетації помітно посилюється вплив усіх агротехнічних заходів на продуктивність плантацій проса прутоподібного. Коренева система рослин активно освоювала верхні шари ґрунту в пошуках вологи та поживних речовин, що посилювало ефект від вапнування та застосування адсорбенту. **Висновки.** Виявлено, що у варіанті вапнування ґрунтів та використання адсорбенту МахіМарін гранульований разом з позакореневим підживленням Гумат калію (Гуміфілд) і антистресантом АміноСтар, урожайність становила 6,87 т/га. У варіанті вапнування ґрунтів, 25 % від потреби, із застосуванням адсорбенту МахіМарін гранульований та позакореневим підживленням, вихід енергії з урожаєм досягав 116,2 ГДж/га. Щодо вмісту клітковини, найкращі показники були отримані за умови використання вапна з адсорбентом МахіМарін гранульований та позакореневим підживленням – 37,1 % у листках та 44,7 % у стеблах. У варіантах з вапнуванням ґрунту вміст золи в листках проса прутоподібного становив 9,54 %, а в стеблах – 2,87 %, що на 1,91 та 1,41 % менше, ніж у варіантах без вапнування. Інші фактори також показували зниження вмісту золи, але в межах похибки досліду. Установлено рівняння множинної регресії для прогнозування врожайності проса прутоподібного залежно від фотосинтетичного потенціалу та чистої продуктивності фотосинтезу: $y = -3,25 + 1,34 \text{ ФП} + 21,0 \text{ ЧПФ}$. Усі коефіцієнти рівняння достовірні на 5 %-му рівні значущості, і воно пояснює майже 98 % варіації залежної змінної.

Ключові слова: вапнування ґрунту; внесення адсорбенту; позакореневе підживлення; урожай сухої речовини; вихід енергії; якість біомаси.

Вступ

Просо прутоподібне – багаторічна трав'яниста рослина із C₄-типом фотосинтезу, що є одним з найбільш придатних джерел сировини для виробництва біопалива [1–4] і має значний потенціал урожайності на різних ділянках і типах ґрунтів [5–7]. Крім того, ця культура має здатність добре рости на маргінальних землях з мінімальними вимогами щодо добрив і пестицидів [8, 9]. У багатьох регіонах ціниться його здатність щорічно формувати декілька врожаїв біомаси за багаторазового її збирання, що дає змогу вважати цю культуру універсальною, придатною до використання як на корм ВРХ, так і для споживання як біоенергетичної сировини [10–15]. Ще однією перевагою проса прутоподібного є те, що його досить просто вирощувати та можна збирати за допомогою обладнання для заготівлі сіна [16, 17].

Отримання високих показників виробництва біопалива вимагає оптимізації виходу біомаси та її якості, що досягається за рахунок створення добрих умов для росту й розвитку рослин проса прутоподібного [3, 18]. Ідеальне біопаливо характеризується мінімальним вмістом вологи, золи, азоту (N), калію (K) і сірки (S) [16, 19]. Компонент золи є вирішальним при оцінюванні придатності біомаси для процесів спалювання [20, 21].

Підвищені концентрації лужних металів і силікатів у золі відіграють вирішальну роль в утворенні шлаку, щільної темної рідкої речовини, що утворюється, коли вихідна сировина піддається спалюванню за підвищених температур. Накопичення шлаку на поверхнях машин, таких як печі, котли та киплячі шари, призводить до забруднення, що перешкоджає рекуперації тепла [22–24]. Ця проблема потенційно може зробити процес спалювання непомірно дорогим.

Привабливість вирощування проса прутоподібного полягає в тому, що його можна використовувати з наявними технологіями переробки та спалювання, для доповнення поточних енергетичних систем. Українською важливо, щоб кінцевий продукт можна було використовувати, не створюючи високих зовнішніх витрат на наявні системи. Адже на кожні 10 г/кг збільшення золи, відбувається зниження теплотворної здатності на 0,2 МДж/кг, що підкреслює важливість оптимізації рівня золи для підтримки ефективного виробництва енергії [25–27].

Зменшення вмісту золи пов'язане з переміщенням рухомих поживних речовин із наземної біомаси до підземних тканин (кореневищ) [3, 17]. Ближче до кінця вегетаційного періоду азот, як правило, циклічно потрапляє в підземні тканини, оскільки рослини перебувають у стані спокою та переміщують поживні речовини, включаючи азот, з наземної поверхні в підземну для подальшого відростання в наступному сезоні [3].

Побутує думка, що за вирощування проса прутоподібного на кислих ґрунтах зростає вміст у сухій масі рослин золи та різних шкідливих мікроелементів. Зокрема, за зниження рН нижче 5,5 різко підвищується доступність алюмінію та марганцю. Їхня концентрація у ґрунтовому розчині може досягти токсичного для культур рівня і відповідно ці елементи легко поглинаються та накопичуються в рослині, а потім – концентруються в золі [28–30].

Отже, дослідження елементів агротехнологій проса прутоподібного в умовах вирощування його на малопродуктивних землях є актуальним питанням, особливо з позицій підвищення якості отримуваної сировини як компонента переробки на біопаливо.

Мета досліджень – установити вплив елементів технології вирощування проса прутоподібного на особливості формування врожайності та якості його біомаси.

Матеріали та методика досліджень

Полеві дослідження проводили на Уладово-Люлинецькій дослідно-селекційній станції Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН упродовж 2019–2022 рр. згідно зі схемою дослідів, наведеною в таблиці 1.

Ґрунт дослідного поля – чорнозем глибокий малогумусний вилугуваний піскуватий середньосуглинковий, що характеризується середньою забезпеченістю мінеральним азотом (нітратний – 16,4 мг/кг та амонійний – 38,7 мг/кг ґрунту). Уміст гумусу в орному шарі (0–

30 см) становить 3,9 %, а забезпеченість рухомим фосфором низька (8,3 мг/кг ґрунту) та підвищена – обмінним калієм (10,3 мг/кг ґрунту). Реакція ґрунтового середовища кисла (рН 5,1), а Нг – 4,2 мг-екв/100 г ґрунту (підвищена). Тому, не зважаючи на сприятливу для вирощування біоенергетичних культур решту чинників живлення ґрунту, значна кислотність призводить до малодоступності рослинам основних елементів живлення та низької схожості насіння.

Таблиця 1

Схема дослід з вирощування проса прутіподібного на маргінальних землях

Розкислення ґрунту	Застосування адсорбенту	Позакореневе підживлення
Без вапнування	Без адсорбенту	Без підживлення
		Гуміфілд, 50 г/га
		Гуміфілд, 50 г/га + АміноСтар, 1,0 л/га
	МахіМарін гранульований, 30 кг/га	Без підживлення
		Гуміфілд, 50 г/га
		Гуміфілд, 50 г/га + АміноСтар, 1,0 л/га
Вапнування, 1,6 т/га	Без адсорбенту	Без підживлення
		Гуміфілд, 50 г/га
		Гуміфілд, 50 г/га + АміноСтар, 1,0 л/га
	МахіМарін гранульований, 30 кг/га	Без підживлення
		Гуміфілд, 50 г/га
		Гуміфілд, 50 г/га + АміноСтар, 1,0 л/га

Погодні умови, що склались в роки проведення польових досліджень, були типовими для зони нестійкого зволоження Лісостепу України, мали відхилення від середньобогаторічних їх значень, однак це не стало на заваді отриманню об'єктивних експериментальних даних.

Площа посівної ділянки 35 м², облікової – 25 м², повторність – триразова. У досліді висівали сорт проса прутіподібного 'Морозко', селекції ІБКіЦБ НААН.

Адсорбент уносили за два тижні перед сівбою проса прутіподібного локально в рядки, позакореневе підживлення рослин проводили у фазі кущіння та повторно через два тижні.

Для визначення стандартної норми застосування вапна [D – норма вапна (CaCO₃), т/га] для розкислення ґрунту проводили розрахунки за формулою: $D = 0,05 \times Hg \times h \times d$. У стандартному повному варіанті застосування потрібно внести: $0,05 \times 4,2 \times 25 \times 1,22 = 6,40$ т/га вапна CaCO₃, а 25 % від потреби становить 1,6 т/га.

