

JOURNAL OF APPLIED RESEARCH VOL. 20, No 1 '2024

PLANT VARIETIES STUDYING

AND PROTECTION

PRINT ISSN 2518-1017
ONLINE ISSN 2518-7457

VARIETY STUDYING
AND VARIETY SCIENCE

BREEDING AND SEED
PRODUCTION

GENETICS

PLANT PHYSIOLOGY

PLANT PRODUCTION

НАУКОВО-ПРАКТИЧНИЙ ЖУРНАЛ Т. 20, № 1 '2024

PLANT VARIETIES STUDYING AND PROTECTION

ISSN 2518-1017

Журнал — фаховий

Наказ МОН України № 975 від 11 липня 2019 р.
(сільськогосподарські та біологічні науки)

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ

С. М. Каленська (головний редактор)

Д. Б. Рахметов (заступник головного редактора)

В. І. Файт (заступник головного редактора)

С. І. Мельник (шеф-редактор)

Н. В. Лещук (відповідальний секретар)

М. З. Антонюк

Б. Барнабас (Угорщина)

Я. Бріндза (Словацька Республіка)

Р. А. Вожегова

Н. Е. Волкова

О. В. Галаєв

Б. В. Дзюбецький

О. В. Дубровна

Є. Л. Кордюм

В. М. Меженський

В. В. Моргун

О. І. Моргунов (Туреччина)

Л. М. Присяжнюк

О. І. Присяжнюк

О. І. Рибалка

Р. Роса (Республіка Польща)

В. М. Соколов

Б. В. Сорочинський

С. М. Хоменко

С. В. Чеботар

В. Ю. Черчель

В. В. Швартау



УКРАЇНСЬКИЙ ІНСТИТУТ
ЕКСПЕРТИЗИ СОРТІВ РОСЛИН

СЕЛЕКЦІЙНО-ГЕНЕТИЧНИЙ
ІНСТИТУТ – НАЦІОНАЛЬНИЙ ЦЕНТР
НАСІННЄЗНАВСТВА
ТА СОРТОВИВЧЕННЯ НААН
ІНСТИТУТ ФІЗІОЛОГІЇ РОСЛИН
І ГЕНЕТИКИ НАН УКРАЇНИ

Журнал виходить чотири рази на рік
Заснований у 2005 р.

Ідентифікатор медіа
R 30-01984

За достовірність викладених
у публікаціях фактів відповідають
автори

Рекомендовано до друку
Вченою радою Українського інституту
експертизи сортів рослин
(Протокол № 5 від 28.03.2024)

Адреса редакційної колегії:
Український інститут
експертизи сортів рослин,
вул. Горіхуватський шлях, 15,
м. Київ, 03041, Україна

<http://journal.sops.gov.ua>
e-mail: journal@sops.gov.ua
Тел.: +38 044 290-40-45

Науковий редактор Б. В. Сорочинський
Технічний редактор О. Ю. Половинчук
Літературний редактор А. І. Сидорчук
Комп'ютерне верстання А. І. Бойко

Підписано до друку 05.04.2024
Формат 60×84 1/8. Папір офсетний.
Ум.-др. арк.
Наклад 50 прим. Зам.

Друкарня
ТОВ «ТВОРИ»
вул. Немирівське шосе, 62а,
м. Вінниця, 21034, Україна
Тел.: 0(800) 33-00-90
e-mail: info@tvoru.com.ua
<http://www.tvoru.com.ua>

Передплатний індекс 89273

ISSN 2518–1017

Мова видання:
українська, англійська

© Український інститут експертизи
сортів рослин, оформлення, оригінал-
макет, 2024

© Селекційно-генетичний інститут –
Національний центр насіннєзнавства
та сортівивчення, 2024

© Інститут фізіології рослин і генетики
НАН України, 2024

Journal – specialized publications

Order of the Ministry of Education and Science of Ukraine
No. 975 as of July 11, 2019
(agricultural and biological sciences)

EDITORIAL BOARD

S. Kalenska (Head editor)

D. Rakhmetov (Deputy leading editor)

V. Fait (Deputy leading editor)

S. Melnyk (Editor-in-Chief)

N. Leshchuk (Executive Secretary)

M. Antonyuk

B. Barnabas (Hungary)

J. Brindza (Slovak Republic)

R. Vozhehova

N. Volkova

O. Halaiev

B. Dziubetskyi

O. Dubrovna

Y. Kordium

V. Mezhenyskyi

V. Morhun

A. Morgunov (Turkey)

R. Rosa (Poland)

L. Prysiazhniuk

O. Prysiazhniuk

O. Rybalka

V. Sokolov

B. Sorochnyskyi

S. Khomenko

S. Chebotar

V. Cherchel

V. Shvartau



UKRAINIAN INSTITUTE FOR PLANT
VARIETY EXAMINATION

PLANT BREEDING & GENETICS
INSTITUTE – NATIONAL CENTER
OF SEEDS AND CULTIVAR
INVESTIGATION

INSTITUTE OF PLANT PHYSIOLOGY
AND GENETICS, NATIONAL ACADEMY
OF SCIENCES OF UKRAINE

Published 4 times a year

Media identifier
R 30-01984

The authors are responsible for the
reliability of the information in the
materials published in the Journal

Recommended for publication by
Academic Board of the Ukrainian
Institute for Plant Variety Examination
(Record No. 5, 28.03.2024)

Editorial Board contacts:
Ukrainian Institute for Plant Variety
Examination,
15 Horihuvatskyi shliakh St.,
Kyiv 03041, Ukraine

<http://journal.sops.gov.ua/>
e-mail: journal@sops.gov.ua
Phone: +38 044 290-40-45

Science editor	B. V. Sorochnyskyi
Technical editor	O. Yu. Polovynchuk
Literary editor	A. I. Sydoruk
Computer-aided makeup	A. I. Boyko

Signed to print 05.04.2024
Format 60×84 1/8. Offset Paper.
Conventional printed sheet.
50 numbers of copies.

Printing office
LLC «TVORY»
62a Nemyrivske highway
Vinnytsia 21034, Ukraine
Phone: 0(800) 33-00-90
e-mail: info@tvoru.com.ua
<http://www.tvoru.com.ua>

Ukrainian subscription index
of the print version: 89273
ISSN 2518–1017

Languages of publication:
Ukrainian, English

© Ukrainian Institute for Plant Variety
Examination, formatting, makeup, 2024

© Plant Breeding & Genetics Institute –
National Center of Seeds and Cultivar
Investigation, 2024

© Institute of Plant Physiology and
Genetics, National Academy of Sciences
of Ukraine, 2024

ЗМІСТ

СОРТОВИВЧЕННЯ ТА СОРТОЗНАВСТВО

Кіщак О. А., Слободянюк А. В.
Добір запилювачів для перспективних великоплідних сортів черешні *Cerasus avium* (L.) Moenh в умовах Лісостепу

Рудник-Іващенко О. І., Гаєвський О. В.
Морфологія генеративних органів сортотразків *Morus alba* L., інтродукованих в умовах Лісостепу України

СЕЛЕКЦІЯ ТА НАСІННИЦТВО

Ільченко А. С., Вареник Б. Ф., Карапіра С. І.
Селекційна оцінка нових самозаплених ліній соняшнику (*Helianthus annuus* L.), стійких до гербіцидів групи сульфонілсечовин та несправжньої борошнистої роси [*Plasmopara halstedii* (Farl.) Berl. et. de Toni]

Кондратенко С. І., Самовол О. П., Сергієнко О. В., Ткалич Ю. В., Марусяк А. О.
Оцінка потенціалу продуктивності ліній баклажана, створених на основі міжвидової гібридизації та гаметної селекції

ГЕНЕТИКА

Волкова Н. Е.
Генноредаговані рослини: досягнення та перспективи (огляд)

ФІЗІОЛОГІЯ РОСЛИН

Венедиктова Т. В., Заїменко Н. В., Скрипченко Н. В.
Сумісність *Actinidia arguta* з рослинами *Schisandra chinensis* і *Malus domestica* у змішаних насадженнях

РОСЛИННИЦТВО

Києнко З. Б., Дутова Г. А., Руденко О. А., Сонець Т. Д., Таганцова М. М., Макаrchuk Б. М.
Дослідження стабільності показника продуктивності сортів сорго зернового (*Sorghum bicolor* L.) в умовах Лісостепу

Заїма О. А., Дергачов О. Л., Сіроштан А. А., Правдзіва І. В., Хоменко Т. М.
Урожайність та якість зерна пшениці озимої за різних технологій вирощування

Кирилчук А. М., Дутова Г. А., Гринів С. М., Орленко О. Б., Безпрозвана І. В., Кулик Т. Є., Макаrchuk Б. М.
Пластичність нових сортів пшениці м'якої озимої (*Triticum aestivum* L.) за врожайністю в різних ґрунтово-кліматичних умовах України

CONTENTS

VARIETY STUDYING AND VARIETY SCIENCE

Kishchak O. A., Slobodianiuk A. V.
4 Selection of pollinators for promising large-fruited varieties of sweet cherry *Cerasus avium* (L.) Moenh in Forest-Steppe conditions

Rudnyk-Ivashchenko O. I., Haievskiy O. V.
13 Morphology of generative organs of *Morus alba* L. cultivars introduced in the conditions of the Forest Steppe of Ukraine

BREEDING AND SEED PRODUCTION

Ilchenko A. S., Varenyk B. F., Karapira S. I.
19 Selection evaluation of new self-pollinated sunflower (*Helianthus annuus* L.) lines with resistance to sulfonylurea herbicides and downy mildew [*Plasmopara halstedii* (Farl.) Berl. et. de Tony]

Kondratenko S. I., Samovol O. P., Serhiienko O. V., Tkalych Yu. V., Marusyak A. O.
26 Evaluation of the productivity potential of eggplant lines developed on the basis of interspecific hybridisation and gametic breeding

GENETICS

Volkova N. E.
34 Gene-edited plants: achievements and prospects (review)

PLANT PHYSIOLOGY

Venediktova T. V., Zaimenko N. V., Skrypchenko N. V.
39 Compatibility of *Actinidia arguta* with *Schisandra chinensis* and *Malus domestica* plants in mixed plantings

PLANT PRODUCTION

Kyienko Z. B., Dutova H. A., Rudenko O. A., Sonets T. D., Tahantsova M. M., Makarchuk B. M.
45 Study on the stability of the productivity index of sorghum (*Sorghum bicolor* L.) varieties under Forest-Steppe conditions

Zaima O. A., Derhachov O. L., Siroshstan A. A., Pravdziva I. V., Khomenko T. M.
51 Yield and quality of winter wheat grain under different cultivation technologies

Kyrylchuk A. M., Dutova H. A., Hryniv S. M., Orlenko O. B., Bezprozvana I. V., Kulyk T. Ye., Makarchuk B. M.
58 Yield plasticity of new varieties of soft winter wheat (*Triticum aestivum* L.) in different soil and climatic conditions of Ukraine

Добір запилювачів для перспективних великоплідних сортів черешні *Cerasus avium* (L.) Moench в умовах Лісостепу

О. А. Кіщак*, А. В. Слободянюк

Інститут садівництва НААН України, вул. Садова, 23, с. Новосілки, Київська обл., 03027, Україна,
*e-mail: cherry0308@ukr.net

Мета. Добір ефективних запилювачів для перспективних великоплідних сортів черешні в Лісостепу України. **Методи.** У процесі досліджень використовували польовий, лабораторний та аналітичний методи. Життєздатність пилку та самоплідність визначали у 29 сортів різних строків досягання. Для групи середньопізніх і пізніх ('Крупноплідна', 'Талісман', 'Stark Hardy Giant', 'Анонс', 'Темпоріон', 'Зодіак', 'Аннушка', 'Аншлаг' та 'Regina') добирали запилювачі. Обліки виконували відповідно до затверджених науково-методичних рекомендацій. **Результати.** У групі ранніх найвищу якість пилку (77,9%) формував сорт 'Валерій Чкалов'; серед сортів середнього строку досягання – 'Талісман' (контроль) (87,3%), 'Ярославна' (78,8%) та 'Мелітопольська мирна' (86,7%); середньопізніх і пізніх – 'Drogan's grosse gelbe', 'Kordia', 'Regina', 'Зодіак' та 'Аннушка' (80,9–88,0%). Одержання повноцінного врожаю в усіх досліджуваних сортах гарантовано лише за умови перехресного запилення. Найвищий рівень зав'язування плодів (47,9–56,1%) у 'Талісмана', 'Темпоріона', 'Stark Hardy Giant' та 'Аншлаг' був завдяки пилку сорту 'Крупноплідна'. **Висновки.** Встановлено універсальність сорту 'Дончанка' як запилювача. За його використання зав'язування плодів стосовно вільного запилення становило 111,2–148,8%. 'Крупноплідна' та 'Stark Hardy Giant' виявилися взаємозапилювальними та ефективними запилювачами для переважної більшості сортів. Сорт 'Regina' найліпше запилювали 'Дончанка' та 'Drogan's grosse gelbe' із зав'язуванням плодів 24–26,6%, або 134,8–149,4% проти контролю.

Ключові слова: продуктивність; життєздатність пилку; ефективність запилення; сучасний сортимент; зав'язування плодів.

Вступ

Оптимальний і ретельний добір високопродуктивних та адаптивних сортів є ключовим аспектом для забезпечення значної продуктивності насаджень черешні у процесі її промислового вирощування. Через суттєву зміну вимог глобальних торговельних мереж до товарної якості плодів (зокрема, перевагу віддають тим, що мають діаметр понад 30 мм) відбувається радикальне оновлення промислового сортименту цієї породи.

Більшість сортів черешні характеризуються самобезплідністю, тому питання пошуку ефективних запилювачів для них все частіше постає в різних країнах. А саме: 'Geçkiraz', 'Vista' – для '0900 Ziraat' (основний промисло-

вий сорт Туреччини, створений ще в XIX ст.) [1–3]; 'Soraty Lavasan', 'Shabestar' та 'Napoleon' – для 'Siah Mashad' (найважливіший комерційний сорт в Ірані) [4].

Натепер у країнах ЄС є гостра проблема перехресної стерильності сортів черешні, коли через інбредну депресію за перехресного запилення не відбувається зав'язування плодів [5–9]. Однією з причин цього явища є те, що протягом багатьох років під час клонової селекції сортам давали нові назви, внаслідок чого однакові з них йменувалися по-різному [10].

Все більшого поширення в Україні набувають європейські сорти 'Kordia' та 'Regina', які є найпроблемнішими в запиленні [11].

У провідних країнах-виробниках триває активний пошук «універсальних» запилювачів для черешні [12]. Хоча науковці Орегонського університету пропонують використовувати самоплідні сорти 'Lapins', 'Skeena', 'Sweetheart' і 'Sunburst', ефективність їхнього

Olena Kishchak

<https://orcid.org/0000-0001-8935-7652>

Andrii Slobodianiuk

<https://orcid.org/0000-0002-9366-4329>

пилку не завжди висока, що доведено польськими вченими [13].

В Україні завдяки планомірній масштабній роботі з виведення нових сортів черешні, яка тривала з 30-х років ХХ ст. та передбачала залучення старовинних західноєвропейських і кращих місцевих сортів і форм [14], вдалося створити сортовий фонд, який налічує понад 600 форм. Цього досягли методом традиційної селекції, використовуючи міжсортіву та міжвидову гібридизацію сортів різних еколого-географічних груп, а також методи індукованого та хімічного мутагенезу й поліплоїдії [15]. Водночас в інших країнах почали широко застосовувати клонову селекцію [16].

В Україні вивченням особливостей запилення черешні та добором оптимальних для неї запилювачів займалися А. В. Корвацький, М. Т. Оратовський, С. Х. Дука, М. І. Туровцев, Л. І. Тараненко, А. О. Мухарський, В. Ф. Міщенко, Н. В. Мойсейченко та ін. [17]. Їхніми багаторічними дослідженнями доведено, що вищевказана культура є ентомофільною, а її ефективному перехресному запиленню сприяють оптимальні погодні умови під час цвітіння та зав'язування плодів, а також здатність сортів до взаємозапилення.

Дуже високі температури степової частини України разом зі спекотними вітрами в період цвітіння висушують приймочки та прискорюють процес старіння у квітці [18]. Аналогічні результати отримано і в лабораторних умовах за підвищення температури, зокрема до 20 °C [19].

Водночас за похолодання (нижче ніж 10 °C) або дощової погоди, коли припиняється літ комах, спостерігають погіршення перехресного запилення, що неминуче призводить до зменшення кількості плодів, які зав'язувались. Добір сортів, що забезпечують найкраще зав'язування плодів, має велике значення для отримання щедрого врожаю [18].

Добирати запилювачі бажано так, щоб строки та тривалість їхнього цвітіння на 70% збігалися з сортами. Втім важливо, щоб запилювач починав зацвітати трохи раніше й до моменту масового цвітіння основного сорту мав фізіологічно більш визрілий пилок.

Успішне запилення залежить від віку квітки та є найефективнішим у перші три дні після її розкриття [10]. А от, як видно з досліджень Н. В. Мойсейченко [20], висока життєздатність пилоквіткових зерен не завжди гарантує великий відсоток зав'язування плодів. Так, у сортів 'Василіса' й 'Етика' воно становило лише 9,4–8,8% за енергії проростання пилку 62,7 і 61,1% відповідно.

Така сортова особливість, як життєздатність пилку, залежить від умов, у яких він формується, та фізіологічного стану дерев.

Дослідженнями з впливу температури на схожість пилку та ріст пилоквіткових трубок визначено, що сорти по-різному реагують на її зміну під час запліднення [21].

D. Milatović i D. Nikolić [22] припускають, що сильніша адаптація деяких сортів до низьких температур під час цвітіння може бути показником їхньої широкої географічної адаптації. Так, у канадського 'Sunburst', отриманого від сортів з Північної Європи, проростання пилку відбувається навіть за 10 °C, чого недостатньо сорту 'Cristobalina', який походить із південно-східної Іспанії та пристосований до тепліших умов. Оптимальними для обох сортів є температурні показники +20 °C.

Отже, не всі інтродуковані сорти, особливо південного походження, можуть реалізовувати свій потенціал в умовах Лісостепу України, а тому ризиковано без детального вивчення впроваджувати їх у виробництво.

Мета досліджень – добір ефективних запилювачів для перспективних великоплідних сортів черешні в Лісостепу України.

Матеріали та методика досліджень

Досліди з вивчення особливостей цвітіння дерев і зав'язування плодів проводили у насадженнях черешні (садіння – 2018 р.) в Інституті садівництва НААН на клоновій підщепі 'Krymsk 5' протягом 2022–2023 рр. Схема садіння дерев – 4,5 × 2,5 м; темно-сірий опідзолений ґрунт утримували під чорним паром.

Об'єктами досліджень слугували 29 сортів черешні різних строків досягання, з них 25 – української селекції, чотири – іноземної (табл. 1). Як контроль використовували сорти, внесені до Державного реєстру сортів рослин, придатних для поширення в Україні. А саме: 'Валерій Чкалов' – із групи ранніх, 'Талісман' – середніх, 'Любава' – середньопізніх і пізніх.

Добір запилювачів вперше проводили для таких представників двох останніх груп стиглості, як 'Крупноплідна', 'Талісман', 'Stark Hardy Giant', 'Анонс', 'Темпоріон', 'Зодіак', 'Аннушка', 'Аншлаг' та 'Regina', що за комплексом господарсько-цінних ознак можуть бути комерційно-привабливими. Сорти 'Крупноплідна', 'Талісман', 'Stark Hardy Giant', а також високозимостійкі 'Етика' й 'Дончанку' вивчали як запилювачі.

Для сорту 'Regina', цвітіння якого відбувається в найбільш пізні строки (після завершення цього процесу в переважній більшості дерев інших сортів), як запилювачі використали пізньоквітучі 'Дончанку', 'Drogan's grosse

gelbe' та гібридну форму вишні 'Д 36-25' і порівняли їх з рекомендованим 'Kordia' [11, 16].

Варіанти досліду передбачали самозапилення (ізоляцію бутонів без запилення), штучне самозапилення в межах сорту, штучне запилення пилюком інших окремо взятих сортів, вільне запилення. Вважають, що самобезплідні сорти зав'язують під час запилення власним пилюком 0–5% плодів, частково самоплідні – 5–20%, а самоплідні – 21–40% [23].

Для ізоляції бутонів у фенологічну фазу білого бутона використовували марлеві ізолятори. Квітки запилювали без попередньої кастрації, після їхнього повного розкривання. У кожній комбінації схрещування було не менше ніж 600 бутонів. Зав'язування плодів обліковували тричі: через 15–20 днів після запилення, орієнтовно через місяць після першої ревізії, під час знімання плодів.

Найкращими сортами-запилювачами вважали ті, що забезпечили вищий (вільне запилення), рівний або близький до контролю відсоток зав'язування плодів від вільного природного запилення. Сорти, які утворили не менше ніж 60–70% корисної зав'язі, зараховували до допустимих запилювачів [18, 23].

Пилюк заготовляли за два дні до запилення з готових до розпускання бутонів інших гілок, підсушували його за температури 20–25 °C і зберігали в паперових пакетах в ексикаторі з хлористим кальцієм. Для встановлення потенційно ліпших запилювачів визначали життєздатність певної частини пилюку.

За ступенем проростання пилюк характеризувався низькою життєздатністю, якщо містив 0–30% фертильних зерен, середньою – 31–69%, високою – 70–100% [24]. Його якість у сортів черешні визначали методом пророщування на штучному поживному середовищі (15% сахарози + 1% агар-агару) у вологих камерах за температури 20–24 °C (повторення триразове). Через 24 години після висіву пилюку в кожній краплі у трьох полях зору мікроскопа МБІ-3 за 80–100-разового збільшення підраховували кількість пророслих пилюкових зерен.