Експериментальні дослідження проводили згідно з методиками польового дослідження та спеціальними методиками [31–33].

Результати дослідження

Створення умов для досягнення максимально економічно вигідного врожаю можливе лише шляхом оптимізації технології вирощування проса прутіподібного через раціональне використання всіх факторів. Правильний добір і застосування елементів технології вирощування дає змогу регулювати ріст і розвиток рослин на різних стадіях органогенезу, прискорювати або уповільнювати досягання тощо.

Варто зазначити, що загалом продуктивність проса прутіподібного першого року вегетації була відносно низькою. Зокрема, на контрольних ділянках рослини формували в середньому 1,83–1,85 т/га сухої речовини, а середня по всіх варіантах урожайність становила 2,52 т/га.

Слід зазначити, що розкислення ґрунту не впливало на збільшення врожайності рослин першого року вегетації, і різниця між варіантами з вапнуванням та без нього в середньому становила 0,12 т/га сухої речовини (рис. 1). Для росту й розвитку рослин першого року

РОСЛИННИЦТВО

вегетації запасів поживних речовин, наявних у ґрунтовому розчині, було достатньо, тому зменшення рухомості фосфору та калію за високої кислотності не вплинуло негативно на формування врожайності культури.

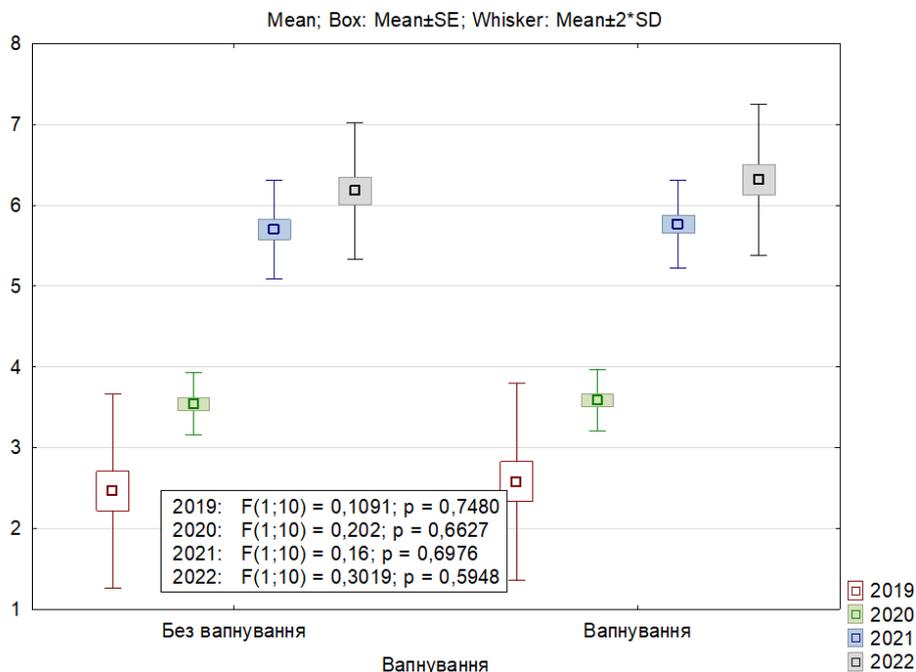


Рис. 1. Урожайність проса прутоподібного за ванування ґрунтів

При внесенні адсорбенту рослини проса прутоподібного отримували додаткову вологу, що було важливим для їх ефективного росту й розвитку, особливо в умовах 2019 року, коли за вегетаційний період випало 352,5 мм опадів за багаторічної норми 397,0 мм. Варіанти з використанням вологоутримувача MaxiMarin забезпечували накопичення в середньому на 1,06 т/га більше сухої маси (рис. 2).

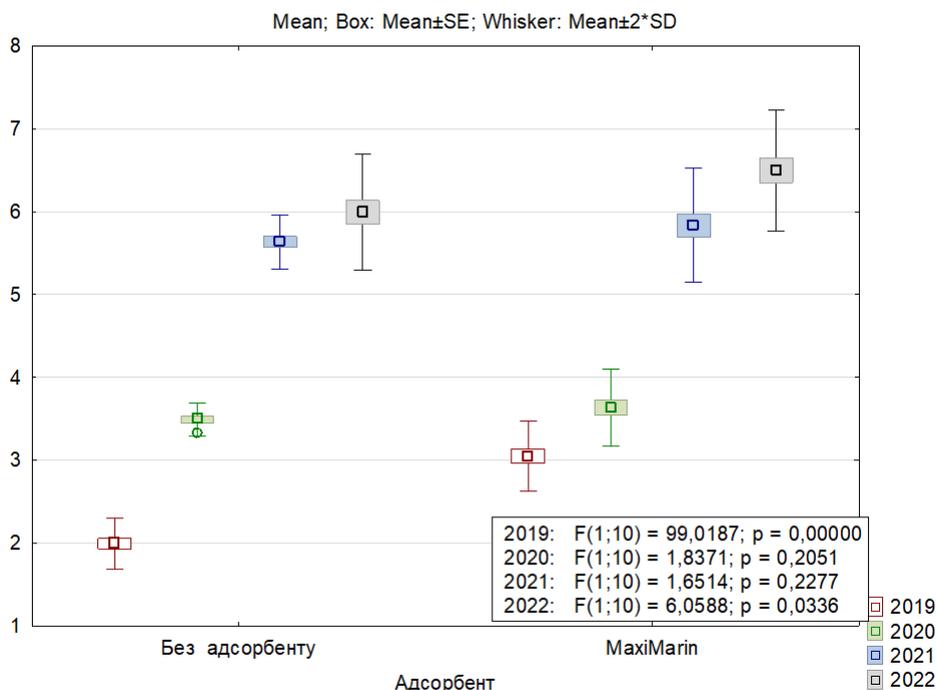


Рис. 2. Урожайність проса прутоподібного за використання вологоутримувача MaxiMarin

Також ми спостерігали позитивний вплив у разі застосування позакореневого удобрення посівів проса прутноподібного препаратами, які стимулюють ростові процеси та зменшують негативний вплив стресів на рослини. У середньому на ділянках з позакореневим підживленням врожайність була на 0,27 т/га вищою (рис. 3).

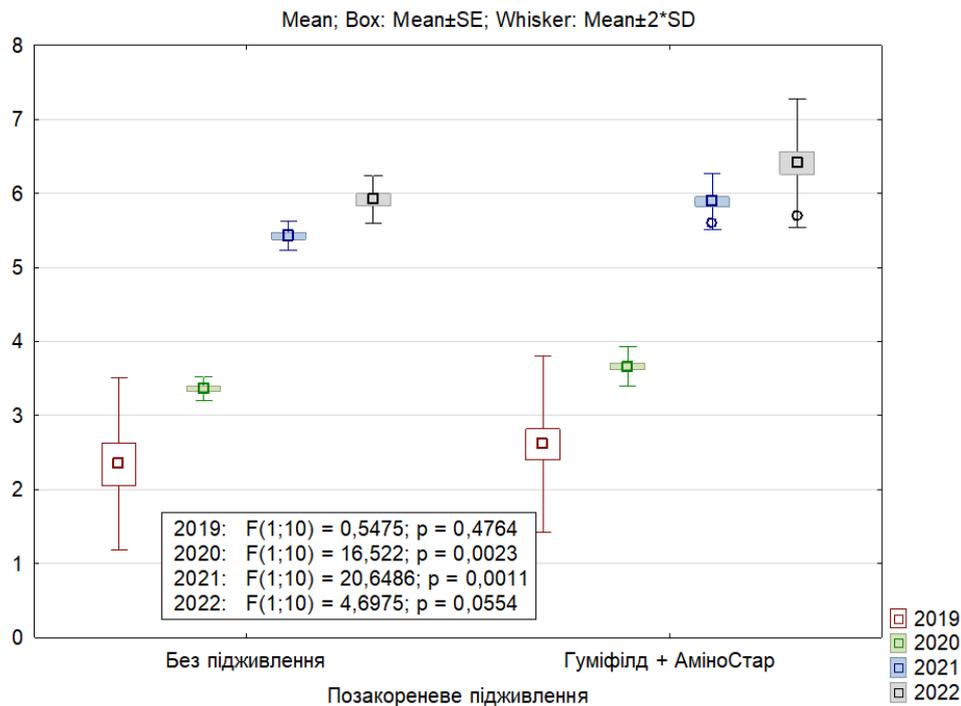


Рис. 3. Урожайність проса прутноподібного за позакореневого підживлення

Максимальні показники врожайності проса прутноподібного були зафіксовані у варіантах з використанням вологоутримувача MaxiMarin у поєднанні з подальшим позакореневим підживленням гуматами. Зокрема, у варіанті з адсорбентом MaxiMarin та позакореневим підживленням Гуміфілд + АміноСтар урожайність становила 3,21–3,36 т/га.

Ми вважаємо, що цей ефект адсорбенту пов'язаний, перш за все, з дефіцитом опадів у вегетаційний період 2019 року, а також з тим, що рослини проса прутноподібного першого року вегетації мали слабо розвинену кореневу систему, яка залежала від доступності ґрунтової вологи. Використання вологоутримувача дає змогу ефективно утримувати капілярну та конденсаційну вологу, забезпечуючи кореневу систему, розташовану у верхньому шарі ґрунту, додатковими кількостями доступної вологи.

Щодо виходу енергії з отриманим урожаєм, то плантації першого року вирощування не можуть використовуватися промислово, але ми розрахували показник для порівняння з даними наступних років вирощування. Як і врожайність на контрольних варіантах досліду, вихід енергії був мінімальним – 30,4–30,5 ГДж/га. Установлено, що різниця між варіантами з вапнуванням та контрольними ділянками становила в середньому 1,84 ГДж/га, що свідчить про незначні відмінності. Отже, дані щодо виходу енергії ідентичні змінам показників врожайності проса прутноподібного першого року вегетації.

Позитивний вплив на зростання виходу енергії з продукцією спостерігався також при застосуванні позакореневого удобрення препаратами, які стимулюють ростові процеси та зменшують негативний вплив стресів на рослини. На ділянках з позакореневим підживленням вихід енергії був вищим на 4,43 ГДж/га.

Варіанти з використанням вологоутримувача MaxiMarin створювали кращі умови для вологозабезпечення рослин проса прутноподібного, що сприяло підвищенню виходу енергії на 17,62 ГДж/га.

Не дивно, що комплексне застосування факторів впливало на формування виходу енергії. У варіанті з адсорбентом MaxiMargin та позакореневим підживленням Гуміфілд + АміноСтар цей показник становив 53,3–55,7 ГДж/га. Кращі умови вологозабезпечення рослин сприяли ефективнішій дії позакореневого підживлення, що допомагало долати стрес від високої кислотності ґрунту.

Розкислення ґрунту та внесення адсорбенту ми здійснювали на початку закладання плантації проса прутюподібного, тому ці фактори мають одноразову пролонговану дію. Оскільки рослини вирощувалися на одному полі й у наступні роки вегетації, а ґрунт не піддавався механічному впливу, який міг би перемістити ці фактори в недосяжні для рослин шари, ефективність їх дії зберігалася. Вапно локально розкислює шар ґрунту і не має терміну дії, а адсорбент працює протягом 10 років, після чого розкладається на сполуки калію. Отже, як вапно, так і вологоутримувач діють протягом усього періоду експлуатації плантації проса прутюподібного і їх вплив зникає лише при переорюванні плантації.

Такі заходи, як позакореневе підживлення, ми застосовували щорічно, оскільки рослини проса прутюподібного щорічно піддавалися негативним факторам навколишнього середовища, а дози застосування препаратів і особливості їх засвоєння рослинами не дозволяють накопичити їх на кілька років наперед.

Під час росту й розвитку рослин проса прутюподібного ми фіксували різні біометричні параметри рослин. Вони закономірно позначилися в особливостях накопичення біомаси та формування врожайності сухої маси, які варто описати детальніше. Продуктивність рослин другого року вегетації є показником загальної продуктивності плантації проса прутюподібного та її тривалої експлуатації в наступні роки.

Загальна продуктивність проса прутюподібного другого року вегетації була на 41 % вищою порівняно з першим роком – 3,56 т/га проти 2,52 т/га. На контрольних варіантах досліді рослини формували в середньому 3,33–3,43 т/га сухої речовини.

Аналогічно попередньому року досліджень, заходи з розкислення ґрунту не мали значного впливу на зміну врожайності, і різниця між варіантами з вапном та без нього становила в середньому лише 0,05 т/га.

На другий рік вегетації рослини проса прутюподібного добре вкорінилися, тому внесення адсорбенту не дало такого приросту врожайності, як у перший рік вегетації в умовах 2019 року. У 2020 році опадів випало 352,1 мм за багаторічної норми 397,0 мм. Варіанти з вологоутримувачем MaxiMargin забезпечили в середньому на 0,14 т/га більше сухої маси порівняно з контрольними варіантами. Потужна коренева система, утворена в перший рік, зіграла свою роль у забезпеченні рослин вологою на другий рік.

У разі застосування позакореневого удобрення препаратами, що стимулюють ростові процеси та зменшують негативний вплив стресів на рослини, ми спостерігали збільшення позитивного ефекту. У середньому на ділянках з позакореневим підживленням урожайність була на 0,30 т/га вищою.

Максимальні показники врожайності проса прутюподібного були зафіксовані за використання вологоутримувача MaxiMargin у поєднанні з позакореневим підживленням гуматами. У варіанті з адсорбентом MaxiMargin та підживленням Гуміфілд + АміноСтар урожайність становила 3,77–3,83 т/га.

Дослідження також показали, що на контрольних варіантах вихід енергії з урожаєм був мінімальним – 55,0–57,3 ГДж/га. Різниця між варіантами з вапнуванням та контрольними варіантами становила в середньому 0,72 ГДж/га, що знаходиться в межах похибки досліді.

Варіанти з вологоутримувачем MaxiMargin забезпечували в середньому на 2,54 ГДж/га більше енергії з плантації другого року вегетації. При позакореневому удобренні препаратами, що стимулюють ростові процеси та зменшують негативний вплив стресів, вихід енергії був на 4,93 ГДж/га вищим.

Отже, за комплексного застосування факторів у варіанті з адсорбентом MaxiMargin та позакореневим підживленням Гуміфілд + АміноСтар, показник виходу енергії був на рівні 63,7–63,8 ГДж/га.

На третій рік вегетації плантації багаторічних біоенергетичних культур переходять з розряду новостворених до комерційно експлуатованих, забезпечуючи достатні обсяги біомаси для подальшої переробки на тверді види палива. У цей час основні процеси формування плантацій завершуються, і ми маємо справу з добре розвиненими рослинами, здатними накопичувати значні кількості біомаси. Важливо оцінити не лише продуктивність плантацій, але і їхню здатність до виробничого використання для отримання якісного біопалива.

Відомо, що агротехнічні операції, спрямовані на закладання плантацій біоенергетичних культур, не завжди ефективні в умовах промислового вирощування. Наприклад, стартові дози мінерального удобрення, які ефективні на початку росту й розвитку, мало дієві при високій потребі рослин в елементах живлення, особливо азоті. Тому слід ретельно вивчати ефективність різних факторів, які впливають на ріст, розвиток та продуктивність багаторічних плантацій проса прутоподібного.

Хоча деякі досліджувані фактори мають одноразове застосування (розкислення ґрунту та внесення адсорбенту), інші – щорічне (позакореневе удобрення), тільки оцінка рівня продуктивності дає змогу всебічно оцінити їхню дієвість.

У середньому по досліді, продуктивність проса прутоподібного третього року вегетації була на 60 % вищою порівняно з другим роком – 5,70 проти 3,56 т/га. На контрольних варіантах врожайність сухої речовини становила в середньому 5,4–5,5 т/га.

Як і в попередні роки, заходи з розкислення ґрунту не мали значного впливу на врожайність проса прутоподібного, забезпечуючи в середньому лише на 0,07 т/га сухої речовини більше. На третій рік вегетації застосування вологоутримувача *MaxiMarin* сприяло утворенню на 0,20 т/га більше сухої речовини порівняно з варіантами без його використання. Позакореневе підживлення збільшило врожайність на 0,46 т/га.