Статистичний аналіз виконували згідно з методикою Б. О. Доспехова [25], використовуючи комп'ютерну програму «AGROSTAT».

Результати досліджень

Погодні умови впродовж досліджень сприяли цвітінню й зав'язуванню плодів черешні.

Третя декада квітня 2022 р. характеризувалася підвищеними температурами, а дерева сортів середнього та середньопізннього строків досягання зацвітали з 27 до 29 числа вказаного місяця. Масовим це явище ставало

30 квітня – 1 травня. Цвітіння дерев сорту 'Regina' починалося найпізніше (01.05) і тривало 11 днів. В цей період мінімальні температури повітря не були нижчими за 8,0 °C, а максимальні становили 16,4–21,5 °C (рис. 1) за середньої вологості повітря 46,6–55% (рис. 2). Опадів під час цвітіння не було.

2023 р. відзначився ще сприятливішими погодними умовами. Завдяки різкому підвищенню температури (максимальні значення – 18,2–19,5 °C, мінімальні – 6,8–10,1 °C) дерева сортів всіх строків досягання зацвітали одночасно – з 21 квітня (на тиждень раніше, ніж минулого року), гарно запилювалися та формували високі врожаї. Оподи спостерігали лише 26.04 (1,7 мм), тому вологість повітря змінювалася від 46,3 до 88,8%. Період від початку до масового цвітіння під впливом низької відносної вологості повітря та підвищених денних температур тривав протягом двох-трьох днів.

Загалом, у 2022–2023 рр. 58,6% сортів формували пилюк високої життєздатності, 37,9% – середньої (35,8–69,7%). Лише пилюк сорту 'Валерія' (3,5%) характеризувався низьким (22,6%) ступенем проростання (табл. 1).

У групі ранніх найвищу якість пилюку (77,9%) формували 'Валерій Чкалов', серед сортів середнього строку досягання – контрольний 'Талісман' (87,3%), 'Ярославна' (78,8%) та 'Мелітопольська мирна' (86,7%).

У групі середньопізнніх і пізнніх сортів лише 'Любава' (контроль), 'Анонс' та 'Етика' мали середню життєздатність пилюку – від 38,4 до 48%. У решті цей показник варіювався від 71,1 до 88%. Найвищі значення продемонстрували 'Зодіак' та 'Аннушка', що узгоджено з отриманими в зоні Степу даними вітчизняних дослідників [18].

У досліджуваних сортів різнилася швидкість росту пилюкових трубок. Так, найбільшою їхньою довжиною через чотири години після висіву характеризувалися 'Мелітопольська мирна', 'Дилема' та 'Regina' (207–420,1 мкм), через 24 години – 'Валерій Чкалов' і 'Дилема' (1104,2–1556,3 мкм) (рис. 3). Найкоротші пилюкові трубки були в сортів 'Рубінова рання', 'Крупноплідна', 'Новинка Туровева' та 'Етика' – 75–87,5 мкм.

Отже, високими життєздатністю та швидкістю росту пилюкових трубок характеризувалися сорти 'Валерій Чкалов' (ранній), 'Дилема' (середній) й 'Regina' (пізнній), що свідчить про їхню спроможність бути надійними запилювачами у своїй групі стиглості. Цю ознаку використав М. Т. Оратовський для створення нових сортів черешні, такий самий підхід пропонують у умовах сьогодення й іспанські вчені [26].

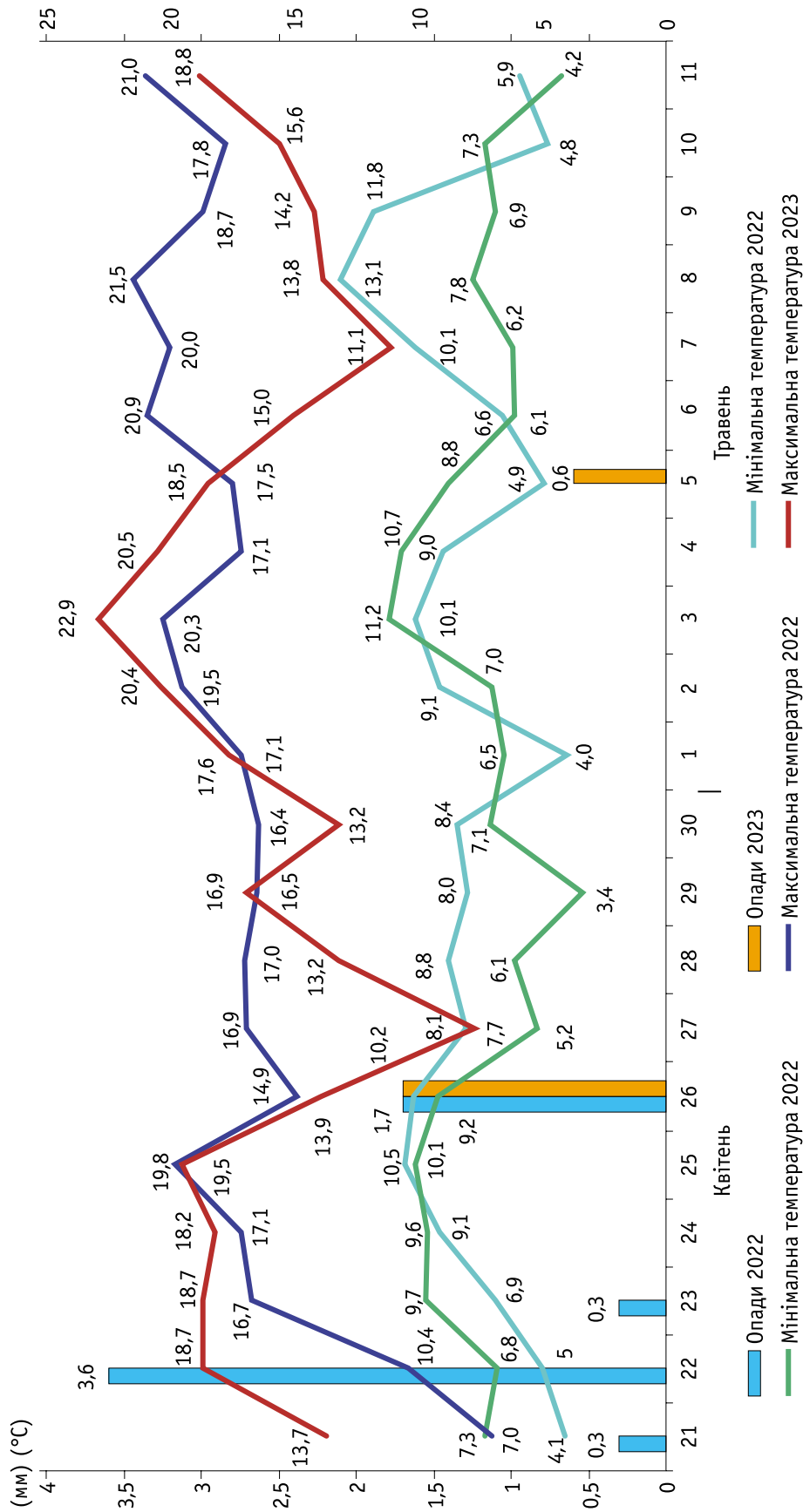


Рис. 1. Погодні умови протягом цвітіння досліджуваних сортів черешні (2022–2023 рр.)

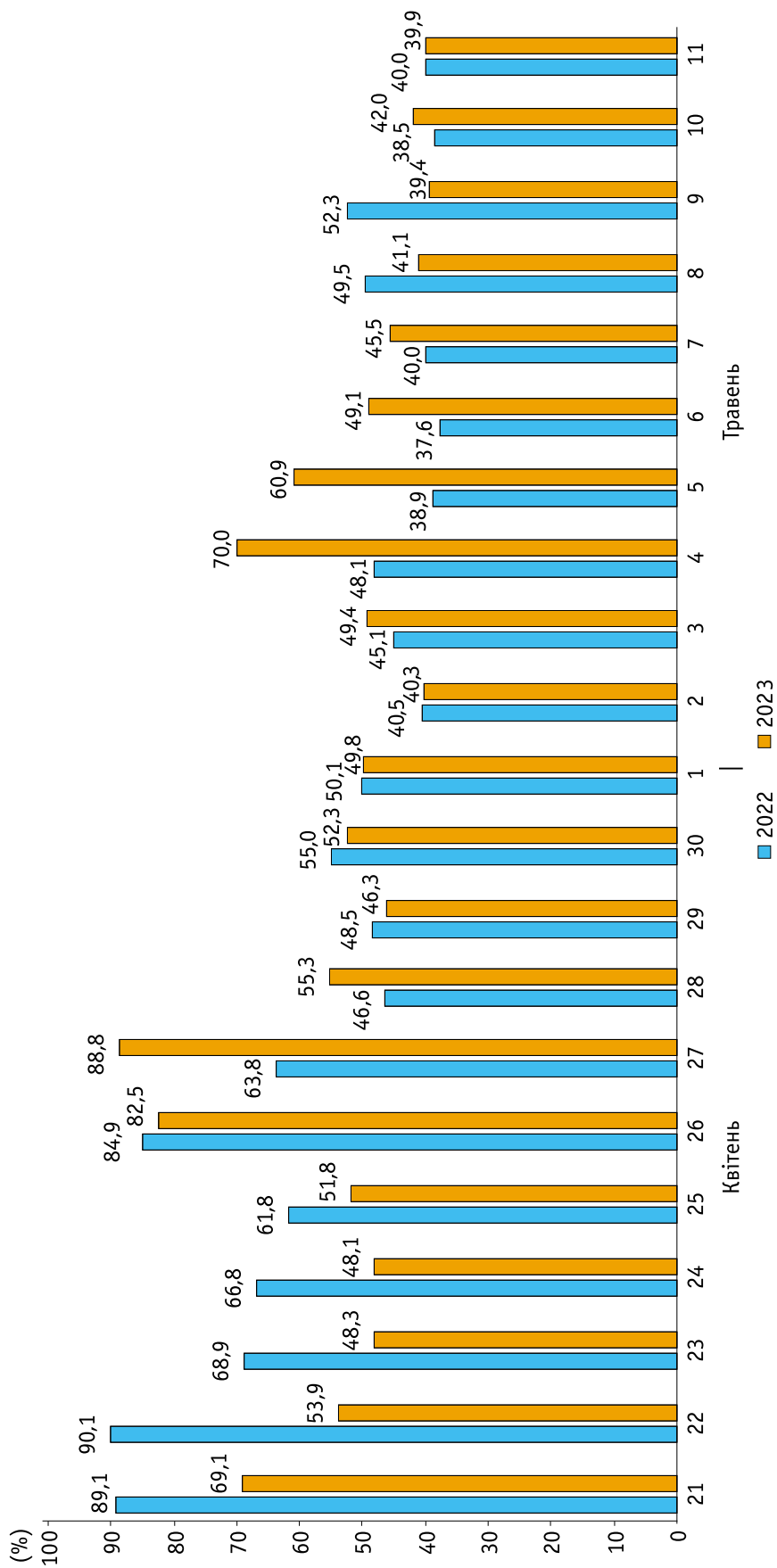


Рис. 2. Вологість повітря протягом цвітіння досліджуваних сортів черешні (2022–2023 рр.)

Таблиця 1

**Визначення життєздатності пилку черешні різних строків досягання
(середнє за 2022–2023 рр.)**

Сорт	Кількість пилкових зерен різної якості, %						Довжина пилкових трубок, мкм	
	пророслі		непророслі		оптично пусті		4 год	24 год
	4 год	24 год	4 год	24 год	4 год	24 год		
Сорти раннього та середньораннього строків досягання								
'Валерій Чкалов' (к)	30,0	77,9	58,2	9,6	11,8	12,5	168,2	1104,2
'Казка'	3,7	35,8	39,8	7,5	56,5	56,6	62,5	328,1
'Рубінова рання'	8,2	55,1	87,8	40,8	4,1	4,1	62,5	75,0
'Джерело'	8,2	57,6	88,5	37,9	3,3	4,5	62,5	102,5
'Валерія'	7,4	22,6	51,9	56,6	40,7	20,8	62,5	87,5
Сорти середнього строку досягання								
'Талісман' (к)	62,4	87,3	31,2	1,6	6,5	11,1	153,1	394,3
'Крупноплідна'	9,2	48,5	52,3	13,6	38,5	37,9	62,5	75,0
'Дилема'	8,1	60,3	77,4	29,4	14,5	10,3	420,8	1556,3
'Простір'	16,9	66,1	62,0	16,1	21,1	17,9	118,8	250,0
'Електра'	38,7	70,7	41,3	13,3	20,0	16,0	125,0	437,5
'Мелітопольська мирна'	67,7	86,7	30,8	12,0	1,5	1,3	207,1	337,5
'Василіса прекрасна'	21,0	37,5	36,2	20,0	42,9	42,5	62,50	237,50
'Ярославна'	69,1	78,8	29,4	19,7	1,5	1,5	194,4	263,5
Сорти середньопізннього та пізннього строків досягання								
'Любава' (к)	20,7	38,4	43,9	26,0	35,4	35,6	62,5	101,6
'Темпоріон'	56,3	75,6	33,3	13,3	10,4	11,1	62,5	169,1
'Зодіак'	61,5	85,9	34,6	10,1	3,8	4,0	93,75	434,66
'Удівітельна'	35,2	78,6	57,4	14,3	7,4	7,1	104,2	218,75
'Анонс'	28,0	40,7	21,3	12,3	50,7	46,9	120,8	187,5
'Ніжність'	44,4	71,1	41,7	14,4	13,9	14,4	91,9	244,9
'Аншлаг'	64,9	69,7	24,7	15,2	10,4	15,2	142,9	298,3
'Новинка Туровцева'	63,0	78,2	30,4	17,9	6,5	3,8	125	83,3
'Етика'	42,3	48,0	13,5	4,0	44,2	48,0	62,5	87,5
'Аніта'	68,8	88,0	28,6	9,6	2,6	2,4	107,1	187,5
'Донецька красуня'	60,2	79,3	25,3	6,3	14,5	14,4	62,5	119,3
'Дончанка'	59,0	77,6	36,1	17,9	4,9	4,5	62,5	166,7
'Stark Hardy Giant'	64,7	71,1	23,5	24,4	11,8	4,4	62,5	177,1
'Regina'	63,0	83,7	37,0	16,3	0,0	0,0	214,1	781,3
'Drogan's grosse gelbe'	56,2	80,9	37,1	12,4	6,7	6,7	93,8	158,3
'Kordia'	66,7	83,3	33,3	16,7	0,0	0,0	62,5	202,1
Гібридна форма вишні								
'Д 36-25'	14,3	34,2	46,4	27,8	39,3	38,0	250,0	406,3
HIP _{0,05}	4,88	6,56	3,76	2,69	2,1	2,14	14,17	15,46



а



б

Рис. 3. Пилкові зерна сорту 'Дилема' після посіву на штучне живильне середовище:
а – за 4 години (1 – пророслі, 2 – непророслі, 3 – оптично пусті); б – за 24 години

Утім отримані результати дають змогу лише побічно оцінити здатність пилку окремо взятих сортів до запліднення. Найвірогіднішим методом для визначення його фертильності є штучне перезапилення в природних умовах.

Тільки перехресне запилення гарантує формування повноцінного врожаю у дерев. А от за самозапилення з ізоляцією бутонів і штучного запилення в межах сорту відсоток зав'язування плодів становив від 0 (самозапилення) до 5,7 (штучне самозапилення), що свідчить про саомбезплідність досліджуваних сортів та потребу в запилювачах.

Установлено, що за перехресного запилення кожен сорт мав по декілька сортів-запилювачів. Так, найефективнішим для 'Талісмана', 'Темпоріона', 'Stark Hardy Giant' та

'Аншлаг' виявився пилко сорту 'Крупноплідна' (рівень зав'язування плодів – 47,9–56,1%). Допустимим він був і для 'Зодіаку' (77,3% стосовно вільного запилення) (табл. 2). Сорт 'Дончанка' був найкращим запилювачем майже для всіх сортів у досліді (зав'язування стосовно вільного запилення – 111,2–148,8%) і допустимим для 'Зодіаку' (89,0%) (табл. 2). Найефективнішим для сортів 'Крупноплідна', 'Талісман', 'Темпоріон', 'Зодіак', 'Анонс' та 'Аннушка' був 'Stark Hardy Giant' (зав'язування плодів – 29,3–87,8%), а для 'Зодіаку' та 'Stark Hardy Giant' – 'Етика' (112,2–137,6% проти вільного запилення). Сорт 'Талісман' добре запилював 'Stark Hardy Giant', 'Аннушку' та 'Аншлаг' (101–121%) та був допустимим для 'Зодіаку' (91,4%).

Таблиця 2

Ефективність запилення досліджуваних сортів черешні, % (середнє за 2022–2023 рр.)

Сорт-запильник, ♂	Вільне запилення	'Крупноплідна'		'Талісман'		'Етика'		'Stark Hardy Giant'		'Дончанка'	
		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Основний сорт, ♀											
'Крупноплідна'	48,1	2,4	5,0	4,7	9,8	5,5	11,4	6,9	143,5	53,5	111,2
'Талісман'	27	54,3	201,1	4,8	17,8	25,6	94,8	29,3	108,5	39	144,4
'Темпоріон'	46,7	47,7	102,1	10,1	21,6	19,6	42,0	54,9	117,6	69,5	148,8
'Зодіак'	53,4	41,3	77,3	48,8	91,4	73,5	137,6	73,9	138,4	47,5	89,0
'Анонс'	43,5	5,5	12,6	3,2	7,4	9,1	20,9	87,8	201,8	62,1	142,8
'Stark Hardy Giant'	26,2	56,1	214,1	31,7	121,0	29,4	112,2	5,7	21,8	35,6	135,9
'Аннушка'	31,1	9,0	28,9	31,4	101,0	8,9	28,6	36	115,8	51,6	165,9
'Аншлаг'	37,2	52,3	140,6	40,2	108,1	33,3	89,5	12,8	34,4	40,7	109,4
'Regina'	17,8	'Kordia'		'Д 36-25'		'Drogan's grosse gelbe'				24,0	134,8
		4,4	24,7	9,6	53,9	26,6		149,4			

Примітка. 1 – зав'язування плодів, %; 2 – проти вільного запилення.

Дослідженнями встановлено взаємозапильність сортів 'Крупноплідна' та 'Stark Hardy Giant', що значно полегшує добір запилювачів у процесі створення інтенсивних насаджень. Також у світі триває пошук ефективних запилювачів для низькопродуктивного сорту 'Regina' з найпізнішими строками цвітіння дерев [8, 11, 12, 16]. Показник зав'язування плодів у нього в середньому протягом 2016–2022 рр. за вільного запилення не перевищував 7,5%. І лише у 2023 р. за майже одночасного цвітіння сортів середньопізнього та пізнього строків досягання та повноцінного запилення вдалося досягнути значення 19,4%.

Сорти черешні 'Дончанка' та 'Drogan's grosse gelbe' з показником зав'язування 134,8–149,4% стосовно контролю виявилися більш ефективними запилювачами ніж рекомендований 'Kordia' [16]. За умови запилення вишнею 'Д 36-25', цвітіння якої збігалася з сортом 'Regina', зав'язуваність становила 53,9% (у 2,2 рази вище, як порівняти з 'Kordia').

К. Д. Третяк [27] і М. І. Туровцев [18] пропонували одночасно у кварталі висаджувати

три-п'ять вітчизняних сортів з надійним перехресним запиленням та однаковими строками цвітіння. Одного сорту має бути п'ять-вісім рядів залежно від ширини міжрядь. Спосіб розміщення насаджень, рекомендований класиками вітчизняної науки, має попит і нині, оскільки не потребує використання сортів, що не мають комерційної цінності. Винятком є такий цінний сорт іноземного походження з дуже пізнім строком цвітіння, як 'Regina'. Для нього у кварталах в усіх рядах доцільно використовувати кожне одинадцяте дерево запилювача.

Висновки

В умовах Лісостепу майже всі досліджувані сорти забезпечували формування пилку високої (71,1–88,0%) та середньої (35,8–67,7%) життєздатності. Окремі з них, що відзначилися нижчою його життєздатністю, були ефективними запилювачами для більшості інших сортів у досліді.

Всі сорти виявилися саомбезплідними. Найліпшими для додаткового запилення переважної більшості з них є 'Крупноплідна' та

‘Stark Hardy Giant’, взаємозапильність яких значно полегшує добір запилювачів у процесі створення інтенсивних насаджень.

‘Дончанка’ є універсальним запилювачем для всіх досліджуваних сортів. Сорт ‘Regina’ (важкозапилювальний) найліпше запилювали ‘Дончанка’ та ‘Drogan’s grosse gelbe’ із зав’язуванням плодів 24–26,6%, або 134,8–149,4% проти контролю.