Максимальна врожайність сухої біомаси проса прутоподібного була зафіксована за використання вологоутримувача *MaxiMarin* у поєднанні з позакореневим підживленням гуматами. У варіанті з адсорбентом *MaxiMarin* та підживленням Гуміфілд + АміноСтар врожайність становила 6,1 т/га.

На третій рік вегетації плантації проса прутоподібного показали високу ефективність для виробничого використання, забезпечивши середній вихід енергії з біомаси на рівні 96,1 ГДж/га.

Аналізуючи вплив агротехнічних факторів на енергетичний вихід, найбільш ефективними виявилися застосування адсорбенту, яке підвищило вихід енергії на 3,70 ГДж/га, та позакореневе підживлення – на 7,73 ГДж/га.

Найвищі показники енергетичного виходу з біосировини проса прутоподібного були досягнуті при використанні вологоутримувача *MaxiMarin* у поєднанні з позакореневим підживленням гуматами. Зокрема, застосування адсорбенту *MaxiMarin* та позакореневого підживлення Гуміфілд + АміноСтар забезпечило вихід енергії на рівні 102,4–102,5 ГДж/га.

На четвертий рік вегетації плантації багаторічних біоенергетичних культур продовжували активно зростати, досягнувши стадії, де інтенсивність приросту біомаси почала знижуватися, виходячи на стабільний рівень високої продуктивності. Зростання, характерне для перших років, зменшується, густина посівів і розвиток кореневої системи стають оптимальними, що призводить до посиленої конкуренції між рослинами, які максимально ефективно використовують доступні поживні речовини.

Якщо на третій рік вегетації середня продуктивність проса прутоподібного була на 60 % вищою порівняно з другим роком, то на четвертий рік цей показник збільшився лише на 8,94 %. Практика показує, що в подальшому інтенсивність приросту продуктивності зменшується, і на 6–7 рік експлуатації спостерігається поступове зниження врожайності.

На четвертий рік вегетації на контрольних варіантах досліді рослини проса прутоподібного формували в середньому 5,73–5,83 т/га сухої речовини. Заходи з розкислення ґрунту почали більш суттєво впливати на зміну врожайності, забезпечуючи в середньому на 0,14 т/га більше сухої речовини. Це систематичне, хоча й незначне підсилення

ефекту пов'язане зі збільшенням рівня зволоження за останні два роки. У перші два роки вегетаційного періоду випадало на 44,5 та 44,9 мм опадів менше за багаторічну норму, а у 2021-му різниця становила лише 7,6 мм, а у 2022 році – 13,5 мм. Підвищена вологість ґрунту, ймовірно, підвищила активність кислотності та її вплив на ріст і розвиток рослин.

Роль адсорбенту також посилилася, що пов'язано з активнішим розвитком вторинної кореневої системи у верхніх шарах ґрунту, де знаходяться гранули вологоутримувача і спостерігається нижчий рівень кислотності. Використання вологоутримувача MaxiMarin забезпечило збільшення врожайності на 0,51 т/га.

Крім того, використання позакореневого удобрення традиційно давало добрий результат, збільшуючи врожайність на 0,50 т/га. Рослини потребують дедалі більше поживних речовин, а коренева система освоює нові шари ґрунту, що посилює внутрішньовидову конкуренцію і підвищує ефективність засвоєння позакореневого удобрення з кожним роком.

Аналогічно попереднім рокам досліджень, максимальні показники врожайності сухої біомаси проса прутоподібного були досягнуті за використання вологоутримувача MaxiMarin у поєднанні з подальшим позакореневим підживленням гуматами. Установлено, що у варіанті з вапнуванням ґрунтів, застосуванням адсорбенту MaxiMarin і позакореневим підживленням Гуміфілд + АміноСтар, урожайність становила 6,87 т/га.

На четвертий рік вегетації плантації проса прутоподібного виявились ще більш ефективними для виробничого використання, збільшивши ефективність порівняно з третім роком на 9,72 %. У середньому по досліді вихід енергії з біомасою становив 105,4 ГДж/га. На контрольних варіантах досліді вихід енергії був мінімальним – 97,3 ГДж/га. Різниця між варіантами з вапнуванням та контрольними варіантами становила в середньому 2,20 ГДж/га, що є значною, хоча й знаходиться в межах похибки досліді.

Варіанти із застосуванням вологоутримувача MaxiMarin забезпечували вихід енергії на 8,97 ГДж/га більше, а позакореневе удобрення препаратами, які стимулюють ростові процеси і зменшують негативний вплив стресів на рослини, підвищували показники енерговиходу на 8,36 ГДж/га порівняно з контрольними варіантами.

Найкращі показники виходу енергії з біосировини проса прутоподібного були досягнуті за умов застосування вапнування ґрунту в поєднанні з використанням вологоутримувача MaxiMarin та подальшим позакореневим підживленням гуматами. На варіанті з вапнуванням ґрунту на 25 % від потреби, застосуванням адсорбенту MaxiMarin та позакореневим підживленням Гуміфілд + АміноСтар, вихід енергії з урожаєм становив 116,2 ГДж/га.

Показники визначення якості сухої біомаси рослин проса прутоподібного четвертого року вегетації в умовах 2022 року наведено в таблиці 2.

За результатами оцінки якості сухої речовини проса прутоподібного четвертого року вегетації було виявлено, що в середньому по досліді вміст клітковини в листках становив 33,4 %, а в стеблах – 42,6 %.

Також встановлено, що, як і в попередні роки, вміст клітковини в листках та стеблах залежав від агротехнічних заходів. Вапнування ґрунту підвищило вміст клітковини в листках на 2,39 %, а в стеблах на 1,75 %. Застосування адсорбенту MaxiMarin збільшило цей показник на 1,25 % у листках та на 0,98 % у стеблах, а позакореневе підживлення сприяло підвищенню на 1,02 % та 0,68 % відповідно.

Найкращі показники вмісту клітковини були досягнуті за поєднання застосування адсорбенту MaxiMarin та позакореневого підживлення Гуміфілд з АміноСтар на фоні вапнування ґрунту – 37,1 % у листках та 44,7 % у стеблах.

У середньому по досліді вміст золи в листках рослин четвертого року вегетації становив 10,50 %, а в стеблах – 3,58 %. У варіантах зі внесенням вапна 25 % від потреби, вміст золи в листках зменшився до 9,54 %, а в стеблах – до 2,87 %, що на 1,91 та 1,41 % менше, ніж на контрольних варіантах. Інші фактори також знижували вміст золи, але ці зміни були в межах похибки досліді.

Якість сухої маси рослин проса прутноподібного, % (2022 р.)

Розкислення ґрунту	Застосування адсорбенту	Позакореневе підживлення	Уміст клітковини		Уміст золи	
			в листках	в стеблі	в листках	в стеблі
Без вапнування	Без адсорбенту	Без підживлення	31,5	41,0	12,59	4,48
		Гуміфілд, 50 г/га	31,8	41,4	11,87	4,47
		Гуміфілд, 50 г/га + АміноСтар, 1,0 л/га	32,1	41,6	11,43	4,25
	МахіМарін гранульований, 30 кг/га	Без підживлення	32,3	41,7	11,05	4,39
		Гуміфілд, 50 г/га	32,3	42,1	11,16	4,07
		Гуміфілд, 50 г/га + АміноСтар, 1,0 л/га	33,1	42,4	10,59	4,05
Вапнування, 1,6 т/га	Без адсорбенту	Без підживлення	33,0	42,2	10,47	3,50
		Гуміфілд, 50 г/га	34,0	43,0	10,34	3,33
		Гуміфілд, 50 г/га + АміноСтар, 1,0 л/га	34,2	43,3	9,51	3,16
	МахіМарін гранульований, 30 кг/га	Без підживлення	34,1	43,6	10,28	2,66
		Гуміфілд, 50 г/га	35,2	43,9	9,02	2,57
		Гуміфілд, 50 г/га + АміноСтар, 1,0 л/га	37,1	44,7	7,63	2,02
НІР _{0,05}			5,4	5,7	1,1	0,6

Не можна недооцінювати позитивну роль адсорбенту МахіМарін та позакореневого підживлення Гуміфілд + АміноСтар, які разом з вапнуванням забезпечували найнижчий вміст золи в листках (7,63 %) та стеблах (2,02 %).

Отже, досліджувані технологічні елементи позитивно впливають на якість сировини та зменшують вміст золи, особливо на варіантах з вапнуванням ґрунтів 25 % від потреби, що свідчить про зменшення інтенсивності поглинання деяких металів і їх накопичення в сухій речовині проса прутноподібного.

Окремо слід звернути увагу на закономірності впливу фотосинтетичних показників рослин на формування ними врожайності біомаси. Для цього ми провели визначення регресійних залежностей між урожайністю та показниками фотосинтетичного потенціалу рослин (ФП) (рис. 4) та врожайністю і показниками чистої продуктивності фотосинтезу (ЧФП) (рис. 5).

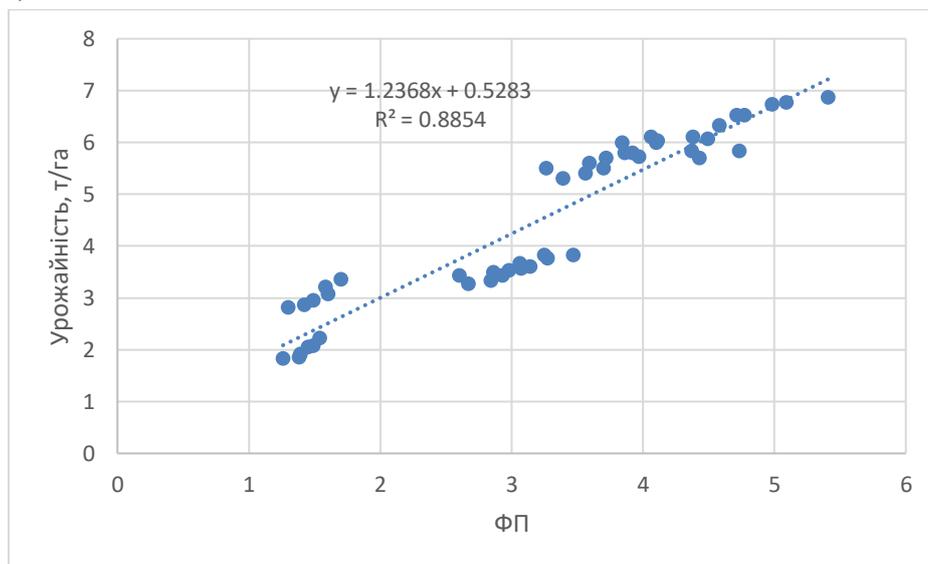


Рис. 4. Рівняння регресії між урожайністю та показниками фотосинтетичного потенціалу проса прутноподібного

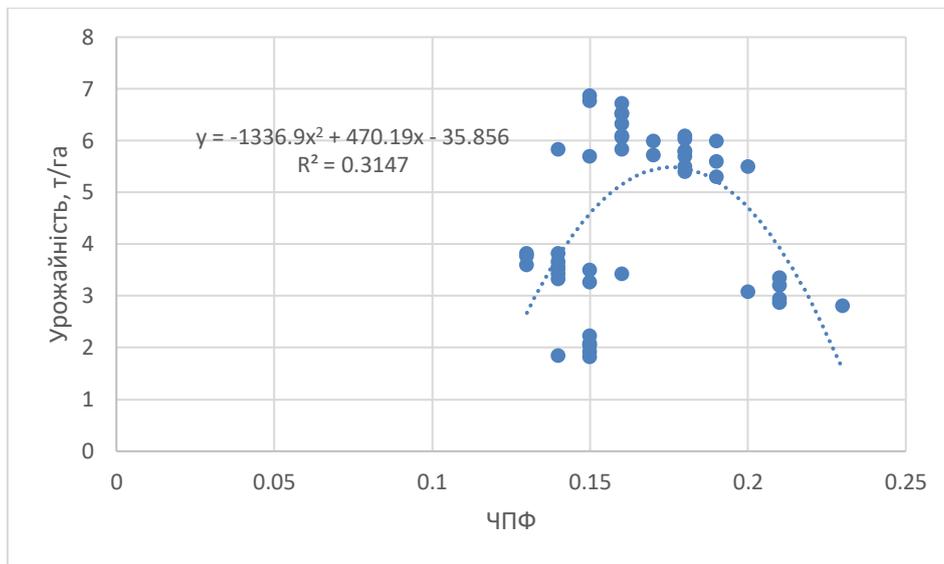


Рис. 5. Рівняння регресії між урожайністю та показниками чистої продуктивності фотосинтезу проса прутіподібного

Як бачимо, між урожайністю та фотосинтетичним потенціалом посівів є досить значна залежність, з коефіцієнтом кореляції 0,94, що вказує на дуже сильний кореляційний зв'язок між цими ознаками. Водночас чиста продуктивність фотосинтезу також впливає на формування врожайності, оскільки цей показник враховує значення накопичення біомаси. Проте, ми не спостерігали очевидної сильної кореляційної залежності.

Зважаючи на особливості впливу вирахованих показників проведемо встановлення множинної регресійної залежності на формування врожайності проса прутіподібного (табл. 3).

Таблиця 3

Результати розрахунків множинної регресії між урожайністю та показниками фотосинтетичного потенціалу та чистої продуктивності фотосинтезу

Показник	Коефіцієнти рівняння	Стандартні помилки β -коефіцієнтів	Коефіцієнти рівняння регресії	Стандартні похибки коефіцієнтів рівняння регресії	t-критерії	Імовірність нульової гіпотези для коефіцієнтів рівняння регресії
Вільний член рівняння	–	–	–3,25	0,21	–15,8	0,00
ФП	1,02	0,02	1,34	0,02	60,6	0,00
ЧПФ	0,33	0,02	21,0	1,068	19,6	0,00

Отже, рівняння множинної регресії по прогнозуванню урожайності проса прутіподібного залежно від показників фотосинтетичного потенціалу та чистої продуктивності фотосинтезу матиме наступний вигляд:

$$y = -3,25 + 1,34 \text{ ФП} + 21,0 \text{ ЧПФ}$$

Усі коефіцієнти рівняння достовірні на 5 %-му рівні значущості ($p\text{-level} < 0,05$). Це рівняння пояснює майже 98 % ($R^2 = 0,98$) варіації залежної змінної.

Висновки

За результатами досліджень урожайності плантацій проса прутіподібного встановлено, що на четвертий рік вегетації рослини досягли свого піку продуктивності. Якщо на третій рік вегетації продуктивність зростає на 60 % порівняно з другим роком, то на четвертий рік приріст становив лише 8,94 %. Це дає змогу отримувати в середньому 6,25 т/га сухої речовини.

Вапнування ґрунту було найбільш ефективним на перший рік вегетації, коли коренева система рослин перебувала в зоні внесення вапна, що сприяло утворенню додаткових 0,12 т/га сухої речовини. На четвертий рік заходи з розкислення ґрунту мали значніший вплив, збільшуючи врожайність на 0,14 т/га. Цей вплив можна пояснити підвищенням рівня зволоження ґрунту в останні два роки, коли кількість опадів зросла до рівня багаторічної норми.

На четвертий рік вегетації помітно посилюється вплив усіх агротехнічних заходів на продуктивність плантацій проса прутіподібного. Коренева система рослин активно освоювала верхні шари ґрунту в пошуках вологи та поживних речовин, що посилювало ефект від вапнування та застосування адсорбенту. Виявлено, що у варіанті вапнування ґрунтів та використання адсорбенту MaxiMargin гранульований разом з позакореневим підживленням Гумат калію (Гуміфілд) і антистресантом АміноСтар, урожайність становила 6,87 т/га.

У варіанті вапнування ґрунтів, 25 % від потреби, із застосуванням адсорбенту MaxiMargin гранульований та позакореневим підживленням, вихід енергії з урожаєм досягав 116,2 ГДж/га.