References

- Kishchak, O. A., & Kishchak, Yu. P. (2021). Scientific achievements and realities of the sweet cherry (*Cerasus avium* L.) cultivation intensification at the current stage of the horticultural science development. *Horticulture*, 76, 71–81. doi: 10.35205/0558-1125-2021-76-71-81 [In Ukrainian]
- Beyhan, N., & Karakaş, B. (2009). Investigation of the fertilization biology of some sweet cherry cultivars grown in the Central Northern Anatolian Region of Turkey. *Scientia Horticulturae*, 121(3), 320–326. doi: 10.1016/j.scienta.2009.02.028
- Dilmaçunal, T., Koyuncu, F., & Aşkin, A. (2003). Bazı kiraz çeşitlerinin dölleme biyolojileri üzerine bir araştırma. *Journal of Natural and Applied Sciences*, 18(2), 9–16.
- Arzani, K., & Khalighi, A. (1998). Pre-season pollen collection and outdoor hybridization for pollinizer determination in sweet cherry cv. ‘Siah Mashad’. *Acta Horticulturae*, 468, 575–582. doi: 10.17660/ActaHortic.1998.468.71
- Radičević, S., & Đorđević, M. (2013). Assessment of self-(in) compatibility in some sweet cherry (*Prunus avium* L.) genotypes. *Genetika*, 45(3), 939–952. doi: 10.2298/GENSR1303939R
- Marchese, A., Marra, F. P., Priolo, D., Caruso, T., Giovannini, D., Leone, A., ... De Salvador, F. R. (2017). Identification of (in) compatible S-genotypes and molecular characterisation of Italian sweet cherry cultivars. *Acta Horticulturae*, 1161(6), 41–46. doi: 10.17660/ActaHortic.2017.1161.6
- Patzak, J., Henychova, A., Paprštejn, F., & Sedlák, J. (2019). Determination of self-incompatible genotypes in sweet cherry accessions of Czech genetic resources. *Acta Horticulturae*, 1235(52), 379–386. doi: 10.17660/ActaHortic.2019.1235.52
- Sagredo, K. X., Cassasa, V., Vera, R., & Carroza, I. (2017). Pollination and fruit set for ‘Kordia’ and ‘Regina’ sweet cherry trees in the south of Chile. *Acta Horticulturae*, 1161(57), 353–360. doi: 10.17660/ActaHortic.2017.1161.57
- Calle, A., Santolaria, N., Hedhly, A., & Wünsch, A. (2022). Characterization of female and male sterility in sweet cherry (*Prunus avium* L.). *Acta Horticulturae*, 1342(9), 63–70. doi: 10.17660/ActaHortic.2022.1342.9
- Kramer, S. (1984). *Süßkirschen*. Berlin: VEB Deutscher Landwirtschaftsverlag.
- Lech, W., Małodobry, M., Dziedzic, E., Bieniasz, M., & Doniec, S. (2008). Biology of sweet cherry flowering. *Journal of Fruit and Ornamental Plant Research*, 16, 189–199.
- Thurzó, S., Grandi M., Lagezza L., Lugli S., Imre, J., Szentpéteri T., ... Sansavini, S. (2007). Field evaluations of 14 sweet cherry cultivars as pollinators for cv. Regina (*Prunus avium* L.). *International Journal of Horticultural Science*, 13, 75–77. doi: 10.31421/IJHS/13/3/750
- Głowacka, A., & Rozpara, E. (2014). Examination of the Suitability of Different Pollinators for Four Sweet Cherry Cultivars Commonly Grown in Poland. *Journal of Horticultural Research*, 22, 96–100. doi: 10.2478/johr-2014-0010
- Tolstolik, L. M. (2019). Sweet cherry collection composition and breeding value of Melitopol experimental station of horticulture. *Plant Genetic Resources*, 24, 108–120. doi: 10.36814/pgr.2019.24.09 [In Ukrainian]
- Turovtsev, N. Y., Turovtseva, V. Y., & Turovtseva, N. N. (2004). Problems of cherry and cherry selection due to the peculiarities of ecological conditions. In *Optimizing ecological conditions in horticulture: a collection of scientific papers of the III International Scientific and Practical Conference* (pp. 109–110). Yalta, Ukraine. [In Ukrainian]
- Küden, A., Comlekcioglu, S., Imrak, B., & Bag, M. (2022). Recent Techniques and Developments on Cherry Growing in Turkey. In A. Küden, & A. Küden (Eds.), *Prunus – Recent Advances*. IntechOpen. doi: 10.5772/intechopen.104081
- Kishchak, O. A. (2017). *Grounds of the sweet cherry industrial cultivation in the Lisosteppe of Ukraine*. Kyiv: Ahrarna nauka. [In Ukrainian]
- Turovtsev, M. I., & Dolgova, S. V. (2008). Best cultivars – pollinators for perspective sweet cherry (*Cerasus avium* Moench.) varieties. *Horticulture*, 61, 30–35. [In Ukrainian]
- Postweiler, K., Stösser, R., & Anvari, S. F. (1985). The effect of different temperatures on the viability of ovules in cherries. *Scientia Horticulturae*, 25(3), 235–239. doi: 10.1016/0304-4238(85)90120-7
- Moiseichenko, N. V. (2005). Selection of best pollinators for perspective cherry and sweet cherry cultivars. *Horticulture*, 57, 72–74. [In Ukrainian]
- Hedhly, A., Hormaza, J., & Herrero, M. (2004). Effect of temperature on pollen tube kinetics and dynamics in sweet cherry, *Prunus avium* (Rosaceae). *American Journal of Botany*, 91(4), 558–564. doi: 10.3732/ajb.91.4.558
- Milatović, D., & Nikolić, D. (2017). The effect of temperature on pollen germination and pollen tube growth *in vitro* of sweet cherry cultivars. *Acta Horticulturae*, 1161, 401–404. doi: 10.17660/ActaHortic.2017.1161.64
- Sedov, E. N., & Ogoltsova, T. P. (Eds.). (1999). *Program and methods of the strain investigation of the fruit, small fruit and nuciferous crops*. Oryol: VNIISP.
- Ro, L. M. (1929). Pollen germination of various fruit trees in connection with its fertility (for the years 1925–1928). *Works of the Mliiv Horticultural Experimental Station*, 14, 3–29. [In Ukrainian]
- Kondratenko, P. V., & Bublyk, M. O. (1996). *Method of conducting researches with fruit crops*. Kyiv: Ahrarna nauka. [In Ukrainian]
- Balas, F., Guerra, E., & López-Corrales, M. (2017). Assessment of pollen viability of some sweet cherry cultivars used in plant breeding in Extremadura, Spain. *Acta Horticulturae*, 1161(69), 431–434. doi: 10.17660/ActaHortic.2017.1161.69
- Tretiak, K. D., Zavorodnia, V. T., & Turovtsev, M. I. (1990). *Cherry and sweet cherry*. Kyiv: Harvest. [In Ukrainian]

UDC 634.23:631.527.82:477.7

Kishchak, O. A.*, & **Slobodianiuk, A. V.** (2024). Selection of pollinators for promising large-fruited varieties of sweet cherry *Cerasus avium* (L.) Moenh in Forest-Steppe conditions. *Plant Varieties Studying and Protection*, 20(1), 4–12. <https://doi.org/10.21498/2518-1017.20.1.2024.298498>

*Institute of Horticulture, NAAS of Ukraine, 23 Sadova St., Novosilky, Kyiv region, 03027, Ukraine, *e-mail: cherry0308@ukr.net*

Purpose. Selection of effective pollinators for promising large-fruited sweet cherry varieties in the Forest-Steppe of Ukraine. **Methods.** Field, laboratory and analytical methods

were used in the research. Pollen viability and self-fertility were determined in 29 varieties of different ripening periods. Pollinators were selected for the group of medium-late

and late varieties ('Krupnoplidna', 'Talisman', 'Stark Hardy Giant', 'Anons', 'Temporion', 'Zodiak', 'Annushka', 'Anshlah' and 'Regina'). The surveys were carried out in accordance with the approved scientific and methodological recommendations. **Results.** In the group of early varieties, the highest pollen quality (77.9%) was produced by 'Valerii Chkalov'; among the varieties of medium ripening period – 'Talisman' (control) (87.3%), 'Yaroslavna' (78.8%) and 'Melitopolska Myrna' (86.7%); medium late and late – 'Drogan's grosse gelbe', 'Kordia', 'Regina', 'Zodiac' and 'Annushka' (80.9–88.0%). A full crop of all the varieties studied can only be guaranteed under the condition of cross-pollination. The

highest level of fruit set (47.9–56.1%) in 'Talisman', 'Temporion', 'Stark Hardy Giant' and 'Anshlah' was due to pollen of 'Krupnoplidna'. **Conclusions.** The versatility of 'Donchanka' as a pollinator was revealed. When it was used, fruit set in relation to free pollination was 111.2–148.8%. 'Krupnoplidna' and 'Stark Hardy Giant' proved to be mutual pollinators and effective pollinators for the vast majority of varieties. The variety 'Regina' was best pollinated by 'Donchanka' and 'Drogan's grosse gelbe' with fruit set of 24–26.6% and 134.8–149.4% respectively compared to the control.

Keywords: *productivity; pollen viability; pollination efficiency; modern assortment; fruit setting.*

Надійшла / Received 21.12.2023
Погоджено до друку / Accepted 17.01.2024

Морфологія генеративних органів сортозразків *Morus alba* L., інтродукованих в умовах Лісостепу України

О. І. Рудник-Іващенко*, О. В. Гаєвський

Інститут садівництва НААН України, вул. Садова, 23, м. Київ, 03027, Україна, *e-mail: rudnik2015@ukr.net

Мета. Вивчити особливості цвітіння та плодоношення шовковиці плодової в умовах Правобережної частини Лісостепу України **Методи.** Дослідження проводили в зоні Лісостепу на експериментальній базі Інституту садівництва НААН упродовж 2021–2023 рр. Предметом слугував рослинний матеріал різних сортозразків шовковиці плодової селекційних форм від насінневого потомства сорту 'Крупноплідна'; як контроль використовували рослини самоплідної шовковиці. Морфологічний опис структурних елементів генеративних органів та дослідження життєздатності пилку проводили згідно з опублікованими методиками. Плодоношення селекційних форм оцінювали за п'ятибальною шкалою. **Результати.** Встановлено, що всі досліджувані рослини мають здатність до проростання пилку. Найбільше життєздатного пилку (75,1%) виявлено в селекційній чоловічій формі №5 за 12-годинної експозиції та концентрації сахарози, що становила 50%. 24-годинна експозиція спричиняла зниження до 63,1% енергії проростання. Остання була найменшою в пилкових зернах рослин триплоїдного сортозразка за обох використаних концентрацій сахарози. Порівняльна характеристика морфологічних ознак і насінневої продуктивності (в розрахунку на одне супліддя) селекційних форм *M. alba* показала генетичну різноманітність рослин сортозразків виду, що проявляється в різниці фенотипових ознак через мінливість діапазону їхнього вияву. **Висновки.** Найвищі показники проростання пилку шовковиці білої одержано для селекційної форми № 5 – $79,1 \pm 0,36\%$ (чоловічого екземпляра), за 25-відсоткової концентрації сахарози в поживному середовищі. Кількість плодів, що утворилися на дворічних пагонах, – 21–91 шт. Оцінка плодоношення селекційних форм становила 4–5 балів, а їхні супліддя були 2,26–3,97 см завдовжки (великі). Загалом, вивчення морфології генеративних органів селекційних форм *M. alba*, кожна з яких утворює виповнене насіння з високою енергією проростання (91–98%), показало непорушність репродуктивних функцій шовковиці, що вказує на успішне проходження рослинами всіх етапів органогенезу.

Ключові слова: сорт; цвітіння; насіннева продуктивність; енергія проростання; пилки; статевий диморфізм.

Вступ

Шовковиця – дерево роду *Morus*, відоме смачними плодами, які залежно від виду можуть бути білого, чорного або червоного кольорів (*M. alba* – біла шовковиця, *M. nigra* – чорна, *M. rubra* – червона шовковиця). Воно відрізняється широким листям, що є головною їжею для шовкопряда, якого вирощують для одержання шовку [1, 2].

Шовковиця походить зі Сходу, втім нині її культивують майже в усьому світі. Відомо про понад 10 видів, поширених у помірній і субтропічній зонах, у дикому стані та в культурі. В Україні найвагомніше значення мають чорна та біла шовковиці, які здавна вирощують на присадибних земельних ділянках [5, 6]. Їхні плоди містять до 20% легкозасвоюваних цукрів, органічні кислоти, вітаміни, мінеральні солі [3, 4]. В Інституті садівництва НААН працюють над створенням колекції цієї цінної культури [5, 9].

Шовковиця біла (*M. alba*) – дерева до 15–20 м заввишки з густою округлою кроною, одностовбурні, посухостійкі, здатні витримувати морози до 30–35 °С, що робить їх зимостійкішими за шовковицю чорну. Квітки роздільностатеві. Плоди (супліддя) округлі або циліндричні, завдовжки до 4 см, білого, жовтого чи рожевого кольорів; вони соковиті, солодкі, містять велику кількість вітамінів, мінералів та антиоксидантів, важливих для загального підтримання здоров'я та імунної системи [7, 8].

Дослідження із функціонування генеративної сфери інтродуцентів – невіддільний компонент комплексного інтродукційного аналізу. Рясність цвітіння та його нормальне проходження, формування плодів та якісного насіння – один із критеріїв високої продуктивності, успішності адаптації та акліматизації рослин у різних умовах вирощування. У низці наукових праць описано окремі результати досліджень щодо статевого диморфізму в шовковиці (*M. alba*) та того, як відбуваються процеси гамето- та мікроспорогенезу [8, 10].

Екземпляри з колекції шовковиці Інституту садівництва мають різні типи розподілу статі (гіномоноєція, андродієція та триєція), що є характерним для анемофільних рослин,

Olga Rudnyk-Ivashchenko

<http://orcid.org/0000-0003-2724-9482>

Oleksandr Haievskyi

<http://orcid.org/0009-0000-9710-8437>

а також рослин гібридного походження. Шовковиця – анемофіл, якому властива дводомність, втім можуть траплятися й однодомні екземпляри. Зібрані в колосоподібні пазушні суцвіття квітки шовковиці є одностатевими. Жіночі, як і чоловічі, мають просту чотиричленну оцвітину, що іноді зростається із зав'язю; маточка складається з двох плодолистків із верхньою одногніздовою зав'язю та сім'ябрунькою, листочки вільні. У чоловічій квітці кожному листочку оцвітини відповідає одна тичинка, розташована супротивно. Суцвіття складаються з дихазії [9, 11, 12].

Шовковиця характеризується тривалим цвітінням, що може досягати 25–30 діб. Масовим для жіночих суцвіть цей процес стає на етапі розвитку 3–5 листочків, чоловічі ж починають розвиватися до появи листочків. Специфіка морфогенезу жіночих екземплярів (зокрема, наявність у бруньках зародкових пагонів і листків) спричиняє їхнє на 20 діб довше цвітіння, як порівняти з чоловічими [12–14].

Після утворення першої зав'язі продовжуються лінійний ріст пагонів і розвиток наступних двох-трьох суцвіть. Терміни цвітіння відрізняються залежно від селекційної форми й становлять 5–10 діб від початку та 10–30 діб після закінчення. Першими, на 3–5 діб раніше за жіночі, розкриваються чоловічі квітки. Останніми зацвітають двостатеві. У процесі порівняння селекційних форм і контрольного варіанту встановлено, що рослини з природних екотипів починають цвісти та плодоносити на 3–5 діб раніше ніж інтродуценти, адже є поліплоїдами (високий рівень плоідності), яким властиве пізніше проходження фаз онтогенезу проти диплоїдів [14].

Дрібні, зібрані в суцвіття квітки шовковиці бувають чоловічими або жіночими (дводомними), однак на деяких однодомних рослинах можуть одночасно розкриватися і ті, і ті. М'ясисті плоди шовковиці – це несправжні ягоди, тобто з'єднані докупи кістянки, що досягають 2–3 см у довжину, темно-вишневого, майже чорного забарвлення. За розміром супліддя може бути дуже малим – до 1,0 см; малим – 1–2; середнім – 2,1–3,0; великим – 3,1–4,0; дуже великим – понад 4,0 см; за формою – кулястим, циліндричним, еліптичним, яйцеподібним, обернено яйцеподібним та невизначеної форми [15].

Генетична різноманітність рослин виду полягає в різниці фенотипових ознак, які поділяються на важливі (маса плоду, величина насінини, розміри листової пластинки, врожайність, строки досягання, біохімічний склад тощо) та індиферентні (форма листка й

віночка, опушення пагона та ін.) для селекційної діяльності.

Мета досліджень – вивчити особливості цвітіння та плодоношення шовковиці плодової в умовах Правобережної частини Лісостепу України.

Матеріали та методика досліджень

Досліди з оцінювання морфологічної характеристики генеративних органів шовковиці проводили впродовж 2021–2023 рр. на експериментальній базі Інституту садівництва НААН. Колекційну ділянку закладено у 2017 р., дерева висаджено за схемою 3 × 5 м. Завдяки таким розмірам ділянок вилучення рослин або їхніх частин з метою вимірювань і підрахунків не шкодять обстеженням, які тривають до кінця циклу вирощування.

Об'єкт досліджень – процеси формування насінневої продуктивності рослин під час росту та розвитку дерев, яких у кожному досліді було щонайменше шість. Предмет – зразки плодової шовковиці селекційних форм, що були відібрані в конкурсному розсаднику як перспективні за господарсько-цінними ознаками для подальшої селекції. А саме: № 5, 7, 8, 9, 10 насінневого потомства сорту 'Крупноплідна'. Форма № 5 – чоловічий екземпляр, інші – однодомні рослини з чоловічими, жіночими та двостатевими квітками; № 8 – триплоїд, решта – диплоїди. Як контроль використовували самоплідні рослини шовковиці. Крону формували після опису помологічних ідентифікаційних характеристик сортозразків.

Опис морфологічних ідентифікаційних ознак генеративних і вегетативних органів сортозразків залежно від їхнього типу здійснювали методом візуального оцінювання та за допомогою вимірювань чи підрахунків (якісні – QL, кількісні – QN, псевдоякісні – PQ). Морфологічний опис структурних елементів генеративних органів виконували відповідно до «Методики проведення експертизи сортів шовковиці (*Morus L.*) на відмінність, однорідність і стабільність» [16]. Дослідження із життєздатності пилку проводили на свіжозібраному матеріалі селекційних форм і контролю за методичними вказівками [12]. Пилок пророщували на середовищі з агар-агаром (1%) із концентрацією сахарози, що становила 25 та 50%, за температури повітря 28 °C. Пророслі та непророслі пилкові зернятка обліковували під світловим мікроскопом МВВ-1А з інтервалом 2, 3, 4, 12 і 24 год. Плодоношення селекційних форм оцінювали за п'ятибальною шкалою. Популяційний стандарт для оцінювання

однорідності – 1% за рівня ймовірності 95%. У вибірці з шести дерев не допускали нетипові. Дані опрацьовували статистично згідно з «Методикою біометричних розрахунків», використовуючи пакет програм Microsoft Excel 2008 [17].

Результати досліджень

У колекції селекційних форм генофонду шовковиці *M. alba* Інституту садівництва НААН є екземпляри з різними типами розподілу статі, зокрема гіномоноєцією, андродієцією та триєцією, що характерно для анемофільних рослин, а також рослин гібридного походження. Для досліджень із вивчення морфології генеративних органів сортозразків і встановлення особливостей цвітіння та плодоношення шовковиці плодової в умовах Правобережної частини Лісостепу України в конкурсному розсаднику відібрано перспективні за господарсько-цінними ознаками зразки для подальшої селекції. А саме: № 5, 7, 8, 9, 10 насінневого потомства сорту 'Крупноплідна'. Форма № 5 – чоловічий екземпляр, інші – однодомні рослини з чоловічими, жіночими та двостатевими квітками; № 8 – триплоїд, решта – диплоїди.

П'ять виділених інтродукованих сортозразків шовковиці плодової ідентифіковано за проявом морфологічних ознак генеративних органів (суцвіть, суплідь) та досліджено за життєздатністю пилку на свіжозібраному матеріалі селекційних форм. Пилок збирали з 9 до 11-ї години ранку, коли квітки вже розкрилися, а він ще не осипався, методом механічного подразнення. На середовищі з 25-відсотковим вмістом сахарози (вибір концентрацій зумовлено специфікою культури) спостерігали збільшення енергії проростання пилку. Через 12 годин середні показники для диплоїдів № 9 і 7 становили 70,8 і 56,4%, тетраплоїду № 8 – 42,0%. Максимальне проростання пилкових трубок відмічено через 12 годин після висівання пилку за обох концентрацій сахарози, значення яких наведено в таблиці 1.

Таблиця 1

Життєздатність свіжозібраного пилку рослин *M. alba* (%) на штучному поживному середовищі (середнє за 2021–2023 рр.)

Селекційна форма, №	Концентрація сахарози			
	25%		50%	
	12 год	24 год	12 год	24 год
Контроль	71,1 ± 0,7	65,0 ± 0,4	70,2 ± 0,5	59,4 ± 1,1
5-ч	79,1 ± 0,3	60,8 ± 0,7	75,1 ± 1,4	63,1 ± 0,6
7-д	70,8 ± 0,6	51,4 ± 1,1	71,8 ± 0,6	70,5 ± 0,4
8-т	42,0 ± 1,0	22,1 ± 0,6	48,8 ± 0,7	21,6 ± 0,7
9-д	56,4 ± 0,4	55,7 ± 0,5	69,6 ± 0,9	55,4 ± 0,9
10-д	58,3 ± 0,6	55,0 ± 0,4	50,3 ± 0,3	47,1 ± 1,0

Найбільше життєздатного пилку (75,1%) виявлено в селекційній чоловічій формі № 5 за 12-годинної експозиції та концентрації сахарози, що становила 50%. 24-годинна експозиція спричиняла зниження до 63,1% енергії проростання. Остання була найменшою в пилкових зернах рослин триплоїдного сортозразка за обох використаних концентрацій сахарози. У варіанті з вищою концентрацією значення були 48,8 (12 год) і 21,6% (24 год). Похибка становила 0,3–1,4% (достовірні дані).