Щодо вмісту клітковини, найкращі показники були отримані за умови використання вапна з адсорбентом MaxiMargin гранульований та позакореневим підживленням – 37,1 % у листках та 44,7 % у стеблах.

У варіантах з вапнуванням ґрунту вміст золи в листках проса прутіподібного становив 9,54 %, а в стеблах – 2,87 %, що на 1,91 та 1,41 % менше, ніж у варіантах без вапнування. Інші фактори також показували зниження вмісту золи, але в межах похибки досліду.

Установлено рівняння множинної регресії для прогнозування врожайності проса прутіподібного залежно від фотосинтетичного потенціалу та чистої продуктивності фотосинтезу: $y = -3,25 + 1,34 \text{ ФП} + 21,0 \text{ ЧПФ}$. Усі коефіцієнти рівняння достовірні на 5 %-му рівні значущості, і воно пояснює майже 98 % варіації залежної змінної.

Використана література

1. Sadeghpour A., Hashemi M., DaCosta M. et al. Assessing winter cereals as cover crops for weed control in reduced-tillage switchgrass establishment. *Industrial Crops and Products*. 2014. Vol. 62. P. 522–525. doi: 10.1016/j.indcrop.2014.09.027
2. Kumar P., Lai L., Battaglia M. L. et al. Impacts of nitrogen fertilization rate and landscape position on select soil properties in switchgrass field at four sites in the USA. *CATENA*. 2019. Vol. 180. P. 183–193. doi: 10.1016/j.catena.2019.04.028
3. Gurlitsky L. E., Sadeghpour A., Hashemi M. et al. Biomass vs. quality tradeoffs for switchgrass in response to fall harvesting period. *Industrial Crops and Products*. 2015. Vol. 63. P. 311–315. doi: 10.1016/j.indcrop.2014.10.012
4. Kline L., Johnson A., Kim P. et al. Monitoring switchgrass composition to optimize harvesting periods for bioenergy and value-added products. *Biomass and Bioenergy*. 2013. Vol. 56. P. 29–37. doi: 10.1016/j.biombioe.2013.04.023
5. Karlsson S., Åmand L. E., Liske J. Reducing high-temperature corrosion on high-alloyed stainless steel superheaters by co-combustion of municipal sewage sludge in a fluidised bed boiler. *Fuel*. 2015. Vol. 139. P. 482–493. doi: 10.1016/j.fuel.2014.09.007
6. Sanderson M. A., Reed R. L., Ocumpaugh W. R. et al. Switchgrass cultivars and germplasm for biomass feedstock production in Texas. *Bioresource Technology*. 1999. Vol. 67, Iss. 3. P. 209–219. doi: 10.1016/S0960-8524(98)00132-1
7. Ameen A., Liu J., Han L., Xie G. H. Effects of nitrogen rate and harvest time on biomass yield and nutrient cycling of switchgrass and soil nitrogen balance in a semiarid sandy wasteland. *Industrial Crops and Products*. 2019. Vol. 136. P. 1–10. doi: 10.1016/j.indcrop.2019.04.066
8. Kiss Trócsányi Zs., Fieldsend A. F., Wolf D. D. Yield and canopy characteristics of switchgrass (*Panicum virgatum* L.) as influenced by cutting management. *Biomass and Bioenergy*. 2009. Vol. 33, Iss. 3. P. 442–448. doi: 10.1016/j.biombioe.2008.08.014

9. Weidhuner A., Zandvakili O. R., Krausz R. et al. Continuous no-till decreased soil nitrous oxide emissions during corn years after 48 and 50 years in a poorly-drained Alfisol. *Science of The Total Environment*. 2022. Vol. 838, Part 4. Article 156296. doi: 10.1016/j.scitotenv.2022.156296
10. Sanderson M. A., Reed R. L., McLaughlin S. B. et al. Switchgrass as a sustainable bioenergy crop. *Bioresource Technology*. 1996. Vol. 56, Iss. 1. P. 83–93. doi: 10.1016/0960-8524(95)00176-X
11. Bransby D. I. Switchgrass profile. Bioenergy Feedstock Information Network (BFIN), Oak Ridge National Laboratory. 2005. URL: <http://bioenergy.ornl.gov/papers/misc/switchgrass-profile.html>
12. Casler M. D., Boe A. R. Cultivar × environment interactions in switchgrass. *Crop Science*. 2003. Vol. 43, Iss. 6. P. 2226–2233. doi: 10.2135/cropsci2003.2226
13. Cassida K. A., Muir J. P., Hussey M. A. et al. Biofuel component concentrations and yields of switchgrass in South Central US environments. *Crop Science*. 2005. Vol. 45, Iss. 2. P. 682–692. doi: 10.2135/cropsci2005.0682
14. Fuentes R. G., Taliaferro C. M. Biomass yield stability of switchgrass cultivars. *Trends in new crops and new uses* / J. Janick, A. Whipkey (Eds.). Alexandria, VA : ASHS Press, 2002. P. 276–282.
15. Garcia-Ciudad A., Garcia-Criado B., Perez-Corona M. E. et al. Application of near-infrared reflectance spectroscopy to chemical analysis of heterogeneous and botanically complex grassland samples. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 1993. Vol. 63, Iss 4. P. 419–426. doi: 10.1002/jsfa.2740630407
16. Garten C. T., Wullschlegel S. D. Soil carbon dynamics beneath switchgrass as indicated by stable isotope analysis. *Journal of Environmental Quality*. 2000. Vol. 29, Iss. 2. P. 645–653. doi: 10.2134/jeq2000.00472425002900020036x
17. Griffin J. L., Jung G. A. Leaf and stem forage quality of big bluestem and switchgrass. *Agronomy Journal*. 1983. Vol. 75. P. 723–726. doi: 10.2134/agronj1983.00021962007500050002x
18. Hall K. E., George J. R., Riedl R. R. Herbage dry matter yields of switchgrass, big bluestem, and indiagrass with N fertilization. *Agronomy Journal*. 1982. Vol. 74, Iss. 1. P. 47–51. doi: 10.2134/agronj1982.00021962007400010014x
19. Heckathorn S. A., DeLucia H. Retranslocation of shoot nitrogen to rhizomes and roots in prairie grasses may limit loss of N to grazing and fire during drought. *Functional Ecology*. 1996. Vol. 10, Iss. 3. P. 396–400. doi: 10.2307/2390289
20. Heggenstaller A. H., Moore K. J., Liebman M., Anex R. P. Nitrogen influences biomass and nutrient partitioning by perennial, warm-season grasses. *Agronomy Journal*. 2009. Vol. 101, Iss. 6. P. 1363–1371. doi: 10.2134/agronj2008.0225x
21. Jung G. A., Shaffer J. A., Stout W. L. Switchgrass and big bluestem responses to amendments on strongly acid soil. *Agronomy Journal*. 1988. Vol. 80, Iss. 4. P. 669–676. doi: 10.2134/agronj1988.00021962008000040023x
22. Kering M. K., Butler T. J., Biermacher J. T. et al. Effect of potassium and nitrogen fertilizer on switchgrass productivity and nutrient removal rates under two harvest systems on a low potassium soil. *BioEnergy Research*. 2013. Vol. 6, Iss. 1. P. 329–335. doi: 10.1007/s12155-012-9261-8
23. Lee D. K., Owens V. N., Doolittle J. J. Switchgrass and soil carbon sequestration response to ammonium nitrate, manure, and harvest frequency on conservation reserve program land. *Agronomy Journal*. 2007. Vol. 99, Iss. 2. P. 462–468. doi: 10.2134/agronj2006.0152
24. Lemus R., Brummer E. C., Burras C. L. et al. Effects of nitrogen fertilization on biomass yield and quality in large fields of established switchgrass in southern Iowa, USA. *Biomass and Bioenergy*. 2008. Vol. 32. P. 1187–1194. doi: 10.1016/j.biombioe.2008.02.016
25. Lemus R., Brummer E.C., Moore K. J. et al. Biomass yield and quality of 20 switchgrass populations in southern Iowa, USA. *Biomass and Bioenergy*. 2002. Vol. 23. P. 433–442. doi: 10.1016/S0961-9534(02)00073-9