Установлено, що пилок може прорости в усіх досліджуваних рослинах. За концентрації сахарози 25% життєздатність чоловічих гамет варіювалася від 79,1 ± 0,3 (12 год) до 60,8 ± 0,7% (24 год); за 50% – від 75,1 ± 1,4 до 63,1 ± 0,6% відповідно.

Селекційні форми дерев відрізняються за строками дозрівання плодів. Плодоношення здебільшого закінчується на початку серпня. Довжина суплідь становить 2,26–3,97 см (великі); мінливість їхніх морфологічних кількісних характеристик (довжини, ширини та маси) наведено на рисунку 1.

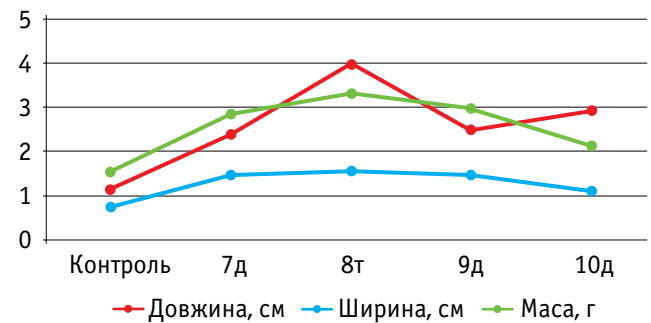


Рис. 1. Кількісні характеристики суплідь сортозразків шовковиці

За графіком, показники маси суплідь селекційних форм змінюються аналогічно до ілюстрованих значень ширини попри мінливість показників довжини.

На дворічних пагонах утворюється 26–89 плодів. Досліджувані сортозразки шовковиці сформували супліддя великих розмірів та зі значною масою. Це забезпечило стабільно високий урожай товарних плодів в умовах лісостепової зони України. Його середні значення з одного дерева шовковиці – від 30 до 72 кг. Оцінка плодоношення селекційних форм – 4–5 балів за 5-бальною шкалою.

Кількісні параметри довжини, ширини та маси суплідь сортозразків шовковиці наведено в таблиці 2.

У процесі досліджень визначено насінневу продуктивність (з розрахунку на одне супліддя) яза такими категоріями, як потенційна та реальна насіннева продуктивність і коефіціє-

Таблиця 2

Порівняльна характеристика морфологічних ознак і насінневої продуктивності
(в розрахунку на одне супліддя) селекційних форм *M. alba*
(середнє за 2021–2023 рр.)

Селекційна форма, №	Супліддя			ПНП	РНП	КНП
	довжина, см	ширина, см	маса, г			
Контроль	1,12 ± 0,09	0,72 ± 0,06	1,52 ± 0,14	15,33 ± 1,62	13,62 ± 1,49	88,8
5-ч	–	–	–	–	–	–
7-д	2,38 ± 0,06	1,47 ± 0,03	2,84 ± 0,07	36,59 ± 1,52	34,00 ± 1,94	92,3
8-т	3,97 ± 0,02	1,55 ± 0,05	3,32 ± 0,11	46,17 ± 2,13	44,21 ± 2,25	95,7
9-д	2,48 ± 0,04	1,46 ± 0,02	2,98 ± 0,53	45,16 ± 1,01	42,57 ± 2,41	94,2
10-д	2,26 ± 0,07	1,10 ± 0,02	2,12 ± 0,08	28,47 ± 1,36	21,96 ± 1,32	76,2

Примітка. ПНП – потенційна насіннева продуктивність; РНП – реальна насіннева продуктивність; КНП – коефіцієнт насінневої продуктивності.

ент насінневої продуктивності. Останній був найвищим (95,7 і 94,2) у сортозразків 8-т і 9-д.

Насіннева продуктивність – важливий показник успішності розвитку інтродуцентів. Усі селекційні форми утворили виповнене насіння з високою енергією проростання (91–98%). Плоди, сформовані з двостатевих або комбінованих суцвіть, мали невиконане насіння з енергією проростання 30–40%.

Досліджувані дерева шовковиці білої належать до двох груп: дводомні (чоловічі та

жіночі квітки на різних екземплярах) та полігамні рослини (наявність чоловічих, жіночих і двостатевих квіток на одному зразку).

Проаналізовані селекційні форми мали різноманітну будову квіток і суцвіть. Так, на дереві форми № 7 спостерігали пагони з суцвіттями, утвореними одностатевими жіночими або чоловічими квітками, а також пагони з одночасною наявністю на них як жіночих, так і чоловічих суцвіть (рис. 2).



а



б

Рис. 2. Квітки шовковиці: а – одностатеві; б – двостатеві

Крім того, відзначено аномалії в будові квіток (рис. 2). Відбувалася редукція (ступінь якої варіював) тичинкових ниток, пилкових мішечків і пилку, маточок і рилець. Характер і ступінь цього процесу, кількісне та якісне співвідношення нормальних і дегенеративних складових репродуктивних органів, їхня чисельність у суцвітті зумовлені генетично, втім значною мірою залежать і від природних екзогенних факторів, які впливають на рослини. Наприклад, у гінецеї спостерігали перехід від редукції різного ступеня стовпчика та рилець до повної редукції маточки, яка мала вигляд невеликих горбочків неоднако-

вої форми. Аномалії в будові квіток шовковиці білої зображено на рисунку 3.

Згідно з літературними джерелами [12–14], причинами виникнення аномалій у генеративних органах є ідентичність походження тичинок і плодолистиків (квітка стає двостатевою внаслідок розвитку нормального плодолистка або у процесі перетворення на нього тичинки); схильність до утворення гермафродитних квіток, що визначається генотипом і проявляється в екстремальних метеорологічних умовах; гібридне походження рослин, яке характеризується дефективним пилком та яйцевим апаратом. Під час іденти-



Рис. 3. Аномалії в будові квіток шовковиці білої

фікації сортозразків шовковиці плодової *M. alba* виділено чотири типи суцвіть. А саме: утворені з жіночих квіток; з чоловічих; із двостатевих; комбіновані (з чоловічих, жіночих і двостатевих квіток у різних кількісних співвідношеннях). Перспективними для майбутніх досліджень є добір та оцінювання селекційних форм з метою створення нових самоплідних сортів шовковиці з фенотиповою стабільністю кількісних господарсько-цінних характеристик, а також подовженим строком плодоношення.

Висновки

Установлено деякі риси специфіки морфології селекційних форм шовковиці плодової *M. alba*. Зокрема, виділено чотири типи суцвіть: утворені з жіночих квіток; з чоловічих; із двостатевих; комбіновані (з чоловічих, жіночих і двостатевих квіток у різних кількісних співвідношеннях). Найвищі показники проростання пилку шовковиці білої відзначено в селекційної форми № 5 – $79,1 \pm 0,36\%$ (чоловічого екземпляра), за концентрації сахарози в поживному середовищі 25%. На дворічних пагонах утворюється 21–91 плід; оцінка плодоношення селекційних форм – 4–5 балів; довжина суплідь змінюється в межах 2,26–3,97 см (великі). Кожна з досліджених селекційних форм *Morus alba* L. утворює виповнене насіння з високою енергією проростання (91–98%),

що вказує на непорушність репродуктивних функцій шовковиці та успішне проходження рослинами всіх етапів органогенезу.

References

- Shynkarova, D. M. (2020). Agrobiological features fructification mulberry under Transcarpathian region. *Problems of the Agro-Industrial Complex of the Carpathians*, 28, 99–104. doi: 10.47279/2709-3727-2020-2-8 [In Ukrainian]
- Ercisli, S., & Orhan, E. (2007). Chemical composition of white (*Morus alba*), red (*Morus rubra*) and black (*Morus nigra*) mulberry fruits. *Food Chemistry*, 103(4), 1380–1384. doi: 10.1016/j.foodchem.2006.10.054
- Ozdemir, F., & Topuz, A. (1998). Some chemical composition of mulberries grown in Antalya. *Derim*, 15(1), 30–35.
- Ozgen, M., Serce, S., & Kaya, C. (2009). Phytochemical and antioxidant properties of anthocyanin-rich *Morus nigra* and *Morus alba* fruits. *Scientia Horticulturae*, 119(3), 275–279. doi: 10.1016/j.scienta.2008.08.007
- Oleksiiuchenko, N. O. (2005). Results of mulberry breeding for fertility in Ukraine. *Bulletin of Poltava State Agrarian Academy*, 1, 23–25. [In Ukrainian]
- Mitina, L. V. (2002). *Fruit mulberry Morus alba L. in the south-east of Ukraine*. Kyiv: Naukova Dumka. [In Ukrainian]
- Vitenko, V. A. (2008). *Morus alba* L. – a valuable fruit, decorative, and medicinal plant. *Scientific Bulletin of the National Forestry University of Ukraine*, 18(1), 17–22. [In Ukrainian]
- Babaieva, G. I., Litvin, V. M., & Voitenko, V. I. (2021). Ukrainian and introduced mulberry (*Morus* L.) fruit varieties. *Plant Genetic Resources*, 29, 11–19. doi: 10.36814/pgr.2021.29.01 [In Ukrainian]
- Rudnyk-Ivashchenko, O. I., & Sukhomlyn, L. V. (2017). Mulberry (*Morus* L.): Its realities and future in Ukraine. *Horticulture*, 72, 45–49. [In Ukrainian]
- Scalzo, J., Politi, A., Pellegrini, N., Mezzetti, B., & Battino, M. (2005). Plant genotype affects total antioxidant capacity and phenolic contents in fruit. *Nutrition*, 21(2), 207–213. doi: 10.1016/j.nut.2004.03.025
- Hluhov, O. Z. (2003). *Mulberry Morus alba L. in the southeast of Ukraine (Introduction, biomorphology, utilization)*. Donetsk: Lebid. [In Ukrainian]
- Holubinskyi, I. M. (1974). *Biology of pollen germination*. Kyiv: Naukova Dumka. [In Ukrainian]
- Oleksiiuchenko, N. O. (2007). *Mulberry breeding in Ukraine*. Kyiv: VTs KNLU. [In Ukrainian]
- Alekseieva, T. H. (2012). *Determining the viability of pollen and embryo sac: Guidelines for a large special practicum*. Odesa: N. p. [In Ukrainian]
- Mitina, L. V. (2008). Features of seed propagation of *Morus alba* L. *Abstracts of reports of the conference of young scientists* (pp. 82–83). Kherson. [In Ukrainian]
- Methodology for examination of varieties of fruit, berry, nut and grape plant varieties for distinction, homogeneity and stability*. Retrieved from https://www.sops.gov.ua/uploads/page/Meth_DUS/2023/Method_fruit_2023.pdf
- Tarassenko, R. O. (2008). *Information technologies*. Kyiv: Alefa. [In Ukrainian]

UDC 631.527:581.4:581.141+581.162.3:577

Rudnyk-Ivashchenko, O. I., & Haievskiy, O. V. (2024). Morphology of generative organs of *Morus alba* L. cultivars introduced in the conditions of the Forest Steppe of Ukraine. *Plant Varieties Studying and Protection*, 20(1), 13–18. <https://doi.org/10.21498/2518-1017.20.1.2024.301194>

*Institute of Horticulture, NAAS of Ukraine, 23 Sadova St., Kyiv, 03027, Ukraine, *e-mail: rudnik2015@ukr.net*

Purpose. The aim was to study the features of flowering and fruiting of the mulberry under conditions of the Right-Bank Forest-Steppe of Ukraine. **Methods.** The research was

conducted in the forest steppe zone at the experimental base of the Institute of Horticulture of the NAAS in 2021–2023. The subject was plant material of different cultivars of mul-

berry (*Morus alba*), propagated from seed progeny of the 'Krupnoplidna' variety; self-fertile mulberry plants were used as a control. The morphological description of the structural elements of the reproductive organs and the study of pollen viability were carried out according to published methods. The fruiting of the breeding forms was evaluated on a five-point scale. **Results.** All plants tested were found to have the ability to germinate pollen. The most viable pollen (75.1%) was found in male breeding form No. 5 after 12 hours exposure and a sucrose concentration of 50%. Exposure for 24 hours caused a decrease in germination energy of up to 63.1%. The latter was lowest in the pollen grains of plants of the triploid sample at both sucrose concentrations used. The comparison of morphological characteristics and seed productivity (per fruit) of the breeding forms of *M. alba* showed the genetic diversity of plants of cultivars of the species, which is mani-

festated in the difference of phenotypic characteristics due to the variability of the range of their expression. **Conclusions.** The highest rates of white mulberry pollen germination were obtained for breeding form No. 5 – $79.1 \pm 0.36\%$ (male specimen) with 25% concentration of sucrose in the nutrient medium. The number of fruits formed on two-year-old shoots was 21–91. The evaluation of the fruiting of the cultivars was 4–5 points, and their infructescences were 2.26–3.97 cm long (large). In general, the study of the morphology of the reproductive organs of the breeding forms of *M. alba*, each of which forms filled seeds with high germination energy (91–98%), showed the intactness of the reproductive functions of mulberry, which indicates the successful passage of the plants through all stages of organogenesis.

Keywords: *flowering; seed productivity; germination energy; pollen; sexual dimorphism.*

Надійшла / Received 03.03.2024
Погоджено до друку / Accepted 22.03.2024

Селекційна оцінка нових самозапиленних ліній соняшнику (*Helianthus annuus* L.), стійких до гербіцидів групи сульфонілсечовин та несправжньої борошністої роси [*Plasmopara halstedii* (Farl.) Berl. et. de Toni]

А. С. Ільченко*, Б. Ф. Вареник, С. І. Карапіра

Селекційно-генетичний інститут – Національний центр насіннізнавства та сортовивчення, вул. Овідіопольська дорога, 3, м. Одеса, 65036, Україна, *e-mail: alena_1410@ukr.net

Мета. Визначити селекційну цінність нового вихідного матеріалу соняшнику з комплексною стійкістю проти гербіцидів групи сульфонілсечовин та несправжньої борошністої роси. **Методи.** У процесі дослідження використовували польові (гібридизація, випробування ліній, індивідуальний добір, оцінювання ліній), візуальні (фенологічні спостереження), лабораторні (імунологічне оцінювання стійкості проти НБР), вегетаційні (оцінювання стійкості проти гербіцидів) та математично-статистичні (оброблення експериментальних даних і визначення достовірності результатів дослідження) методи. **Результати.** Нові самозапиленні лінії соняшнику досліджували у відділі селекції та насінництва перехреснозапиленних культур Селекційно-генетичного інституту – Національного центру насіннізнавства та сортовивчення (СГІ – НЦНС) протягом 2020–2023 рр. За результатами роботи створено та оцінено 33 самозапиленні лінії соняшнику з комплексною стійкістю проти гербіцидів групи сульфонілсечовин і несправжньої борошністої роси (НБР). Для створення ліній використовували популяції вітчизняної селекції, здатні реалізовувати свій спадковий потенціал у різних умовах, пристосовані до вирощування в Південному Степу України, стійкі проти комплексу хвороб і шкідників, із підвищеною врожайністю насіння та пластичністю. Одержаний новий вихідний матеріал – константні, стабільно продуктивні лінії, застосовувані в подальшій селекційній програмі. За результатами випробувань майже всі отримані гібриди першого покоління (F_1) продемонстрували врожайність понад 1,0 т/га. Лінії, які мали найвищий рівень комбінаційної здатності за врожайністю (гетерозиготне гібридне потомство з підвищеною життєздатністю за основними господарсько-цінними ознаками), відбиратимуть для наступних досліджень і долучатимуть до створення нових гібридів, стійких проти гербіцидів групи сульфонілсечовин та НБР. **Висновки.** Встановлено, що в одній лінії можна поєднати стійкість проти гербіциду групи сульфонілсечовин і несправжньої борошністої роси. За стійкістю соняшнику проти гербіциду легко слідкувати в польових умовах, а стійкість проти несправжньої борошністої роси необхідно контролювати в лабораторних.

Ключові слова: соняшник; лінії; стійкість; гербіциди; трибенурон-метил; несправжня борошніста роса.

Вступ

Забур'яненість посівів – важливий чинник, що впливає на якісні та кількісні показники соняшнику. Бур'яни в процесі еволюції набули біологічних властивостей (високої пластичності, довготривалого збереження життєздат-

ності вегетативних і насінневих проростків у ґрунті), щоб протистояти несприятливим умовам навколишнього середовища та розвиватися поряд з культурними рослинами [1, 2].

Успішне вирощування соняшнику потребує ефективних засобів контролю над забур'яненістю, проблему якої не завжди повною мірою розв'язують агротехнічні заходи. Це особливо відчутно натепер, коли проявляється видова перебудова агроценозу бур'янів за оптимізації найшкідливіших з них та збільшується засміченість посівів. Нині аграрії віддають перевагу застосуванню гербіцидів різних хімічних груп і класів [3–5].

Alena Ilchenko

<https://orcid.org/0000-0001-8526-4168>

Borys Varenyk

<https://orcid.org/0000-0003-1147-6621>

Sergey Karapira

<https://orcid.org/0009-0006-5721-815X>

Селекція на стійкість культурних рослин проти гербіцидів залишається перспективним напрямом у контролі забур'яненості посівів. Класичні гібриди соняшнику нестійкі проти багатьох гербіцидів (особливо тих, які використовують для післясходового внесення), жоден з яких до того ж не може повною мірою контролювати багаторічні та паразитичні бур'яни. Натепер найефективнішим є застосування хімічних препаратів груп імідазолінонів (IMI) та сульфонілсечовин (SU), адже вони єдині здатні впливати не лише на широкий спектр бур'янів, а й на вовчок (*Orobanche cymata*) незалежно від його расового складу. Для успішного використання в посівах соняшнику вказаних типів гербіцидів необхідно створювати стійкі проти них форми [6, 7]. Цей напрям потребує залучення генетично різноманітного вихідного матеріалу. Дикі види соняшнику є донорами багатьох господарсько-цінних ознак і властивостей, а передусім комплексної стійкості проти основних хвороб; їх також використовують для поліпшення якості олії, підвищення вмісту білка, стійкості проти гербіцидів.

Соняшник (*H. annuus*) – важлива сільськогосподарська культура, колекції диких і культивованих форм якої (збільшені кількісно та урізноманітнені завдяки селекції) зберігаються в багатьох країнах. Найбільшою та найрізноманітнішою у світі, а також життєво необхідною для збереження генофонду *H. annuus* є колекція диких видів соняшнику (2562 зразки), зібрана в National Plant Germplasm System (NPGS), США [8, 9]. Колекція дикого та культурного соняшнику Національного генбанку рослин України налічує 590 зразків, що походять з 22 країн [10].

Донорів стійкості проти гербіцидів груп імідазолінонів (Imisun 1, Imisun 2, Imisun 3, Imisun 4) та сульфонілсечовин (Sures-1, Sures-2) активно використовують у світі. За їхньою допомогою створюють новий вихідний матеріал, а надалі – високоврожайні гібриди соняшнику, адаптовані до відповідних умов вирощування та стійкі проти вказаних гербіцидів [11, 12].

Також актуальною через завдані серйозні економічні збитки, а також важливою для досліджень залишається проблема генетичного контролю несправжньої борошністої роси (НБР) – хвороби, спричиненої облігатним патогеном [одним із найпоширеніших у світі грибних захворювань культивованого соняшнику (*H. annuus*)]. Найагресивнішими расами *P. halstedii* є 310, 700, 703, 710, 730 та 770 [13].

Створення стійких генотипів є найефективнішим методом контролю НБР у посівах со-

няшнику. Вже понад 50 років у виробництві активно застосовують стійкі проти неї гібриди, для одержання яких селекціонери використовують більш як 40 домінуючих генів [14].

У роботі представлено лінії, родоначальниками яких були місцеві генотипи соняшнику та дикі види Північної Америки. Великі переваги має комплексна стійкість гібридів досліджуваної культури проти гербіциду групи сульфонілсечовин та НБР, адже дає змогу розширити генетичне різноманіття за цінними ознаками. Останні можна контролювати генетично та провадити за двома з них разом селекцію на стійкість, не витрачаючи багато часу на створення вихідного матеріалу.

Мета досліджень – визначити селекційну цінність нового вихідного матеріалу соняшнику з комплексною стійкістю проти гербіциду групи сульфонілсечовин та несправжньої борошністої роси.

Матеріали та методика досліджень

Дослідження проводили протягом 2020–2023 рр. у відділі селекції та насінництва перекреснозапилювальних культур Селекційно-генетичного інституту – Національного центру насіннезнавства та сортовивчення (СП – НЦНС, м. Одеса).

Для створення нових ліній використовували гібриди та лінії вітчизняної селекції, підтримувані та розмножувані в колекційних розсадниках. Вибирали форми, здатні реалізувати свій спадковий потенціал у різних умовах, пристосовані до вирощування в Південному Степу України, стійкі проти комплексу хвороб і шкідників, з підвищеною врожайністю насіння та пластичністю.

Самозапилені лінії одержано через багаторазове запилення гібридів першого покоління (F_1). Після кожного самозапилення відбувався добір за вирівняністю за морфологічними ознаками (висотою рослини, розміром і нахилом кошика, вегетаційним періодом).

Відібрано та отримано 33 самозапилені лінії соняшнику, стійкі проти гербіцидів групи сульфонілсечовин та НБР. А саме: ОСУ 1511 В, ОСУ 1514 В, ОСУ 1515 В, ОСУ 1516 В, ОСУ 1519 В, ОСУ 1521 В, ОСУ 1522 В, ОСУ 1523 В, ОСУ 1527 В, ОСУ 1529 В, ОСУ 1530 В, ОСУ 1531 В, ОСУ 1532 В, ОСУ 1534 В, ОСУ 1535 В, ОСУ 1537 В, ОСУ 1539 В, ОСУ 1540 В, ОСУ 1541 В, ОСУ 1543 В, ОСУ 1546 В, ОСУ 1547 В, ОСУ 1548 В, ОСУ 1549 В, ОСУ 1551 В, ОСУ 1552 В, ОСУ 1553 В, ОСУ 1556 В, ОСУ 1562 В, ОСУ 1563 В, ОСУ 1564 В, ОСУ 1565 В, ОУС 1566 В.

Сівбу ліній здійснювали селекційною чотирирядковою сівалкою HEGE 95. Площа дво-

рядкової облікової ділянки становила 10 м², зразки висівали без повторень, густина стояння рослин – 50–55 тис. на 1 га. Загальна кількість ділянок – 27.

Перед обробленням рослин гербіцидом обліковували видовий склад бур'янової рослинності на досліджуваних ділянках. Посіви соняшнику були засмічені осотом жовтим (*Sonchus arvensis* L.), мишієм сизим і зеленим (*Setaria glauca* L.), берізкою польовою (*Convolvulus arvensis* L.), гірчаком березкоподібним (*Polygonum convolvulus* L.), свинорием пальчатим [*Cynodon dactylon* (L.) Pers.], плоскухою звичайною (*Echinochloa crusgalli* L.), амброзією полинолистою (*Ambrosia artemisiifolia* L.), пириєм повзучим (*Agropyrum repens* L.), нетребою звичайною (*Xanthium strumarium* L.). Ділянки обприскували одноразово в ранковий час гербіцидом Гранстар Про 75%, водорозчинні гранули (в. г.) (активна речовина – трибенор-метил) із дозуванням 25 г/га, застосовуючи обприскувач Spray MASTER-2000 під час фази трьох пар справжніх листків. Стійкість самозапилених ліній соняшнику проти трибенурон-метилу оцінювали, підраховуючи чисельність стійких і нестійких рослин на 14-ту добу після оброблення. Нестійкі рослини характеризувалися припиненням росту, некрозом тканин та ураженням точки росту.

Для росту та розмноження пероноспорозу соняшнику необхідні сорти з високим рівнем сприйнятливості та без генів стійкості проти всіх відомих рас *P. halstedii*. Щоб одержати свіжі спорангії з високою життєздатністю, потрібно інокулювати їх на універсальний диференціатор (тобто на нестійку проти популяції НБ лінію).

Для оцінювання в лабораторних умовах стійкості ліній соняшнику проти несправжньої борошнистої роси відбирали їхнє насіння кількістю 30 шт. і розміщували його вздовж смужки фільтрувального паперу завширшки 10–15 см. Відстань між насіннями становила 1 см, від верхнього краю паперу – 2–3 см. Насіння накривали змоченою в дистильованій воді смужкою фільтрувального паперу завширшки 3–4 см, закручували в рулон, який поміщали в термостат за температури 22–24 °С та тримали там до формування проростків завдовжки 5–9 см. Наступний етап – розкручування рулонів та очищення сім'ядольних листків від лушпиння. Кожен зразок окремо заливали водним розчином, який містив спори збудника НБР, так, щоб повністю покрити паростки. Інокуляція тривала 3 год. Після цього паростки знову розкладали на фільтрувальний папір так, щоб

сім'ядольні листочки були розміщені вище від краю смужки, та фіксували їх ще однією смужкою. Потім утворені рулони поміщали в обладнану освітлювальними лампами установку. Проростки соняшнику витримували 7 дб у спеціальній освітлюваній установці, оснащій 15 енергоощадними люмінесцентними лампами потужністю 18 W та світловим потоком 1150 Lm, за температури, що досягла 26–28 °С. Після появи першої пари справжніх листків їх поміщали у вологу камеру для проявлення спороношень збудника. Далі підраховували кількість здорових і хворих рослин. Дослідження проводили в ізолюваному лабораторному приміщенні фітотрона, дотримуючись усіх санітарних правил.

Насіння досліджуваних ліній збирали вручну. Кожну ділянку обмолочували окремо, використовуючи кошики, розташовані під індивідуальними ізоляторами. Після цього насіння поміщали в паперові пакети.

Для визначення вмісту олії в одержаному насінні застосовували ядерно-магнітний резонатор Newport Oxford Instruments, Buckinghamshire, England [15].

Статистичне оброблення даних здійснювали, використовуючи інструменти програми «Excel». Межі граничних випадкових відхилень отриманих результатів визначали методом найменшої істотної різниці (НІР).

Результати досліджень

Самозапилені лінії соняшнику ОСУ 1511 В, ОСУ 1514 В, ОСУ 1515 В, ОСУ 1516 В, ОСУ 1519 В, ОСУ 1521 В, ОСУ 1522 В, ОСУ 1523 В, ОСУ 1527 В, ОСУ 1529 В, ОСУ 1530 В, ОСУ 1531 В, ОСУ 1532 В, ОСУ 1534 В, ОСУ 1535 В, ОСУ 1537 В, ОСУ 1539 В, ОСУ 1540 В, ОСУ 1541 В, ОСУ 1543 В, ОСУ 1546 В, ОСУ 1547 В, ОСУ 1548 В, ОСУ 1549 В, ОСУ 1551 В, ОСУ 1552 В, ОСУ 1553 В створено схрещуванням Sures 2 × ОС 1029 В, лінію ОСУ 1556 В – Sures 2 × ОС 1019 В, лінію ОСУ 1562 В – 5545 × Sures 1, лінії ОСУ 1563 В, ОСУ 1564 В, ОСУ 1565 В, ОСУ 1566 В – ОС 1026 В × Sures 2. Донорів Sures 1 та Sures 2, що характеризуються стійкістю проти гербіцидів групи сульфонілсечовин, отримано з National Germplasm Resources Laboratory (Nord Central Regional Plant Station, North Dakota, USA) ще у 2012 р. Ці лінії підтримують у колекційному розсаднику та щороку обприскують гербіцидом для збереження вказаної ознаки.

У праці S. Josić та ін. [16] зазначено, що донори стійкості (Sures 1 та Sures 2), які слугують для створення нових ліній соняшнику, витримують подвійну дозу (60 г/га) гербіци-

дів з активною речовиною трибенурон-метилом. Під час наших досліджень вищезазначені й, як наслідок, всі одержані лінії продемонстрували стійкість проти потрійної дози цього препарату (75 г/га). Як донорів стійкості проти НБР використано лінії ОС 1029 В та ОС 1019 В селекції СГП – НЦНС, теж адаптовані до умов недостатнього зволоження Південного Степу України [17, 18].

Генотип ОСУ 1562 Б представлено однокошиковим габітусом; інші самозапилені лінії –

багатокошиковим (табл. 1). Висота рослин змінювалася від 74 (лінія ОСУ 1519 В) до 122 см (лінія ОСУ 1540 В). Найменший діаметр кошика був в ОСУ 1516 В (у середньому – 6,3 см), найбільший – в ОСУ 1562 В (14,2 см). Період сходи – цвітіння тривав від 61 (ОСУ 1541 В, ОСУ 1546 В, ОСУ 1551 В та ОСУ 1553 В) до 72 діб (ОСУ 1556 В). Вміст олії в насінні не перевищував 45,1% (низький). Показники маси 1000 насінин також були невисокими – від 10 (ОСУ 1530 В) до 37,3 г (ОСУ 1565 В).

Таблиця 1

Кількісні та якісні показники самозапиленних ліній соняшнику (середнє за 2021–2023 рр.)

Лінія	Висота рослин, см	Діаметр кошика, см	Період сходи – цвітіння, діб	Вміст олії, %	Маса 1000 насінин, г
ОСУ 1511 В	112 ± 3,1*	10,6 ± 0,5	64 ± 2,3	36,8 ± 1,0	16,3 ± 0,7
ОСУ 1514 В	94 ± 7,1	9,1 ± 0,7	68 ± 1,8	37,6 ± 1,6	21,3 ± 0,9
ОСУ 1515 В	101 ± 7,3	8,6 ± 2,2	65 ± 1,2	39,2 ± 1,8	18,7 ± 0,7
ОСУ 1516 В	98 ± 1,2	6,3 ± 0,1	70 ± 1,2	38,3 ± 0,4	21,3 ± 0,9
ОСУ 1519 В	74 ± 10,4	11,9 ± 0,9	63 ± 2,0	41,9 ± 0,7	18 ± 1,2
ОСУ 1521 В	92 ± 8,7	10,1 ± 0,5	62 ± 1,8	41,7 ± 3,0	27,3 ± 1,2
ОСУ 1523 В	88 ± 24,5	8,9 ± 1,0	62 ± 2,3	38,5 ± 2,7	19,3 ± 1,2
ОСУ 1527 В	90 ± 13,5	10,8 ± 1,1	69 ± 1,5	35,8 ± 0,9	24,7 ± 0,7
ОСУ 1529 В	78 ± 8,8	9,6 ± 1,9	63 ± 1,8	42,3 ± 2,3	15,3 ± 0,3
ОСУ 1530 В	77 ± 6,4	10,3 ± 1,1	62 ± 2,0	33 ± 1,8	10 ± 1,2
ОСУ 1531 В	90 ± 6,7	10,4 ± 1,2	64 ± 1,7	42 ± 2,8	16 ± 1,2
ОСУ 1532 В	92 ± 14,0	8,8 ± 2,3	62 ± 1,5	40,8 ± 0,3	19,7 ± 1,5
ОСУ 1534 В	99 ± 14,3	11,8 ± 0,9	66 ± 2,4	46,3 ± 2,5	31 ± 2,1
ОСУ 1537 В	93 ± 12,1	11,4 ± 0,9	62 ± 1,2	39,1 ± 1,0	19 ± 0,6
ОСУ 1539 В	94 ± 9,5	11,3 ± 0,7	62 ± 1,9	45,1 ± 1,9	22,3 ± 1,3
ОСУ 1540 В	122 ± 3,6	9,6 ± 0,6	62 ± 1,9	42,4 ± 1,5	21,3 ± 0,9
ОСУ 1541 В	103 ± 7,2	9,5 ± 1,6	61 ± 1,0	41,6 ± 2,4	24,7 ± 2,0
ОСУ 1546 В	93 ± 8,2	10,8 ± 1,1	61 ± 1,5	40,9 ± 0,5	18,3 ± 1,2
ОСУ 1549 В	81 ± 7,3	9,3 ± 0,7	62 ± 1,5	39,9 ± 1,4	19,3 ± 1,9
ОСУ 1551 В	99 ± 0,7	9,4 ± 0,8	61 ± 1,7	43,1 ± 2,8	18 ± 1,5
ОСУ 1553 В	94 ± 15,2	8,8 ± 0,4	61 ± 1,5	40,5 ± 2,5	23,7 ± 1,8
ОСУ 1556 В	90 ± 6,0	7,7 ± 1,6	72 ± 1,5	42,6 ± 1,2	21,3 ± 0,9
ОСУ 1562 Б	81 ± 21,3	14,2 ± 0,6	63 ± 1,5	37,7 ± 1,4	26,7 ± 1,8
ОСУ 1563 В	89 ± 8,8	8,4 ± 1,3	70 ± 1,5	39,6 ± 1,1	29 ± 0,6
ОСУ 1564 В	95 ± 10,3	8,1 ± 2,1	67 ± 1,5	41,1 ± 1,1	21 ± 1,2
ОСУ 1565 В	103 ± 3,2	12,4 ± 0,4	62 ± 2,0	39,1 ± 1,8	37,3 ± 0,7
ОСУ 1566 В	88 ± 7,9	8,2 ± 0,7	63 ± 1,8	33,4 ± 1,2	32,3 ± 1,2

* ± – стандартне відхилення.

Новостворені самозапилені лінії також характеризувалися важливою ознакою стійкості проти несправжньої борошнистої роси (*P. halstedii*), збудник якої істотно впливає на врожайність соняшнику у процесі його вирощування. НБР значно поширена в усьому світі, а збиток, спричинений цим патогеном, може досягати 100%, особливо якщо хвороба виникає осередками. У більшості європейських країн збудник *P. halstedii* класифікують як карантинний шкідливий організм, але через значну поширеність його зараховують до регульованих некарантинних видів [19, 20].

Діагностику на стійкість проти збудника *P. halstedii* проводили в лабораторних умовах, підраховуючи чисельність здорових і вражених хворобою проростків ліній соняшнику (рис. 1). Найвищий рівень несприйнят-

ливості продемонстрували лінії, що є результатом схрещування Sures 2 × ОС 1029 В та Sures 2 × ОС 1019 В. А саме: ОСУ 1514 В, ОСУ 1515 В, ОСУ 1516 В, ОСУ 1519 В, ОСУ 1519 В, ОСУ 1521 В, ОСУ 1523 В, ОСУ 1527 В, ОСУ 1529 В, ОСУ 1530 В, ОСУ 1530 В, ОСУ 1531 В, ОСУ 1532 В, ОСУ 1534 В, ОСУ 1537 В, ОСУ 1539 В, ОСУ 1540 В, ОСУ 1541 В, ОСУ 1541 В, ОСУ 1546 В, ОСУ 1551 В, ОСУ 1553 В та ОСУ 1556 В. Дещо нижчий – ОСУ 1562 Б, ОСУ 1563 В, ОСУ 1564 В, ОСУ 1565 В та ОСУ 1566 В (зразки з високим рівнем стійкості отримано методом добору у 2022 р.). Загалом, усі лінії продемонстрували високу стійкість проти несправжньої борошнистої роси.

На рисунку 2 зображено прояв спороношень збудника несправжньої борошнистої роси на проростках ліній соняшнику, яке відбувалося в лабораторних умовах.

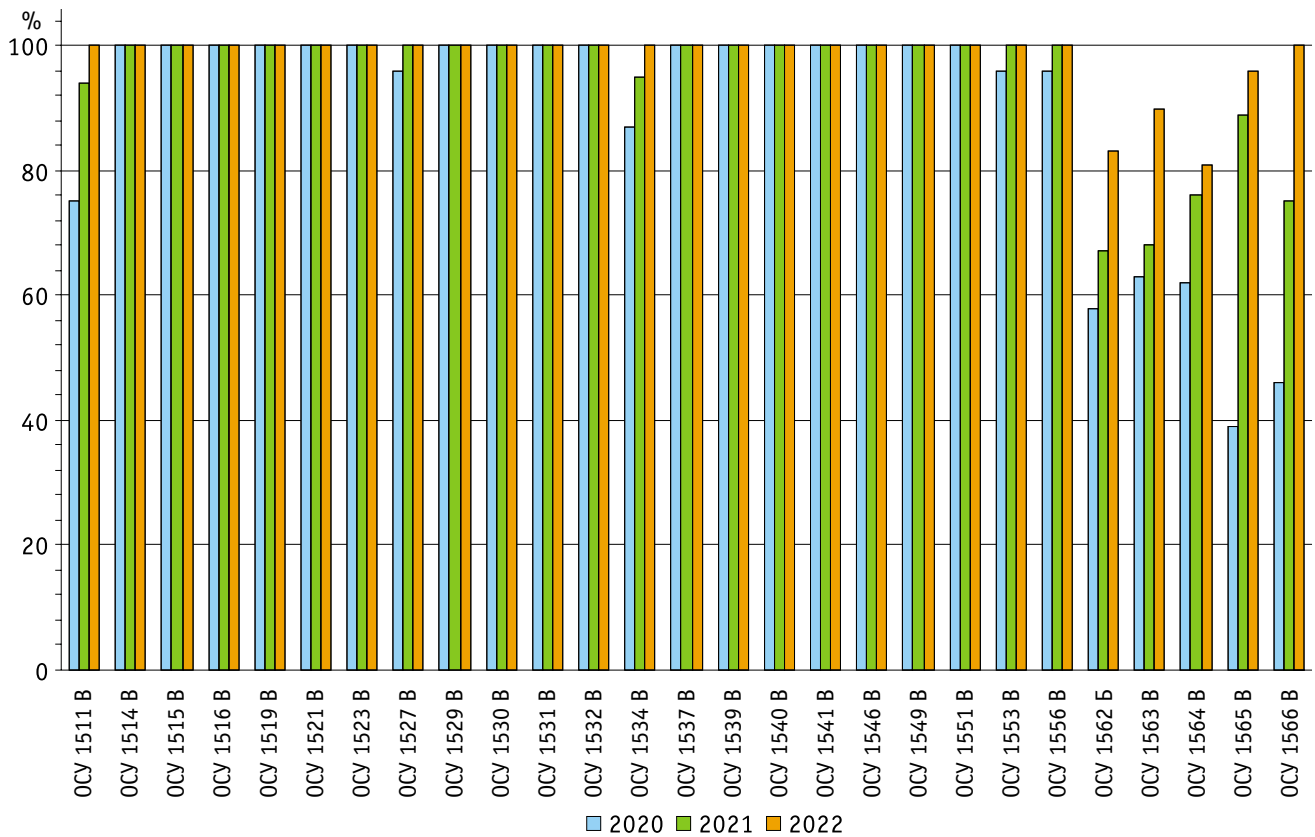


Рис. 1. Стійкість ліній соняшнику проти *P. halstedii* в лабораторних умовах (2020–2022 рр.)



а



б

Рис. 2. Інфікування проростків соняшнику збудником *P. halstedii* в лабораторних умовах: поява спороношення збудника після вологої камери (а), зразки соняшнику в освітлювальній установці (б)

Одна з головних ознак гібридів соняшнику – здатність на 1 га площі формувати високу врожайність. Вона прямо залежить від якості насіння, технології вирощування,

кліматичних умов, стану ґрунту та генетичного потенціалу батьківських компонентів.

У таблиці 2 вказано середню врожайність отриманих гібридів першого покоління, які

схрещували з трьома лініями-тестерами – Од 1002 А, Од 1008 А та Од 1042 А. Стандартом слугували гібрид лінолевого типу фірми Pioneer P64LE25 та трилінійні гібриди лінолевого типу селекції СГІ – НЦ НС ‘Бастіон’ і ‘Бар’ер’, що формували високі врожаї в засушливих умовах Південного Степу України.

Таблиця 2

Середня врожайність гібридів соняшнику, стійких проти гербіцидів групи сульфонілсечовин, т/га (2020–2023 рр.)

♂ \ ♀	Од 1002 А	Од 1008 А	Од 1042 А
ОСУ 1515 В	1,47	1,55	1,52
ОСУ 1516 В	1,16	1,01	1,04
ОСУ 1519 В	1,47	1,29	1,22
ОСУ 1521 В	1,19	1,74	1,37
ОСУ 1522 В	1,77	1,19	1,50
ОСУ 1523 В	1,73	1,33	1,30
ОСУ 1527 В	0,91	1,36	1,06
ОСУ 1529 В	1,97	1,40	1,41
ОСУ 1530 В	1,43	1,30	1,18
ОСУ 1532 В	1,05	1,48	0,88
ОСУ 1534 В	1,55	1,63	1,29
ОСУ 1535 В	1,74	1,49	1,88
ОСУ 1537 В	1,51	1,49	1,37
ОСУ 1539 В	1,46	1,27	1,53
ОСУ 1540 В	1,70	1,64	1,32
ОСУ 1541 В	1,57	1,29	1,56
ОСУ 1543 В	1,49	1,51	1,43
ОСУ 1546 В	1,42	1,37	1,36
ОСУ 1547 В	1,31	1,26	1,41
ОСУ 1548 В	1,79	1,74	1,15
ОСУ 1549 В	1,91	1,44	1,57
ОСУ 1552 В	1,53	1,70	1,71
ОСУ 1553 В	1,59	1,72	1,52
‘P64LE25’ St	1,98	1,98	1,98
‘Бастіон’ St	1,86	1,86	1,86
‘Бар’ер’ St	1,98	1,98	1,98
НІР _{0,05}	0,18	0,19	0,18
НІР _{0,01}	0,24	0,26	0,24

Примітка. ♂ – батьківська форма; ♀ – материнська форма; St – стандарт.

Упродовж 2020–2023 рр. врожайність майже всіх одержаних гібридів перевищувала 1,0 т/га. Її показник для гібридів першого покоління (F_1), утворених завдяки схрещуванню з материнською лінією Од 1002 А, становив від 0,91 (ОСУ 1529 В) до 1,97 т/га (ОСУ 1529 В). Врожаї гібридів Од 1002 А × ОСУ 1529 В та Од 1002 А × ОСУ 1549 В були на рівні сформованих стандартами ‘P64LE25’ і ‘Бар’ер’ – 1,97 та 1,91 т/га відповідно (НІР_{0,05} = 0,18); гібридних комбінацій Од 1002 А × ОСУ 1522 В, Од 1002 А × ОСУ 1523 В, Од 1002 А × ОСУ 1535 В, Од 1002 А × ОСУ 1540 В, Од 1002 А × ОСУ 1548 В – на рівні продемонстрованих ‘Бастіоном’ – 1,77; 1,73; 1,74; 1,70 та 1,79 т/га. Решта отриманих гібридів істотно поступалися стандартам за врожайністю.

Серед гібридних комбінацій, що виникли внаслідок схрещувань з лінією-тестером Од 1008 А, близькою до сформованої ‘Бастіоном’ врожайністю (1,86 т/га) характеризувалися Од 1008 А × ОСУ 1521 В, Од 1008 А × ОСУ 1548 В, Од 1008 А × ОСУ 1552 В та Од 1008 А × ОСУ 1553 – 1,74; 1,74; 1,70 та 1,72 т/га відповідно. Усі інші суттєво поступалися стандартам (НІР_{0,05} = 1,9).