26. Liebig M. A., Kronberg S. L., Gross J. R. Effects of normal and altered cattle urine on short-term greenhouse gas flux from mixed-grass prairie in the Northern Great Plains. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 2008. Vol. 125, Iss. 1–4. P. 57–64. doi: 10.1016/j.agee.2007.11.004
27. McLaughlin S. B., de la Torre Ugarte D. G., Garten C. T. et al. High-value renewable energy from prairie grasses. *Environmental Science & Technology*. 2002. Vol. 36, Iss. 10. P. 2122–2129. doi: 10.1021/es010963d
28. McLaughlin S. B., Kszos L. A. Development of switchgrass (*Panicum virgatum*) as a bioenergy feedstock in the United States. *Biomass and Bioenergy*. 2005. Vol. 28, Iss. 6. P. 515–535. doi: 10.1016/j.biombioe.2004.05.006
29. McLaughlin S. B., Samson R., Bransby D., Wiselugel A. Evaluating physical, chemical, and energetic properties of perennial grasses as biofuels. *Abstracts of BioEnergy'96 - The Seventh National Bioenergy Conference: partnerships to develop and apply biomass technologies* (Nashville, TN, September 15–20, 1996). Nashville, TN.
30. McLaughlin S. B., Walsh M. E. Evaluating environmental consequences of producing herbaceous crops for bioenergy. *Biomass and Bioenergy*. 1998. Vol. 14, Iss. 4. P. 317–324. doi: 10.1016/S0961-9534(97)10066-6
31. Присяжнюк О. І., Климович Н. М., Полуніна О. В. та ін. Методологія і організація наукових досліджень у сільському господарстві та харчових технологіях. Київ : Нілан-ЛТД, 2021. 300 с.
32. Ермантраут Е. Р., Присяжнюк О. І., Шевченко І. Л. Статистичний аналіз агрономічних дослідних даних в пакеті Statistica 6.0: методичні вказівки. Київ : ПоліграфКонсалтинг, 2007. 56 с.
33. Фучило Я. Д., Сінченко В. М., Ганженко О. М. та ін. Методологія дослідження енергетичних плантацій верб і тополь / за ред В. М. Сінченка. Київ : Логос, 2018. 240 с.

References

1. Sadeghpour, A., Hashemi, M., DaCosta, M., Gorklitsky, L. E., Jahanzad, E., & Herbert, S. J. (2014). Assessing winter cereals as cover crops for weed control in reduced-tillage switchgrass establishment. *Industrial Crops and Products*, 62, 522–525. doi: 10.1016/j.indcrop.2014.09.027
2. Kumar, P., Lai, L., Battaglia, M. L., Kumar, S., Owens, V., Fike, J., ... Viands, D. (2019). Impacts of nitrogen fertilization rate and landscape position on select soil properties in switchgrass field at four sites in the USA. *CATENA*, 180, 183–193. doi: 10.1016/j.catena.2019.04.028
3. Gorklitsky, L. E., Sadeghpour, A., Hashemi, M., Etemadi, F., & Herbert, S. J. (2015). Biomass vs. quality tradeoffs for switchgrass in response to fall harvesting period. *Industrial Crops and Products*, 63, 311–315. doi: 10.1016/j.indcrop.2014.10.012
4. Lindsey, K., Johnson, A., Kim, P., Jackson, S., & Labbé, N. (2013). Monitoring switchgrass composition to optimize harvesting periods for bioenergy and value-added products. *Biomass and Bioenergy*, 56, 29–37. doi: 10.1016/j.biombioe.2013.04.023
5. Karlsson, S., Åmand, L. E., & Liske, J. (2015). Reducing high-temperature corrosion on high-alloyed stainless steel superheaters by co-combustion of municipal sewage sludge in a fluidised bed boiler. *Fuel*, 139, 482–493. doi: 10.1016/j.fuel.2014.09.007
6. Sanderson, M. A., Reed, R. L., Ocumpaugh, W. R., Hussey, M. A., Van Esbroeck, G., Read, J. C., ... Hons, F. M. (1999). Switchgrass cultivars and germplasm for biomass feedstock production in Texas. *Bioresource Technology*, 67(3), 209–219. doi: 10.1016/S0960-8524(98)00132-1
7. Ameen, A., Liu, J., Han, L., & Xie, G. H. (2019). Effects of nitrogen rate and harvest time on biomass yield and nutrient cycling of switchgrass and soil nitrogen balance in a semiarid sandy wasteland. *Industrial Crops and Products*, 136, 1–10. doi: 10.1016/j.indcrop.2019.04.066
8. Kiss Trócsányi, Zs., Fieldsend, A. F., & Wolf, D. D. (2009). Yield and canopy characteristics of switchgrass (*Panicum virgatum* L.) as influenced by cutting management. *Biomass and Bioenergy*, 33(3), 442–448. doi: 10.1016/j.biombioe.2008.08.014

9. Weidhuner, A., Zandvakili, O. R., Krausz, R., Crittenden, S. J., Deng, M., Hunter, D., & Sadeghpour, A. (2022). Continuous no-till decreased soil nitrous oxide emissions during corn years after 48 and 50 years in a poorly-drained Alfisol. *Science of The Total Environment*, 838(4), Article 156296. doi: 10.1016/j.scitotenv.2022.156296
10. Sanderson, M. A., Reed, R. L., McLaughlin, S. B., Wullschleger, S. D., Conger, B. V., Parrish, D. J., ... Tischler, C. R. (1996). Switchgrass as a sustainable bioenergy crop. *Bioresource Technology*, 56(1), 83–93. doi: 10.1016/0960-8524(95)00176-X
11. Bransby, D. I. (2005). *Switchgrass profile*. *Bioenergy Feedstock Information Network (BFIN), Oak Ridge National Laboratory*. Retrieved from <http://bioenergy.ornl.gov/papers/misc/switchgrass-profile.html>
12. Casler, M. D., & Boe, A. R. (2003). Cultivar × environment interactions in switchgrass. *Crop Science*, 43(6), 2226–2233. doi: 10.2135/cropsci2003.2226
13. Cassida, K. A., Muir, J. P., Hussey M. A. et al. Biofuel component concentrations and yields of switchgrass in South Central US environments. *Crop Science*, 45(2), 682–692. doi: 10.2135/cropsci2005.0682
14. Fuentes, R. G., & Taliaferro, C. M. (2002). Biomass yield stability of switchgrass cultivars. In J. Janick, & A. Whipkey (Eds.), *Trends in new crops and new uses* (pp. 276–282). Alexandria, VA: ASHS Press.
15. García-Ciudad, A., García-Criado, B., Pérez-Corona, M. E., De Aldana, B. R. V., & Ruano-Ramos, A. M. (1993). Application of near-infrared reflectance spectroscopy to chemical analysis of heterogeneous and botanically complex grassland samples. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 63(4), 419–426. doi: 10.1002/jsfa.2740630407
16. Garten, C. T., & Wullschleger, S. D. (2000). Soil carbon dynamics beneath switchgrass as indicated by stable isotope analysis. *Journal of Environmental Quality*, 29(2), 645–653. doi: 10.2134/jeq2000.00472425002900020036x
17. Griffin, J. L., & Jung, G. A. (1983). Leaf and stem forage quality of big bluestem and switchgrass. *Agronomy Journal*, 75, 723–726. doi: 10.2134/agronj1983.00021962007500050002x
18. Hall, K. E., George, J. R., & Riedl, R. R. (1982). Herbage dry matter yields of switchgrass, big bluestem, and indiagrass with N fertilization. *Agronomy Journal*, 74(1), 47–51. doi: 10.2134/agronj1982.00021962007400010014x
19. Heckathorn, S. A., & DeLucia, H. (1996). Retranslocation of shoot nitrogen to rhizomes and roots in prairie grasses may limit loss of N to grazing and fire during drought. *Functional Ecology*, 10(3), 396–400. doi: 10.2307/2390289
20. Heggenstaller, A. H., Moore, K. J., Liebman, M., & Anex, R. P. (2009). Nitrogen influences biomass and nutrient partitioning by perennial, warm-season grasses. *Agronomy Journal*, 101(6), 1363–1371. doi: 10.2134/agronj2008.0225x
21. Jung, G. A., Shaffer, J. A., & Stout, W. L. (1988). Switchgrass and big bluestem responses to amendments on strongly acid soil. *Agronomy Journal*, 80(4), 669–676. doi: 10.2134/agronj1988.00021962008000040023x
22. Kering, M. K., Butler, T. J., Biermacher J. T. et al. Effect of potassium and nitrogen fertilizer on switchgrass productivity and nutrient removal rates under two harvest systems on a low potassium soil. *BioEnergy Research*, 6(1), 329–335. doi: 10.1007/s12155-012-9261-8
23. Lee, D. K., Owens, V. N., & Doolittle, J. J. (2007). Switchgrass and soil carbon sequestration response to ammonium nitrate, manure, and harvest frequency on conservation reserve program land. *Agronomy Journal*, 99(2), 462–468. doi: 10.2134/agronj2006.0152
24. Lemus, R., Charles Brummer, E., Lee Burras, C., Moore, K. J., Barker, M. F., & Molstad, N. E. (2008). Effects of nitrogen fertilization on biomass yield and quality in large fields of established switchgrass in southern Iowa, USA. *Biomass and Bioenergy*, 32, 1187–1194. doi: 10.1016/j.biombioe.2008.02.016
25. Lemus, R., Brummer, E. C., Moore, K. J., Molstad, N. E., Burras, C. L., & Barker, M. F. (2002). Biomass yield and quality of 20 switchgrass populations in southern Iowa, USA. *Biomass and Bioenergy*, 23, 433–442. doi: 10.1016/S0961-9534(02)00073-9