Урожайність гібридів F_1 , утворених завдяки схрещуванню з лінією Од 1042 А, варіювала від 0,88 до 1,88 т/га. Їхне значення в Од 1042 А × ОСУ 1535 було на рівні показників гібридів-стандартів ‘P64LE25’ (1,98 т/га) і ‘Бар’ер’ (1,98 т/га) та становило 1,88 т/га.

Висновки

За результатами досліджень встановлено, що стійкість проти гербіциду групи сульфонілсечовин і несправжньої борошнистої роси можна поєднати в одній лінії. За стійкістю соняшнику проти гербіциду легко слідкувати в польових умовах, оскільки під час оброблення селекційного матеріалу препаратом сприйнятливі до нього рослини гинуть. Стійкість соняшнику проти несправжньої борошнистої роси потрібно контролювати в лабораторії, адже лише там можна досягти необхідних для стабільного прояву збудника хвороби погодних умов.

Створений новий вихідний матеріал – константні, стабільно продуктивні лінії (серед яких лінії-відновники фертильності пилку), застосовувані в подальшій селекційній програмі.

References

- Mazur, S., & Matusevych, H. (2023). Influence of soil herbicides on biometric indicators and yield of sunflower. *Balanced Nature Using*, 1, 90–96. doi: 10.33730/2310-4678.1.2023.278544 [In Ukrainian]
- Gutyansky, R., Popov, S., Kostromitin, V., Kuzmenko, N., & Gluboky, O. (2021). The influence of basic tillage and fertilizer on weediness of sunflower crops. *Ukrainian Black Sea Region Agrarian Science*, 1, 60–68. doi: 10.31521/2313-092X/2021-1(109) [In Ukrainian]
- Rauf, S. (2019). Breeding strategies for sunflower (*Helianthus annuus* L.) genetic improvement. *Advances in Plant Breeding Strategies: Industrial and Food Crops*, 6, 637–673. doi: 10.1007/978-3-030-23265-8_16
- Krivenko, A. I., Pochkolina, S. V., & Bezedi, N. G. (2019). Weeds Species in winter wheat crops depending on predecessors and different systems of basic cultivation in the Black Sea Steppe Region. *Taurian Scientific Herald*, 108, 54–62. doi: 10.32851/2226-0099.2019.108.8 [In Ukrainian]
- Tan, S., Evans, R. R., Dahmer, M. L., Singh, B. K., & Shaner, D. L. (2005). Imidazolinone tolerant crops: history, current status and future. *Pest Management Science*, 61(3), 246–257. doi: 10.1002/ps.993
- Dicu, G., Dumitrescu, N., Radu, M., Fui, S., & Diaconescu, O. (2009). Improving sunflower for resistance to *Orobanche* and tribenuron methyl herbicides-sunflower hybrid PF100. *Helia*, 32(51), 119–125. doi: 10.2298/HEL0951119D

7. Mitkov, A., Yanev, M., Neshev, N., Tonev T., Joița-Păcureanu, M., & Cojocaru, F. (2019). Efficacy against broomrape and selectivity of imazamox-containing herbicides in sunflower. *Romanian Agricultural Research*, 36, 201–207. doi: 10.59665/rar3623
8. Atlagić, J., & Terzić, S. (2016). The challenges of maintaining a collection of wild sunflower (*Helianthus*) species. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 63(7), 1219–1236. doi: 10.1007/s10722-015-0313-8
9. Seiler, G., Gulya, T., & Marek, L. (2023). Fifty years of collecting wild *Helianthus* species for cultivated sunflower improvement. *Helia*, 46(78), 1–51. doi: 10.1515/helia-2023-0003
10. Koleshkova, T. N., Riabchun, V. K., Leonova, N. M., Leonov, O. Yu., Kuzmishina, N. V., Suprun, O. H., Ilchenko, N. K., & Sheliakina, T. A. (2016). Formation of a working collection of sunflower varieties by protein and oil contents in seeds. *Plant Genetic Resources*, 19, 102–117 [In Ukrainian]
11. Al-Khatib, K., & Miller, J. F. (2000). Registration of four genetic stocks of sunflower resistant to imidazolinone herbicides. *Crop Science*, 40(3), Article 869.
12. Miller, J. F., & Al-Khatib, K. (2004). Registration of two oilseed sunflower genetic stocks, SURES-1 and SURES-2 resistant to tribenuron herbicide. *Crop Science*, 44(3), 1037–1039. doi: 10.2135/cropsci2004.1037
13. Molinero-Ruiz, L. (2022). Sustainable and efficient control of sunflower downy mildew by means of genetic resistance: a review. *Theoretical and Applied Genetics*, 135(1), 3757–3771. doi: 10.1007/s00122-022-04038-7
14. Ban, R., Kiss, J., Palinkas, Z., & Körösi, K. (2023). Placing Management of Sunflower Mildew (*Plasmopara halstedii* (Farl.) Berl. et de Toni) under an Integrated Pest Management (IPM) System Approach: Challenges and New Perspectives. *Agronomy*, 13(4), Article 1029. doi: 10.3390/agronomy13041029
15. Firestone, D. (Ed.). (1998). *Official methods and recommended practices of the American Oil Chemists' Society* (5th ed.). Champaign: AOCS Press.
16. Jocić, S., Malidža, G., Cvejić, S., Hladni, N., Miklič, V., & Škorić, D. (2011). Development of sunflower hybrids tolerant to tribenuron-methyl. *Genetika*, 43(1), 175–182. doi: 10.2298/GEN-SR1101175J
17. Solodenko, A. Ye., Fayt, V. I., Christodorova, K. M., & Varenyk, B. F. (2017). Using of DNA markers of gene PLARG while creating of resistant to downy mildew sunflower (*Helianthus annuus* L.) inbred lines. *Collected Scientific Articles of PBGI – NCSCI*, 30, 53–60 [In Ukrainian]
18. Solodenko, A. Ye., Varenyk, B. F., Alexandrova, O. Ye., & Syvolap, Yu. M. (2013). Downy mildew race composition and definition of resistance of sunflower lines. *Collected Scientific Articles of PBGI – NCSCI*, 22, 134–140 [In Ukrainian]
19. Picard, C., Afonso, T., Benko-Beloglavec, A., Karadjova, O., Matthews-Berry, S., Paunovic, S. A., ... Ward, M. (2018). Recommended regulated non-quarantine pests (RNQPs), associated thresholds and risk management measures in the European and Mediterranean region. *EPPPO Bulletin*, 48(3), 552–568. doi: 10.1111/epp.12500
20. Kutishcheva, N. M., Shugurova, N. O., Krasnokutska, Y. V., Odinets, S. I., & Shudria, L. I. (2023). Scientific and applied aspects of sunflower breeding for the pathogen complex. *Scientific & Technical Bulletin of the Institute of Oilseed Crops NAAS*, 35, 40–50. doi: 10.36710/IOC-2023-35-04 [In Ukrainian]

UDC 633.15:631.9:527

Ilchenko, A. S. *, Varenyk, B. F., & Karapira, S. I. (2024). Selection evaluation of new self-pollinated sunflower (*Helianthus annuus* L.) lines with resistance to sulfonylurea herbicides and downy mildew [*Plasmopara halstedii* (Farl.) Berl. et de Toni]. *Plant Varieties Studying and Protection*, 20(1), 19–25. <https://doi.org/10.21498/2518-1017.20.1.2024.300134>

Plant Breeding & Genetics Institute – National Center of Seeds and Cultivar Investigation, 3 Ovidiopolska doroha St., Odesa, 65036, Ukraine, e-mail: alena_1410@ukr.net

Purpose. To determine the breeding value of a new sunflower source with complex resistance to sulfonylurea herbicides and downy mildew. **Methods.** In the research process, field (hybridization, line testing, individual selection, line evaluation), visual (phenological observations), laboratory (immunological evaluation of resistance to DM), vegetation (evaluation of resistance to herbicides) and mathematical and statistical (processing of experimental data and determination of reliability of research results) methods were used. **Results.** During 2020–2023, new self-pollinated sunflower lines were studied in the cross-pollination and breeding department of the Plant Breeding & Genetics Institute – National Center of Seeds and Cultivar Investigation (PBGI – NCSCI). Based on the results of the work, 33 self-pollinated sunflower lines with complex resistance to sulfonylurea herbicides and downy mildew (DM) were created and evaluated. The lines were created using domestic breeding populations that were able to reach their full genetic potential in various conditions. These populations were adapted to cultiva-

tion in the southern steppe of Ukraine and were resistant to a complex of diseases and pests. Additionally, they had increased seed yield and plasticity. The new source material obtained is constant, stably productive lines used in the subsequent breeding programme. According to the results of the trials, almost all the hybrids obtained (F₂) showed a yield of more than 1.0 t/ha. Lines with the highest level of combining ability in terms of yield (heterozygous hybrid progeny with increased viability for the main economic and valuable traits) will be selected for further research and will be involved in the creation of new hybrids resistant to sulfonylurea herbicides and DM. **Conclusions.** Research showed that traits such as sulfonylurea herbicide resistance and downy mildew resistance can be combined in one line. Herbicide resistance in sunflowers is easy to control in the field, while downy mildew resistance needs to be controlled in the laboratory.

Keywords: sunflower; lines; resistant; herbicides; tribenuron-methyl; downy mildew.

Надійшла / Received 09.02.2024
Погоджено до друку / Accepted 15.03.2024

Evaluation of the productivity potential of eggplant lines developed on the basis of interspecific hybridisation and gametic breeding

S. I. Kondratenko^{*1}, O. P. Samovol¹, O. V. Serhiienko¹, Yu. V. Tkalych², A. O. Marusyak¹

¹*Institute of Vegetable and Melon Growing, NAAS of Ukraine, 1 Institutaska St., Sekeksiine village, Kharkiv district, Kharkiv region, 62478, Ukraine, *e-mail: shtirlitsmail@gmail.com*

²*Chernihiv branch of the Ukrainian Institute of Plant Varieties Examination, 103 Shevchenko St., Khaliavyn village, Chernihiv district, Chernihiv region, 15524, Ukraine*

Purpose. Improvement of the gene pool of the cultivated form of eggplant (*Solanum melongena* L.) through interspecific hybridisation with *Solanum aethiopicum* L. and gametic breeding; analysis of the interspecific lines for a set of valuable quantitative traits determining the yield structure. **Methods.** Studies for the comprehensive evaluation of eggplant lines of interspecific origin were carried out during 2021–2023 in protected soil conditions at the experimental base of the Institute of Vegetable and Melon Growing of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine. Phenological observations and biometric measurements of plants of four lines were carried out. The stability of the manifestation of seven quantitative traits during the research years was determined by the methods of variation statistics [calculation of the mean square deviation (σ), coefficient of variation (V), Pearson's paired linear correlation (r_p)]. **Results.** The analysis identified eggplant lines of interspecific origin that were superior to the standard variety 'Almaz' in terms of the level and stability of quantitative traits. Thus, F_6 (Pavlotas-20 / 'Almaz') I_1 and $BC_1[F_5$ (Pavlotas-20 / 'Almaz')] I_1 showed a statistically significant increase in fruit width (by 16.48% and 14.85%, respectively). Meanwhile, line $BC_2[F_5$ (Pavlotas-20 / 'Almaz')] I_1 exhibited higher productivity (by 18.11%) compared to the standard variety. The correlation analysis shows that the trait "Productivity of one plant" has a strong positive relationship with the trait "Number of fruits per plant" ($r_p = 0.75$) and a strong negative relationship with "Average fruit width" ($r_p = -0.70$) and "Duration of the period from mass germination to technical fruit maturity" ($r_p = -0.72$). The selected line $BC_2[F_5$ (Pavlotas-20 / 'Almaz')] I_1 exhibited a four-day shorter period from mass germination to technical fruit maturity compared to the standard variety. **Conclusions.** The line $BC_2[F_5$ (Pavlotas-20 / 'Almaz')] I_1 was isolated based on the complex of quantitative traits. It underwent an additional stage of gametophytic breeding, resulting in a high adaptive potential to growing conditions.

Keywords: quantitative traits; genetic alignment; correlations; gametophytic progeny; breeding.

Introduction

Eggplants are a vegetable that belongs to the nightshade family and is widely consumed throughout the world, particularly in Africa and Southeast Asia [1, 2]. They have significant nutritional and medicinal value, with the fruits being rich in protein components, minerals, and antioxidants [2]. However, the commercial cultivation of eggplants faces several stress factors in agrocenoses, including both biotic factors such as heat and drought, and abiotic factors such as disease agents like fusarium wilt, verticillium wilt etc. [3, 4]. Certain species of night-

shade plants, which are closely related to the cultivated form of eggplant, possess resistance to the most prevalent fungal diseases. This makes them valuable sources for the introduction of relevant beneficial genes through interspecific hybridization with *S. melongena* [5]. One such species is *S. aethiopicum* Gilo group, which freely hybridizes with the cultivated form of eggplant and is therefore widely used in introgressive breeding [6, 7].

Solanum aethiopicum Gilo group, also known as the red eggplant, is closely related to *Solanum melongena* and is therefore valuable for both genetic improvement and as a potential rootstock. It is a carrier of genes that confer resistance to *Fusarium oxysporum* f. sp. *melongenae*, *Verticillium dahliae*, and gall nematodes [8]. As "red eggplants" are a cultivated species, they do not exhibit the undesirable characteristics typically found in the wild relatives of eggplants, such as small fruits, thorns, and high concentrations of saponins and glycoalkaloids [9]. *S. aethiopicum* is distinguished by a wide range of genetic and morphological diversity and has a diploid set of chromosomes ($2n = 24$)

Serhii Kondratenko

<https://orcid.org/0000-0002-8859-1604>

Oleksii Samovol

<https://orcid.org/0000-0002-6798-7378>

Oksana Serhiienko

<https://orcid.org/0000-0002-2754-306X>

Yurii Tkalych

<https://orcid.org/0000-0002-4898-1245>

Andriy Marusyak

<https://orcid.org/0009-0008-7188-0240>

[6, 10]. The genetic diversity serves as the foundation for broadening the range of genotypic variability in interspecies hybrid offspring. This variability can manifest in both quantitative and qualitative traits that are valuable for breeding prior to the commencement of the crossbreeding program [2]. Although the sexual interspecific hybrids between *S. melongena* and *S. aethiopicum* are highly sterile, it has been demonstrated that recombination between these two genomes is possible, and that backcrossing hybrid generations from *S. melongena* with useful introgressions from the *S. aethiopicum* Gilo group can occur [11].

It is widely acknowledged that natural selection during the haploid gametophytic phase of a plant's life cycle can play a significant role in accelerating evolution and maintaining genetic variation. Recent theoretical advancements have further highlighted the significance of gametophytic breeding for various evolutionary processes [12]. Specifically, it has been demonstrated that gametophyte breeding has an impact on the evolution and adaptation of plants [13]. Haploid gametophytes and diploid sporophytes are subject to different selection pressures due to their difference in ploidy. The gametophyte lacks heterozygosity, which prevents the expression of dominance effects. Despite their different morphology, gametophytes and sporophytes typically express similar sets of genes, ranging from 60 to 90% [13]. The advantages of pollen breeding are indisputable, as it allows for the involvement of a large number of genotypes in artificial selection and creates high selection "pressure" under strictly controlled environmental conditions. Furthermore, gametic breeding has been shown to affect the ecological stability of both vegetative and reproductive organs of the sporophyte (i.e. the adult plant), as convincingly demonstrated in tomato [14].

Between 2006 and 2018, the Institute of Vegetable and Melon Growing of the National Academy of Agrarian Sciences developed tomato and cucumber lines using single and double gametophyte breeding. The single gametophytic breeding resulted in an increased number of fruits on the first three panicles of cultivated tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) lines compared to the control [15]. Treating cucumber pollen with a high positive temperature (+60 °C) enabled the creation of gametophytic offspring that exhibit both high resistance to high positive daytime temperatures and productivity [16].

Based on the above, the research program for the creation of promising lines of eggplant based on interspecific hybridization provided for an additional series of experiments to increase

their adaptive potential by achieving the effect of gametophyte breeding.

The aim of this research is to comprehensively assess eggplant lines of interspecies origin based on the level of manifestation of quantitative traits that are structural components of productivity and the length of the growing season. The research also aims to determine the degree of effectiveness of gametophytic breeding for the creation of highly productive lines.

Materials and Methods

The study was conducted in the forest-steppe zone of Ukraine using the generally accepted technology for growing eggplants in protected soil conditions; "The methodology of experimental work in vegetable and melon growing" was followed [17]. An unheated glass greenhouse with an area of 1000 m² was used, and the experimental samples of eggplant were grown by the seedling method. Seeds were sown in March of the second decade, and seedlings were planted in protected soil in May of the third decade. The planting scheme used was 0.45 × 0.7 m, and the accounting plots covered an area of 10.08 m² with one repetition.

Until 2021, backcross (saturating) crossings were conducted between the interspecific Pavlotas-20 line [F₁₂ (*S. melongena* 'Fialka' / *S. aethiopicum*)] and the cultivated eggplant variety 'Almaz' (*S. melongena*). As a result, four promising lines were obtained: Pavlotas-20 (large-fruited KSN), F₆ (Pavlotas-20 / 'Almaz')I₁, BC₁[F₅ (Pavlotas-20 / 'Almaz')]I₁, and BC₂[F₅ (Pavlotas-20 / 'Almaz')]I₁. Breeding work was carried out to select the best in terms of productivity and length of the growing season. To enhance abiotic resistance, the proposed research program aimed to incorporate gametophyte breeding methods and elevated daytime temperatures into the breeding process for developing a new linear eggplant material. During the 2021–2023 research program, an experiment on gamete breeding was conducted on one of the high-yielding lines, BC₂[F₅ (Pavlotas-20 / 'Almaz')]I₁. The experiment involved incubating the line's own pollen, which had been subjected to temperature processing (+60 °C) for 2 hours, before pollination.

The following samples were studied: Pavlotas-20 (large-fruited KSN), F₆ (Pavlotas-20 / 'Almaz')I₁, BC₁[F₅ (Pavlotas-20 / 'Almaz')]I₁, and BC₂[F₅ (Pavlotas-20 / 'Almaz')]I₁.

The eggplant variety 'Almaz' from the breeding of the Donetsk Experimental Station of the IVM of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine was used as the standard.

The linear samples were selected following the existing methodical instructions for egg-

plant breeding and seed production, as well as the method of field experiments in vegetable production [18]. During the analysis of the selections, the manifestation of the following quantitative characteristics was studied in the work: “Number of fruits on a plant”; “Average fruit length”; “Average fruit width”; “Fruit shape index”; “Average fruit weight”; “Productivity of a plant”; “Duration of the period from mass germination to technical fruit maturity”.

Statistical calculations were performed by considering the annual improvement breeding of 8–10 plants from each selected linear sample of eggplant. The study used the following statistical indicators as criteria for investigating the genetic stability of quantitative traits: mean square deviation (σ), coefficient of variation (V), and amplitude of variation (A_m). The research results’ primary experimental data underwent processing using variational statistical methods [19].

Results and discussion

An important indicator for determining the productivity potential of the eggplant is the number of fruits formed on the plants. Table 1 summarises the quantitative data for this indicator. The range of variation for the trait “Number of fruits on one plant” in the group of linear genotypes of interspecies origin was between 5.0 and 6.16 pcs. In the standard variety ‘Almaz’, this indicator was found to be $X_{med} = 5.71 \pm 0.56$ pcs. All studied lines, except for $BC_2[F_5$ (Pavlotas-20 / ‘Almaz’)] I_1 , did not show a statistically significant increase in this indicator. The number of fruits in $BC_2[F_5$ (Pavlotas-20 / ‘Almaz’)] I_1 showed a tendency towards an increase ($X_{med} = 6.16 \pm 0.59$ pcs.), while the other lines were inferior to the standard variety. The line with the smallest number of fruits was $BC_1[F_5$ (Pavlotas-20 / ‘Almaz’)] I_1 ($X_{med} = 3.75 \pm 0.58$ pcs.) (Table 1).

Table 1
Variation of the trait “Number of fruits on a plant” in linear eggplant samples, pcs (average for 2021–2023)

Sample	$X_{med} \pm m_x$	X_{min}	X_{max}	σ	$V, \%$
Variety ‘Almaz’, standard	5.71 ± 0.56	3.0	9.0	2.09	36.6
Pavlotas-20 (large-fruited KSN)	5.0 ± 0.75	2.0	11.0	2.59	51.9
F_6 (Pavlotas-20 / ‘Almaz’) I_1	4.60 ± 0.43	3.0	7.0	1.35	29.4
$BC_1[F_5$ (Pavlotas-20 / ‘Almaz’)] I_1	3.75 ± 0.58	2.0	9.0	2.01	53.5
$BC_2[F_5$ (Pavlotas-20 / ‘Almaz’)] I_1	6.16 ± 0.59	3.0	14.0	2.59	42.0
X_{min}	3.75	2.0	7.0	1.35	29.4
X_{max}	6.16	3.0	14.0	2.59	53.5
$A_m = X_{max} - X_{min}$	2.41	1.0	7.0	1.24	24.1

When analysing the statistical indicators of the stability level of this trait, it is important to note its strong variability over the years of research, depending on the growing conditions. The standard variety ‘Almaz’ (36.6%), the Pavlotas-20 line (large-fruited KSN) (51.87%), $BC_1[F_5$ (Pavlotas-20 / ‘Almaz’)] I_1 (53.48%) and $BC_2[F_5$ (Pavlotas-20 / ‘Almaz’)] I_1 (42.0%) crossed the limit of 33.3% in terms of the coefficient of variation (V). The only exception was line F_6 (Pavlotas-20 / ‘Almaz’) I_1 (29.4%).

The indicator “mean square deviation (σ)” is used in the theory of mathematical statistics to measure the dispersion of values of a random variable relative to its center of distribution. In this sample of investigated eggplant samples, the indicator varied from 1.35 to 2.59. Line F_6 (Pavlotas-20 / ‘Almaz’) I_1 ($\sigma = 1.35$; $V = 29.4\%$) was the most stable according to two statistical indicators in terms of the number of formed fruits. The standard variety had corresponding indicators of $\sigma = 2.09$; $V = 36.6\%$ (Table 1).

Quantitative characteristics that determine the morphometric indicators of the fruit are im-

portant structural components of the productivity of breeding valuable eggplant samples. Namely, their length and width. As a rule, the level of these indicators has a direct correlation with the weight of the fruit of plants within a given varietal or linear population. Data based on the results of biometric measurements of fruit length are summarised in Table 2. In particular, for linear samples, the variation in the level of manifestation of the quantitative characteristic “Mean fruit length” was 12.95–14.83 cm. For the standard variety ‘Almaz’, this indicator was $X_{med} = 15.58 \pm 0.74$ cm. This means that none of the tested lines exceeded the variety ‘Almaz’ in a statistically reliable way according to this indicator. The highest given indicator was in line Pavlotas-20 (large-fruited KSN) ($X_{med} = 14.83 \pm 0.68$ cm), the lowest in line $BC_2[F_5$ (Pavlotas-20 / ‘Almaz’)] I_1 ($X_{med} = 13.33 \pm 0.48$ cm) (Table 2).

Based on the manifestation of this quantitative trait, all linear samples and the ‘Almaz’ variety exhibited weak variation ($V = 15.5... 31.2\%$). The most unstable line was $BC_1[F_5$

(Pavlotas-20 / 'Almaz')I₁ ($\sigma = 4.55$, $V = 31.2\%$). The line BC₂[F₅ (Pavlotas-20 / 'Almaz')]I₁ ($\sigma = 2.07$, $V = 15.5\%$) was the most stable. In the standard variety, the indicators were: $\sigma = 2.76$; $V = 17.7\%$.

Table 3 summarises the results of research on measuring and calculating the width of eggplant fruits in experimental samples. The quan-

titative trait 'Average fruit width' varied between 5.63 and 6.43 cm in linear genotypes. The expression levels of this trait in the two lines Pavlotas-20 (large-fruited KSN) and BC₂[F₅ (Pavlotas-20 / 'Almaz')]I₁ ($X_{med} = 5.63 \pm 0.29$ cm) were almost the same as the standard variety 'Almaz' ($X_{med} = 5.52 \pm 0.35$ cm). These lines also had the smallest fruit width (Table 3).

Table 2

Variation for "Average fruit length" in linear eggplant samples, cm
(average for 2021–2023)

Sample	$X_{med} \pm m_x$	X_{min}	X_{max}	σ	$V, \%$
Variety 'Almaz', standard	15.58 ± 0.74	10.90	20.45	2.76	17.7
Pavlotas-20 (large-fruited KSN)	14.83 ± 0.68	11.02	18.33	2.34	15.8
F ₆ (Pavlotas-20 / 'Almaz')I ₁	12.95 ± 0.75	10.20	17.53	2.36	18.3
BC ₁ [F ₅ (Pavlotas-20 / 'Almaz')]I ₁	14.59 ± 1.31	8.80	22.50	4.55	31.2
BC ₂ [F ₅ (Pavlotas-20 / 'Almaz')]I ₁	13.33 ± 0.48	10.43	19.10	2.07	15.5
X_{min}	12.95	8.80	17.53	2.07	15.5
X_{max}	15.58	11.02	22.50	4.55	31.2
$A_m^{max} = X_{max} - X_{min}$	2.63	2.22	4.97	2.48	15.7

Table 3

Variation of the trait "Average fruit width" in linear eggplant samples, cm
(average for 2021–2023)

Sample	$X_{med} \pm m_x$	X_{min}	X_{max}	σ	$V, \%$
Variety 'Almaz', standard	5.52 ± 0.35	3.50	8.0	1.31	23.8
Pavlotas-20 (large-fruited KSN)	5.63 ± 0.29	4.17	7.50	1.0	17.9
F ₆ (Pavlotas-20 / 'Almaz')I ₁	6.43 ± 0.28	4.50	7.50	0.87	13.6
BC ₁ [F ₅ (Pavlotas-20 / 'Almaz')]I ₁	6.34 ± 0.36	4.40	8.50	1.24	19.6
BC ₂ [F ₅ (Pavlotas-20 / 'Almaz')]I ₁	5.63 ± 0.29	4.14	9.40	1.25	22.2
X_{min}	5.52	3.50	7.50	0.87	13.6
X_{max}	6.43	4.50	9.40	1.31	23.8
$A_m^{max} = X_{max} - X_{min}$	0.91	1.0	1.90	0.44	10.2

Lines F₆(Pavlotas-20 / 'Almaz')I₁ and BC₁[F₅ (Pavlotas-20 / 'Almaz')]I₁ showed a statistically significant increase in fruit width of 14.85–16.48% compared to the standard variety. The fruit width measurements for line F₆(Pavlotas-20 / 'Almaz')I₁ were $X_{med} = 6.43 \pm 0.28$ cm, while for line BC₁[F₅ (Pavlotas-20 / 'Almaz')]I₁ they were $X_{med} = 6.34 \pm 0.36$ cm.

All eggplant samples examined showed a high stability in the manifestation of the trait "Average fruit width", as indicated by two statistical measures: the coefficient of variation (V) and the average standard deviation (σ). The "Mean square deviation" indicator showed discrepancies of $\sigma = 0.87...1.31$, while the coefficient of variation was $V = 13.6...23.8\%$ (refer to Table 3). The most stable line was BC₁[F₅ (Pavlotas-20 / 'Almaz')]I₁ ($\sigma = 0.87$; $V = 13.4\%$). The 'Almaz' variety has the following indicators: $\sigma = 1.31$, $V = 23.8\%$. This means that 'Almaz' was less stable in expressing the quantitative trait "Average fruit width" compared to linear genotypes.

One of the important indicators of the degree of alignment of the linear material of the eggplant is the variation of the "Fruit shape index"

indicator. The results of the biometric calculations for this characteristic are summarised in Table 4. Among the investigated lines of variation of this characteristic within plant populations, there was a rather low range according to the statistical indicator – mean square deviation ($\sigma = 0.29...0.50$) and coefficient of variation ($V = 14.1...18.6\%$). The line BC₂[F₅ (Pavlotas-20 / 'Almaz')]I₁ showed the highest statistical indicators of instability, with $\sigma = 0.45$ and $V = 18.6\%$. In comparison, the standard variety 'Almaz' had $\sigma = 0.80$ and $V = 26.8\%$ (Table 4). The Pavlotas-20 line (large-fruited KSN) had the highest level of manifestation of the quantitative trait "Fruit shape index" with $X_{med} = 2.70 \pm 0.14$, while the standard variety had $X_{med} = 2.99 \pm 0.21$. The quantitative characteristic's range of variation for all linear samples was between 2.04 and 2.70 (Table 4).

Table 5 shows the expression levels of the trait "Average fruit weight" in linear samples and intermediate F₁ hybrids of eggplant. The results indicate that this quantitative trait is highly dependent on growing conditions and exhibits high instability of expression, as demon-

strated by the range of values for statistical indicators such as “mean square deviation” ($\sigma = 50.25...137.41$) and “coefficient of variation” ($V = 24.2...52.0\%$).

Table 4

Variation of the trait “Fruit shape index” in linear eggplant samples (average for 2021–2023)

Sample	$X_{med} \pm m_x$	X_{min}	X_{max}	σ	$V, \%$
Variety ‘Almaz’, standard	2.99 ± 0.21	1.65	4.05	0.80	26.8
Pavlotas-20 (large-fruited KSN)	2.70 ± 0.14	1.67	3.30	0.50	18.4
F_6 (Pavlotas-20 / ‘Almaz’)I ₁	2.04 ± 0.09	1.58	2.65	0.29	14.1
$BC_1[F_5$ (Pavlotas-20 / ‘Almaz’)I ₁	2.28 ± 0.10	1.77	2.89	0.35	15.2
$BC_2[F_5$ (Pavlotas-20 / ‘Almaz’)I ₁	2.45 ± 0.10	1.70	3.34	0.45	18.6
X_{min}	2.04	1.58	2.65	0.29	14.1
X_{max}	2.99	1.77	4.05	0.80	26.8
$A_m = X_{max} - X_{min}$	0.95	0.19	1.40	0.52	12.7

Table 5

Variation of the trait “Average fruit weight” in linear eggplant samples, g (average for 2021–2023)

Sample	$X_{med} \pm m_x$	X_{min}	X_{max}	σ	$V, \%$
Variety ‘Almaz’, standard	186 ± 18.61	95.50	304.0	69.65	37.5
Pavlotas-20 (large-fruited KSN)	219 ± 17.26	116.67	336.25	59.78	27.4
F_6 (Pavlotas-20 / ‘Almaz’)I ₁	208 ± 15.89	131.75	274.0	50.25	24.2
$BC_1[F_5$ (Pavlotas-20 / ‘Almaz’)I ₁	292 ± 39.67	107.40	516.50	137.41	47.1
$BC_2[F_5$ (Pavlotas-20 / ‘Almaz’)I ₁	204 ± 24.30	101.57	589.0	105.90	52.0
X_{min}	186	95.50	274.0	50.25	24.2
X_{max}	292	131.75	589.0	137.41	52.0
$A_m = X_{max} - X_{min}$	106	36.25	315.0	87.16	27.8

The line $BC_1[F_5$ (Pavlotas-20 / ‘Almaz’)I₁ had the highest average fruit weight ($X_{med} = 292 \pm 39.67$ g), which was 57.18% greater than the standard variety ‘Almaz’ ($X_{med} = 186 \pm 18.61$ g). The line $BC_2[F_5$ (Pavlotas-20 / ‘Almaz’)I₁ had the lowest manifestation of this trait with an average fruit weight of $X_{med} = 204 \pm 24.30$ g. With the exception of the line $BC_1[F_5$ (Pavlotas-20 / ‘Almaz’)I₁, all lines performed better than the standard variety ‘Almaz’ in terms of average fruit weight. However, the variation of this characteristic over the years of research did not exceed the limits of error of the experiment for the standard variety. The levels of manifestation of the quantitative trait “Average fruit weight” for the aforementioned lines were $X_{med} = 204...219$ g (Table 5).

Line F_6 (Pavlotas-20 / ‘Almaz’)I₁ demonstrated the best stability of expression with $\sigma = 50.62$ and $V = 24.2\%$. On the other hand, line $BC_2[F_5$ (Pavlotas-20 / ‘Almaz’)I₁ showed high instability with $\sigma = 105.90$ and $V = 52.0\%$. In the standard variety ‘Almaz’, the indicators were $\sigma = 69.65$ and $V = 37.5\%$ (Table 5).

Table 6 displays the levels of manifestation of the trait “Productivity of one plant” in the studied linear samples and the eggplant standard variety. The results indicate that this quantitative trait is highly dependent on growing conditions and is unstable in its manifestation, as evidenced by the values of statistical indicators –

mean square deviation ($\sigma = 289.50...520.08$) and coefficient of variation ($V = 31.0...48.5\%$). The level of manifestation of the trait “Productivity of one plant” varied within the studied eggplant samples, with X_{med} ranging from 933 to 1168 g/plant ($A_m = 235$ g/plant). Plant productivity was at the standard level in lines Pavlotas-20 (large-fruited KSN), F_6 (Pavlotas-20 / ‘Almaz’)I₁ and $BC_1[F_5$ (Pavlotas-20 / ‘Almaz’)I₁. The lowest productivity was observed in line F_6 (Pavlotas-20 / ‘Almaz’)I₁ ($X_{med} = 933 \pm 91.55$ g/plant).

The productivity of the line $BC_2[F_5$ (Pavlotas-20 / ‘Almaz’)I₁ ($X_{med} = 1168 \pm 79.31$ g/plant), which additionally underwent gametophytic breeding during 2021–2023, was 18.11% higher than the standard variety. The results were statistically significant. In the ‘Almaz’ standard variety, the indicator was $X_{med} = 989 \pm 77.28$ g/plant (Table 6).

Table 7 provides data on changes in the phenological phase of the eggplant development, specifically “Duration of the period from mass germination to technical fruit maturity”. The information is important for the breeding process. Based on the 2021 data, the duration of this period for the entire sample ranged from 122 to 130 days (with an average of 8 days). In 2022, the duration was within 116–127 days (with an average of 11 days), and in 2023, it was within 120–139 days (with an average of 19 days). Therefore, the amplitude of variation of

this quantitative characteristic (A_m) during the years of observation ranged from 8 to 19 days, depending on the growing conditions. Based on the averaged data, two linear samples were selected. These samples showed a shorter duration of the analyzed phenological phase of plant development by 2–4 days compared to the standard variety ‘Almaz’ ($X_{med} = 126$ days). Line

$BC_2[F_5$ (Pavlotas-20 / ‘Almaz’)] I_1 ($X_{med} = 122$ days) had a duration shorter by 4 days than the standard variety. Line $BC_1[F_5$ (Pavlotas-20 / ‘Almaz’)] I_1 ($X_{med} = 124$ days) had a duration 2 days less than the standard variety. Based on the manifestation of this quantitative trait, all linear samples and the ‘Almaz’ variety exhibited a weak variation ($V = 3.0...7.6\%$).

Table 6
Variation of the trait “Productivity of one plant” in linear samples of eggplant, g/plant (average for 2021–2023)

Sample	$X_{med} \pm m_x$	X_{min}	X_{max}	σ	$V, \%$
Variety ‘Almaz’, standard	989 ± 77.28	382	1945	364.0	36.8
Pavlotas-20 (large-fruited KSN)	1070 ± 149.70	350	1989	518.56	48.5
F_6 (Pavlotas-20 / ‘Almaz’) I_1	933 ± 91.55	542	1363	289.50	31.0
$BC_1[F_5$ (Pavlotas-20 / ‘Almaz’)] I_1	943 ± 104.14	410	1518	360.75	38.3
$BC_2[F_5$ (Pavlotas-20 / ‘Almaz’)] I_1	1168 ± 79.31	629	2536	520.08	44.5
X_{min}	933	350	1363	289.50	31.0
X_{max}	1168	629	2536	520.08	48.5
$A_m = X_{max} - X_{min}$	235	279	1173	230.58	17.5

The effectiveness of using linear correlation coefficients in the breeding process depends on the presence of a close to linear relationship between quantitative traits or a correlation coefficient with a large enough value. After examining the characteristics of quantitative traits in plant populations of lines and the standard eggplant variety, we conducted an analysis of the correlation between these

traits. These traits reflect the morphophysiological indicators of plant growth and development. The correlation analysis used 7 quantitative traits. “Number of fruits per plant”, “Average fruit length”, “Average fruit width”, “Fruit shape index”, “Average fruit weight”, “Productivity per plant”, and “Duration of the period from mass germination to technical fruit maturity”.

Table 7
Duration of the phenological phase of development “Duration of the period from mass emergence to technical fruit maturity” in eggplant lines of interspecies origin, days (average for 2021–2023)

Sample	Years of research				$V, \%$
	2021	2022	2023	X_{med}	
Variety ‘Almaz’, standard	130	127	120	126	4,0
Pavlotas-20 (large-fruited KSN)	124	116	135	125	7,6
F_6 (Pavlotas-20 / ‘Almaz’) I_1	130	124	139	131	5,8
$BC_1[F_5$ (Pavlotas-20 / ‘Almaz’)] I_1	127	120	126	124	3,0
$BC_2[F_5$ (Pavlotas-20 / ‘Almaz’)] I_1	122	117	127	122	4,1
X_{min}	122	116	120	122.0	3.0
X_{max}	130	127	139	131.0	7.6
$A_m = X_{max} - X_{min}$	8	11	19	9.0	4.6

The analysis included not only linear samples but also the standard variety ‘Almaz’. Table 8 summarizes the data from the correlation analysis, which shows strong and statistically reliable correlations ($\pm 0.7 < r_p < \pm 0.99$) between the examined eggplant samples. A total of 7 strong correlations were found, particularly strong direct correlations were found between the following pairs of quantitative traits: “Average fruit length” and “Fruit shape index” ($r_p = 0.83$); “Number of fruits on one plant” and “Productivity of one plant” ($r_p = 0.75$). The study also found several strong in-

verse correlations: “Number of fruits per plant” was negatively correlated with both “Average fruit width” ($r_p = -0.81$) and “Average fruit weight” ($r_p = -0.83$). Similarly, there was a negative correlation between “Average fruit width” and “Fruit shape index” ($r_p = -0.88$), as well as between “Average fruit width” and “Productivity of one plant” ($r_p = -0.70$). Additionally, there was a negative correlation between “Productivity of one plant” and “Duration of the period from mass germination to technical fruit maturity” ($r_p = -0.72$) (Table 8).

Correlations between quantitative traits in the studied eggplant samples, r_p

Quantitative trait	Average fruit length	Average fruit width	Fruit shape index	Average fruit weight	Productivity of one plant	Duration of the period from mass germination to technical fruit maturity
Number of fruits per plant	-0.01	-0.81*	0.54*	-0.83*	0.75*	-0.37*
Average fruit length		-0.50*	0.83*	0.05	-0.14	-0.30*
Average fruit width			-0.88*	0.60*	-0.70*	0.59*
Fruit shape index				-0.44*	0.31*	-0.43*
Average fruit weight					-0.37*	-0.18
Productivity of one plant						-0.72*

* significant at 0.05 level of significance.

The correlations studied enable the prediction of inheritance of valuable quantitative traits in eggplant genotypes, particularly those that are structural components of yield, in further breeding work. It is important to note the strong inverse correlation between productivity and the duration of the period from mass germination to technical fruits maturity of the eggplants, regardless of the genotype of the line or the variety. This experimental fact indicates that the prolongation of this period is associated with unfavorable growing conditions, which have had a negative impact on the achievement of the optimum (reaction rate) of the genetic potential of eggplants in terms of their productivity in the time dimension.

Conclusions

The analysis of quantitative traits of eggplant lines of interspecies origin revealed some that were superior to the standard variety 'Almaz' in terms of both level and stability of manifestation. In particular, the following quantitative characteristics of the lines were characterised by a low variation according to the coefficient of variation indicator ($V < 33.3\%$): "Average fruit length"; "Average fruit width"; "Fruit shape index"; "Duration of the period from mass germination to technical fruit maturity". Two lines, F_6 (Pavlotas-20 / 'Almaz') I_1 and $BC_2[F_5$ (Pavlotas-20 / 'Almaz')] I_1 , showed a statistically significant increase in fruit width compared to the standard variety, with increases of 16.48% and 14.85%, respectively. Line $BC_2[F_5$ (Pavlotas-20 / 'Almaz')] I_1 also showed a similar increase of 18.11% in productivity compared to the standard variety. Seven strong positive and negative correlations were found between pairs of quantitative traits of the eggplants in the studied samples ($\pm 0,7 < r_p < \pm 0,99$). The trait "Productivity of one plant" showed a strong positive correlation with the trait "Number of fruits on one plant" ($r_p = 0.75$) and a strong negative correlation with the traits "Average fruit width" ($r_p = -0.70$) and "Duration of the period from mass germination to technical fruit maturity" ($r_p = -0.72$). Two lines were identified

in which the period from mass germination to technical fruit maturity was 2–4 days shorter than the standard variety 'Almaz'. Line $BC_2[F_5$ (Pavlotas-20 / 'Almaz')] I_1 had a duration 4 days shorter than the standard variety, and line $BC_1[F_5$ (Pavlotas-20 / 'Almaz')] I_1 was 2 days shorter than the standard variety 'Almaz' I_1 . Line $BC_2[F_5$ (Pavlotas-20 / 'Almaz')] I_1 underwent an additional stage of gametophytic breeding during 2021–2023. This resulted in a high adaptive potential to growing conditions, which was reflected in its best productivity and the shortest period for acquiring technically fruit maturity.