26. Liebig, M. A., Kronberg, S. L., & Gross, J. R. (2008). Effects of normal and altered cattle urine on short-term greenhouse gas flux from mixed-grass prairie in the Northern Great Plains. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 125(1–4), 57–64. doi: 10.1016/j.agee.2007.11.004
27. McLaughlin, S. B., de la Torre Ugarte, D. G., Garten, C. T., Lynd, L. R., Sanderson, M. A., Tolbert, V. R., & Wolf, D. D. (2002). High-value renewable energy from prairie grasses. *Environmental Science & Technology*, 36(10), 2122–2129. doi: 10.1021/es010963d
28. McLaughlin, S. B., & Kszos, L. A. (2004). Development of switchgrass (*Panicum virgatum*) as a bioenergy feedstock in the United States. *Biomass and Bioenergy*, 28(6), 515–535. doi: 10.1016/j.biombioe.2004.05.006
29. McLaughlin, S. B., Samson, R., Bransby, D., & Wiselogel, A. (1996). Evaluating physical, chemical, and energetic properties of perennial grasses as biofuels. In *Abstracts of BioEnergy'96 – The Seventh National Bioenergy Conference: partnerships to develop and apply biomass technologies* (Nashville, TN, September 15–20, 1996). Nashville, TN.
30. McLaughlin, S. B., & Walsh, M. E. (1998). Evaluating environmental consequences of producing herbaceous crops for bioenergy. *Biomass and Bioenergy*, 14(4), 317–324. doi: 10.1016/S0961-9534(97)10066-6
31. Prysiashniuk, O. I., Klymovych, N. M., Polunina, O. V., Yevchuk, Ya. V., Tretiakova, S. O., Kononenko, L. M., Voitovska, V. I., & Mykhailovyn, Yu. M. (2021). *Methodology and organization of scientific research in agriculture and food technologies*. Kyiv: Nilan-LTD. [In Ukrainian]
32. Ermantraut, E. R., Prysiashniuk, O. I., & Shevchenko, I. L. (2007). *Statistical analysis of agronomic study data in the Statistica 6.0 software suite*. Kyiv: PolihrafKonsaltnh. [In Ukrainian]
33. Fuchylo, Ya. D., Sinchenko, V. M., Hanzhenko, O. M., Humentyk, M. Ya., Pyrkin, V. M., Prysiashniuk, O. I., ... Tkachenko, A. M. (2018). *Research methodology of willow and poplar energy plantations*. V. M. Sinchenko (Ed.). Kyiv: Lohos. [In Ukrainian]

UDC 633.9:631.54

Prysiashniuk, O. I.^{1*}, Musich, V. V.¹, Kostyna, T. P.², Kononiuk, N. O.¹, Cherniak, M. O.¹, Honcharuk, O. M.¹, & Kachura, Ye. V.³ (2023). Yield and quality of switchgrass in a long-term experiment on low-productive soils in the Right Bank Forest Steppe of Ukraine. *Scientific Papers of the Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet*, 31, 110–125. [In Ukrainian]

¹*Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet NAAS of Ukraine, 25 Klinichna St., Kyiv, 03110, Ukraine, *e-mail: ollpris@gmail.com*

²*LLC BASF T.O.V., 19 Mykola Mikhnovskiy Blvd., Kyiv, 01042, Ukraine*

³*Institute of Agroecology and Environmental Management, NAAS of Ukraine, 12 Metrolohichna St., Kyiv, 03143, Ukraine*

Purpose. To establish the influence of the elements of the cultivation technology on the yield and quality of switchgrass biomass. **Methods.** The research was conducted in 2019–2022 at the Uladivske-Liulyntsi Experimental and Breeding Station of the Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet of the National Academy of Agrarian Sciences according to generally accepted methods. Switchgrass variety ‘Morozko’ was grown according to a three-factor field experiment design: factor A: soil deoxidation: 1) without liming, 2) application of lime, 1.6 t/ha; factor B: adsorbent: 1) without adsorbent, 2) application of MaxiMarin granulated, 30 kg/ha; factor B: foliar feeding: 1) without feeding, 2) foliar application of Humifield, 50 g/ha, 3) Gumifield, 50 g/ha + AminoStar, 1.0 l/ha. The adsorbent was introduced two weeks before sowing the crop locally in the rows. Foliar application of fertilizers was carried out in the tillering stage and repeated after two weeks. **Results.** According to the results of research on the productivity of switchgrass plantations, it was established that the plants reached their peak productivity in the fourth year of vegetation. If in the third year of cultivation, productivity increased by 60% compared to the second year. In the fourth year, the increase was only 8.94%. This makes it possible to obtain a yield of dry matter of

6.25 t/ha. Soil liming was most effective in the first year of vegetation, when the root system of plants was in the lime application zone, which contributed to the formation of an additional 0.12 t/ha of dry matter. In the fourth year, measures to deoxidize the soil had a more significant impact, increasing the yield by 0.14 t/ha. This effect can be explained by an increase in the level of soil moisture in the last two years, when the amount of precipitation increased to the level of the multi-year rate. In the fourth year of vegetation, the influence of all agrotechnical measures on the productivity of switchgrass plantations increased significantly. The root system of plants actively used the upper soil layers to uptake moisture and nutrients, which increased the effect of liming and the adsorbent. **Conclusions.** It was found that combined application of lime and adsorbent MaxiMarin to the soil and foliar application of Humate potassium (Humifield) and the anti-stressor AminoStar, the yield of switchgrass was 6.87 t/ha. In the treatment with soil liming (25% of the need), adsorbent and foliar application of fertilizers, the yield of energy from biomass reached 116.2 GJ/ha. Regarding fiber content, the best results were obtained in the treatment with lime, adsorbent, and foliar feeding: 37.1% in leaves and 44.7% in stems. In the treatment with soil liming, the ash content in the leaves of switchgrass was 9.54%, and in the stems, it was 2.87%, which is 1.91 and 1.41% less than in the treatment without liming. Other factors also provided a decrease in ash content; however, within experimental error. A multiple regression equation was established for predicting the yield of switchgrass depending on the photosynthetic potential and the net productivity of photosynthesis: $y = -3.25 + 1.34 PP + 21.0 NPP$. All coefficients of the equation are significant at the 5% level of significance, and it explains almost 98% of the variation in the dependent variable.

Keywords: soil liming; application of adsorbent; foliar application of fertilizers; dry matter yield; energy yield; biomass quality.

Надійшла / Received 16.11.2023

Погоджено до друку / Accepted 30.11.2023

**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 31

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

Підписано до друку __. __.2023
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