References

- Singh, A., Tiwari, J., Shivashankar, B., Karkute, S., Tiwari, S. K., & Singh, M. (2023). Brinjal: breeding and genomics. *Vegetable Science*, 50(Special Issue), 166–176. doi: 10.61180/vegsci.2023.v50.spl.04
- Rakha, M., Prohens, J., Taher, D., Wu, Th., & Solberg, S. Ø. (2021). Eggplant (*Solanum melongena*, *S. aethiopicum* and *S. macrocarpon*) breeding. In J. M. Al-Khayri, S. M. Jain, & D. V. Johnson (Eds.), *Advances in Plant Breeding Strategies: Vegetable Crops* (pp. 163–203). Cham: Springer. doi: 10.1007/978-3-030-66961-4_5
- Cebeci, E., Boyaci, H. F., Kiran, S., & Ellialtıođlu, Ş. Ş. (2023). Responses of interspecific hybrid eggplant F_4 inbred lines to drought and heat stress. *Soil Studies*, 12(2), 70–76. doi: 10.21657/soilst.1408018
- Rakha, M., Namisy, A., Chen, J.-R., El-Mahrouk, M. E., Metwally, E., Taha, N., ... Taher, D. (2020). Development of interspecific hybrids between a cultivated eggplant resistant to bacterial wilt (*Ralstonia solanacearum*) and eggplant wild relatives for the development of rootstocks. *Plants*, 9(10), Article 1405. doi: 10.3390/plants9101405
- Boncukçu, S. D., Gebolođlu, N., & Şahin, F. (2023). Determination of *Vorticillium* and *Fusarium* wilt resistance levels of different interspecific hybrid eggplant lines. *Horticultural Science*, 50(2), 152–158. doi: 10.17221/62/2022-HORTSCI
- Buteme, R., Nakajiri, M., Kucel, N., Kabod, P. N., Sseremba, G., & Kizito, E. B. (2021). Intraspecific crossability and compatibility within *Solanum aethiopicum*. *Heliyon*, 7(7), Article e07645. doi: 10.1016/j.heliyon.2021.e07645
- Sabatino, L., Tapichino, G., Rotino, G. L., Palazzolo, E., Mennella, G., & D'Anna, F. (2019). *Solanum aethiopicum* gr. *gilo* and its interspecific hybrid with *S. melongena* as alternative rootstocks for eggplant: effects on vigor, yield, and fruit physico-chemical properties of cultivar 'Scarlati'. *Agronomy*, 9(5), Article 223. doi: 10.3390/agronomy9050223
- Oladosu, Y., Raffi, M. Y., Arolu, F., Chukwu, S. C., Salisu, M. A., Olaniyan, B. A., Fagbohun, I. K., & Muftaudeen, T. K. (2021). Genetic diversity and utilization of cultivated eggplant germ-

- plasm in varietal improvement. *Plants*, 10(8), Article 1714. doi: 10.3390/plants10081714
9. Prohens, J., Plazas, M., Raigón, M. D., Seguí-Simarro, J. M., Stommel, J. R., & Vilanova, S. (2012). Characterization of interspecific hybrids and backcross generations from crosses between two cultivated eggplants (*Solanum melongena* and *S. aethiopicum* Kumba group) and implications for eggplant breeding. *Euphytica*, 186(2), 517–538. doi: 10.1007/s10681-012-0652-x
 10. Karmakar, P., & Singh, Y. V. (2023). Interspecific hybridization in Brinjal (*Solanum melongena* L.): cross compatibility and morphological characterization of interspecific hybrids. *Pharma Innovation*, 12(4), 1052–1057.
 11. Khan, M. M. R., Arita, T., Iwayoshi, M., Ogura-Tsujita, Y., & Ishiki, S. (2023). Development of a male-sterile line of eggplant utilizing the cytoplasm of *Solanum aethiopicum* Gilo Group. *Environment Control in Biology*, 61(4), 63–67. doi: 10.2525/ecb.61.63
 12. Beaudry, F., Rifkin, J., Barrett, S., & Wright, S. (2020). Evolutionary genomics of plant gametophytic selection. *Plant Communications*, 1(6), Article 100115. doi: 10.1016/j.xplc.2020.100115
 13. Sorojrisom, E. S., Haller, B. C., Ambrose, B. A., & Eaton, D. A. R. (2022). Selection on the gametophyte: Modeling alternation of generations in plants. *Applications in Plant Sciences*, 10(2), Article e11472. doi: 10.1002/aps3.11472
 14. Makovei, M. (2023). Pollen reaction of mutant tomato forms to abiotic stress factors. *Plant Breeding and Seed Production*, 124, 6–20. doi: 10.30835/2413-7510.2023.293843 [In Ukrainian]
 15. Yurlakova, O. N., Montvid, P. Yu., & Samovol, O. P. (2005). The connection of the microgametophyte breeding and the chiasm frequency in the lines of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Vegetable and Melon Growing*, 50, 230–235. [In Ukrainian]
 16. Kondratenko, S. I., Samovol, O. P., Serhienko, O. V., Radchenko, L. O., & Zamytska, T. M. (2018). Estimation of cucumber breeding accession performance created by gametic breeding. *Plant Breeding and Seed Production*, 113, 84–92. doi: 10.30835/2413-7510.2018.134362 [In Ukrainian]
 17. Bondarenko, H. L., & Yakovenko, K. I. (Eds.). (2001). *Methodology of experimental research in vegetable and melon growing*. Kharkiv: Osnova. [In Ukrainian]
 18. Horova, T. K., & Yakovenko, K. I. (Eds.) (2001). *Modern methods of breeding of vegetable and melon crops*. Kharkiv: DP Kharkivska drukarnia No. 2. [In Ukrainian]
 19. Rozhkov, A. O., Puzik, V. K., Kalensjka, S. M., Puzik, L. M., Popov, S. I., Muzafarov, N. M., Bukhalo, V. Ya., & Kryshtop, Ye. A. (2016). *Experimenting in agronomy. Book 2. Statistical analysis of the results of agronomic research*. Kharkiv: Maidan. [In Ukrainian]

УДК 631.5:635.6:582.93

Кондратенко С. І.¹, Самовол О. П.¹, Сергієнко О. В.¹, Ткалич Ю. В.², Марусяк А. О.¹ Оцінка потенціалу продуктивності ліній баклажана, створених на основі міжвидової гібридизації та гаметної селекції. *Plant Varieties Studying and Protection*. 2024. Т. 20, № 1. С. 26–33. <https://doi.org/10.21498/2518-1017.20.1.2024.300133>

¹Інститут овочівництва і баштанництва НААН України, вул. Інститутська, 1, сел. Селекційне, Харківський р-н, Харківська обл., 62478, Україна, *e-mail: shtirlitsmail@gmail.com

²Чернігівська філія Українського інституту експертизи сортів рослин, вул. Шевченка, 103, сел. Халявин, Чернігівський р-н, Чернігівська обл., 15524, Україна

Мета. Поліпшення генотипу культурної форми баклажана (*Solanum melongena* L.) завдяки міжвидовій гібридизації з видом *Solanum aethiopicum* L. та гаметній селекції; аналіз ліній міжвидового походження за комплексом кількісних цінних ознак, які визначають структуру врожайності. **Методи.** Дослідження з комплексного оцінювання ліній баклажана міжвидового походження здійснювали протягом 2021–2023 рр. в умовах захищеного ґрунту на експериментальній базі Інституту овочівництва і баштанництва НААН. Проведено фенологічні спостереження та біометричні вимірювання рослин чотирьох ліній. Стабільність прояву семи кількісних ознак за роками досліджень визначали методами варіаційної статистики [розрахунок середнього квадратичного відхилення (σ), коефіцієнта варіації (V), парної лінійної кореляції Пірсона (r_p)]. **Результати.** За результатами аналізу визначено лінії баклажана міжвидового походження, що переважали сорт-стандарт 'Алмаз' за рівнем і стабільністю прояву кількісних ознак. Зокрема, F_6 (Павлотас-20 / 'Алмаз') I_1 та $BC_1[F_5$ (Павлотас-20 /

'Алмаз') I_1 статистично достовірно перевищували сорт-стандарт за шириною плоду (на 16,48 і 14,85% відповідно); водночас лінія $BC_2[F_5$ (Павлотас-20 / 'Алмаз') I_1 переважала його за продуктивністю (на 18,11%). За даними кореляційного аналізу, ознака «продуктивність однієї рослини» мала сильний позитивний зв'язок з ознакою «кількість плодів на одній рослині» ($r_p = 0,75$) та сильний негативний із «середньою шириною плоду» ($r_p = -0,70$) та «тривалістю періоду від масових сходів до технічної стиглості плодів» ($r_p = -0,72$). Виділено лінію $BC_2[F_5$ (Павлотас-20 / 'Алмаз') I_1 , у якій період від масових сходів до технічної стиглості плодів тривав на чотири доби менше, як порівняти із сортом-стандартом.

Висновки. За комплексом кількісних ознак виділено лінію $BC_2[F_5$ (Павлотас-20 / 'Алмаз') I_1 , яка проходила додатковий етап гаметофітного добору, завдяки чому мала високий адаптивний потенціал до умов вирощування.

Ключові слова: кількісні ознаки; генетична вирівняність; кореляційні зв'язки; гаметофітне потомство; добір.

Надійшла / Received 09.02.2024
Погоджено до друку / Accepted 19.03.2024

Генноредаговані рослини: досягнення та перспективи (огляд)

Н. Е. Волкова

*Інститут кліматично орієнтованого сільського господарства НААН України,
вул. Маяцька дорога, 24, смт Хлібодарське, Одеський р-н, Одеська обл., 67667, Україна,
e-mail: nataliia.volkova@icsanaas.com.ua*

Мета. Проаналізувати сучасну ситуацію з поліпшенням сільськогосподарських культур технологіями редагування генів. **Результати.** Проаналізовано нинішню ситуацію зі створенням сортів рослин за допомогою технологій редагування генів. Натепер редагування геному застосовано до широкого спектра культур, зокрема пшениці, ячменю, кукурудзи, бобових, сої, ріпаку, томатів, цикорію, різних садових рослин, фруктових і лісових дерев, водоростей. Практичне впровадження цих технологій продемонстровано на прикладі генів, пов'язаних із забезпеченням толерантності до дії високих і низьких температур. Також наведено приклади комерціалізованих генноредагованих рослин. **Висновки.** Завдяки внеску в підвищення врожайності, стійкості проти хвороб і шкідників, а також біофортифікації продовольчих культур редагування генів має значні перспективи та, безумовно, є технологією, що дає змогу створювати поліпшені сорти сільськогосподарських рослин.

Ключові слова: редагування генів; транскрипційні фактори; мутагенез; температурний стрес.

Вступ

В умовах погіршення клімату, швидкого зростання чисельності населення та експоненційно щораз більшого попиту на харчові продукти важливим є питання продовольчої безпеки в майбутньому [1]. Продовольча та сільськогосподарська організація ООН (*англ.* Food and Agriculture Organization, FAO) повсякчас закликає до колективних зусиль для модернізації агропродовольчої системи. Окрім цих перетворень, необхідно використовувати всі інструменти, за допомогою яких можна збільшити продуктові запаси та поліпшити харчування.

Вчені постійно розробляють нові підходи, методи та інструменти, щоб підвищити ефективність селекції рослин. Інновації в прецизійній селекції передбачають як цифрові (датчики, детектори та роботизовані пристрої), об'єднані з технологіями управління для точного й результативнішого керування системою виробництва, так і генетичні інструменти (нові методи молекулярної селекції для модифікації та редагування генів).

Nataliia Volkova
<http://orcid.org/0000-0002-9333-4872>

Мета цього огляду – проаналізувати сучасну ситуацію з поліпшенням сільськогосподарських культур технологіями редагування генів.

Результати

Генномодифіковані сільськогосподарські культури та вироблені з них харчові продукти використовують вже майже три десятиліття. Їхню безпечність оцінено різними науковими методами та не виявлено жодної шкоди, спричиненої їх вживанням. Редагування генів принципово відрізняється від генетичної модифікації, пов'язаної зі введенням «чужорідної» ДНК, яка не завжди може бути отримана з рослини й не утворюється природним способом. У процесі редагування генів невеликі цілеспрямовані зміни вносять до наявної ДНК, що спричиняє потенційно корисні постійні мутації, а результати, одержані внаслідок цього, можуть виникати й природно.

Історично генетичні дослідження головним чином зосереджували на ідентифікації та вивченні спонтанних мутацій, що відповідало принципам, встановленим Менделем, Евері та Морганом. У ХХ ст. продемонстровано, що швидкість мутагенезу можна збільшити за допомогою хімічного або радіаційного оброблен-

ня, так званого індукованого мутагенезу. Пізніше в деяких організмах стало можливим застосування методів транспозонних вставок. Однак технології індукованого мутагенезу призводять до модифікацій геному у випадкових місцях. У 1970–1980-х рр. досягнуто перших цілеспрямованих генетичних змін у дріжджів і мишей, втім використані методи, що спиралися, зокрема, на гомологічну рекомбінацію, були малоєфективними. Пізніші прогресивні технології редагування генів дали змогу провадити планомірні генетичні маніпуляції майже в усіх типах клітин та організмів.

Завдяки нещодавнім здобуткам в інструментах редагування генів і високопродуктивному аналізу, а саме: секвенуванню ДНК, запровадженню сайт-спрямованих нуклеаз (англ. Site-Directed Nuclease, SDN), досягнуто модифікації геному з надзвичайною точністю та специфічністю. Детальний опис технологій редагування, а також поточного стану недавно розроблених інструментів генетичної інженерії для зміни генів рослин подано в оглядовій статті [2].

Редагування генів рослин щодо стійкості проти температурного стресу. Перед сільськогосподарським виробництвом завжди поставали біотичні та абіотичні виклики, але глобальна надзвичайна кліматична ситуація істотно збільшує ризик для виробництва продовольства [3]. Зменшення або втрата врожаю можуть бути спричинені швидким підвищенням та/чи зниженням температури за межами нормального діапазону, а також впливом неоптимальних температур протягом більш тривалих періодів. Температурний стрес перешкоджає фотосинтезу, впливає на колообіг і доступність поживних речовин, порушує синтез протеїнів та змінює функціональність різних ензимів, фітогормонів й інших сигнальних молекул.

Полігенну ознаку стійкості проти температурного стресу часто оцінюють через такі складні показники, як сформовані в його умовах врожайність та якість. Геномні бази даних та інструменти біоінформатики є основними джерелами інформації про гени та регуляторні елементи, пов'язані з температурним стресом. Але для розроблення стійких проти нього сортів все ще необхідна експериментальна перевірка цих генів за допомогою інструментів функціональної геноміки [4]. Методи редагування генів використовують як підхід до створення стресостійких сортів, а також для вивчення функції потенційних генів-кандидатів у відповідь на стресові умови [5].

Селекціонери використовували кілька підходів до створення термостійких рослин,

зокрема традиційну та мутаційну селекцію, технологію рекомбінантної ДНК і редагування геному [6–8]. Застосовуючи підходи функціональної геноміки, виявили гени, пов'язані зі стійкістю проти температурного стресу. Протягом двох останніх десятиліть завдяки трансгенній селекції вдалося розробити сорти, що експресують гени, які забезпечують стійкість проти температурного стресу. Втім через громадське упередження, особливо в Європі, та інші проблеми доступу до ринку трансгенної культури впроваджують обмежено [9].

Толерантність до теплового стресу. Редагування генів, пов'язаних із забезпеченням стійкості проти підвищених температур, здійснено для таких культур, як рис, кукурудза, огірок, бавовник і томат.

Рис (*Oryza sativa* L.) є основною продовольчою культурою для понад половини населення світу. За оцінками, до 2030 року орієнтовно 16% рисових площ на стадії репродуктивного росту будуть зазнавати впливу фізіологічно високих температур [10]. Для редагування за допомогою техніки направленої інактивації гена або нокауту гена (англ. gene knockout) обрано гени транскрипційних факторів *OsNAC127* та *OsNAC129* [11], *OsNTL3* [12], *OsNAC006* [13], *OsTMS5* [14] і ген розвитку хлоропластів *Osheat stressA1* [15]. Отримані мутантні лінії під час теплового стресу продемонстрували кращий ріст, ніж у дикорослого рису, що свідчить про їхню здатність бути толерантними до високих температур.

Процес репродукції томата (*Solanum lycopersicum* L.) надзвичайно чутливий до теплового стресу, що перешкоджає цілорічному вирощуванню цієї культури. Для розроблення термостійких ліній партенокарпічних томатів здійснено нокаут гена *MADS-Box SLAGAMOUS-LIKE 6 (SLAGL6)* [16]. Мутантні лінії мали плоди нормального розміру без кісточок і життєздатний пилок за температури від 38 °C і вище. Також проведено редагування генів *SlHYPRP1* (кодує пролін-збагачений протеїн) [17], *SlMAPK3* та *SlCPK28* (обидва кодуєть протеїнкіназу) [18, 19] і гена *SlBZR1* транскрипційного фактора [20].

Кукурудза (*Zea mays* L.) – одна з чотирьох найважливіших культур світу. На її врожайність негативно впливають екстремальні температури, особливо посуха. Внаслідок редагування гена *ZmCDPK7*, що кодує протеїнкіназу [21], а також гена *ZmTMS5* транскрипційного фактора [22] отримані мутантні лінії проявляли стійкість проти теплового стресу.

В огірка (*Cucumis sativus* L.) редаговано ген *CsSPT* транскрипційного фактора [23], в

бавовнику (*Gossypium* spp.) – ген *GhAOC2*, що кодує ензим біосинтезу жасмонової кислоти [24].

Салат (*Lactuca sativa* L.) – сезонна культура, сприйнятлива до дії температур, які перевищують оптимальні. В сортах ‘Salinas’ і ‘Cobham Green’ проведено редагування гена *LsNCED4*, що кодує ензим біосинтезу абсцизової кислоти [25]. Мутантні лінії за температури 37 °C продемонстрували вищий діапазон відсотка проростання насіння (70%), як порівняти з рослинами дикого типу.

Редагування генів рослин щодо стійкості проти холодного стресу. Арабідопсис (*Arabidopsis thaliana* L.) як модельну рослину широко використовують для дослідження молекулярних і фізіологічних механізмів адаптації та стійкості рослин проти холодного стресу. Для розуміння цих процесів здійснено редагування генів *UGT79B2* та *UGT79B3*, що кодують глікозилтрансферази [26], а також *CBF1*, *CBF2* та *CBF3*, які кодують транскрипційні фактори [27, 28].

Для сигналіngu та відповіді на холодний стрес дуже чутливий до нього рис розвинув кілька шляхів з регуляторними транскрипційними факторами. Редаговано гени *OsNAC050*, *OsMYB30*, *OsPIN5b* та *GS3*, що кодують транскрипційні фактори [29, 30], *OsPRP1*, який кодує пролін-збагачений протеїн [31] та *OsAnn3*, що кодує кальційзалежний мембранний зв'язувальний протеїн [32].

Урожайність томатів значно залежить від дії низьких температур. Редаговано ген *SINPR1* – регулятор сигналіngu саліцилової кислоти – та *SICBF1*, що кодує фактори зв'язування С-повторів [33]. У картоплі (*Solanum tuberosum* L.) редаговано ген *VInv* синтезу інвертази [34], гени транскрипційних факторів *VaPAT1* – у винограду (*Vitis amurensis* L.) [35], *FvICE1* – у полуниці (*Fragaria × ananassa*) [36].

Отже, серед досліджених і редагованих значна кількість генів транскрипційних факторів, адже рослини реагують зміною експресії генів, що беруть участь у різних фізіологічних і біохімічних процесах після впливу низьких або високих температур.

Прикладом вже комерціалізованих генно-редагованих рослинних продуктів є схвалені Міністерством сільського господарства США (англ. US Department of Agriculture, USDA) стійкі проти потемніння гриби [37], воскоподібна кукурудза зі значним вмістом амілопектину [38] та льон (*Camelina sativa* L.) з підвищеним вмістом олії омега-3 [39]. Перший генноредагований томат [сорт ‘Sicilian Rouge High GABA’ від компанії «Sanatech

Seed» (Японія)] з високим рівнем гамма-аміномасляної кислоти, яка знижує артеріальний тиск, продають безпосередньо споживачам в Японії [40].

Генноредаговані культури, на відміну від генетично модифікованих, не містять трансгенів, а тому можуть бути більш прийнятними для суспільства. Однак ширшій комерціалізації сприятиме гармонізація процесу їх регулювання у різних країнах [41].

Досягнення та напрями подальшого поліпшення рослин за допомогою технологій редагування генів узагальнено в дорожній карті для редагування генів рослин [42].

Висновки

Створення генноредагованих рослин, толерантних до підвищення загальної температури й температурних коливань, які спричиняють зниження глобальної врожайності, сприяє зменшенню загроз для міжнародної продовольчої безпеки. Технології редагування генів також використовують для одержання менш сприйнятливих до патогенів рослин, надання нової специфічності наявним генам стійкості з метою відповідності патогенам, що еволюціонують, а також для безпосереднього націлювання та зміни ДНК патогенів. Натепер редагування геному застосовано до широкого спектра культур, зокрема пшениці, ячменю, кукурудзи, бобових, сої, ріпаку, томатів, цикорію, різних садових рослин, фруктових і лісових дерев, водоростей.

Завдяки внеску в підвищення врожайності, стійкості проти хвороб і шкідників, а також біофортифікації продовольчих культур редагування генів має значні перспективи та, безумовно, є технологією, що дає змогу створювати поліпшені сорти сільськогосподарських рослин.

References

- ISAAA. (2021). Breaking barriers with breeding: A Primer on new breeding innovations for food security. *ISAAA Brief No. 56*. Ithaca, NY: ISAAA.
- Bhuyan, S. J., Kumar, M., Ramrao Devde, P., Rai, A. C., Mishra, A. K., Singh, P. K., & Siddique, K. H. M. (2023). Progress in gene editing tools, implications and success in plants: a review. *Frontiers in Genome Editing*, 5, Article 1272678. doi: 10.3389/fgeed.2023.1272678
- Razzaq, A., Wani, S. H., Saleem, F., Yu, M., Zhou, M., & Shabala, S. (2021). Rewilding crops for climate resilience: economic analysis and de novo domestication strategies. *Journal of Experimental Botany*, 72(18), 6123–6139. doi: 10.1093/jxb/erab276
- Raza, A., Tabassum, J., Kudapa, H., & Varshney, R. K. (2021). Can omics deliver temperature resilient ready-to-grow crops? *Critical Reviews in Biotechnology*, 41(8), 1209–1232. doi: 10.1080/07388551.2021.1898332
- Elliot, M., & Toth, I. (2023). A Review of Gene Editing for the Benefit of Plant Health. *Plant Health Cases*. doi: 10.1079/planthealthcases.2023.0015

6. Anwar, A., & Kim, J. (2020). Transgenic breeding approaches for improving abiotic stress tolerance: recent progress and future perspectives. *International Journal of Molecular Sciences*, *21*(8), Article 2695. doi: 10.3390/ijms21082695
7. Janni, M., Gulli, M., Maestri, E., Marmioli, M., Valliyodan, B., Nguyen, H. T., & Marmioli, N. (2020). Molecular and genetic bases of heat stress responses in crop plants and breeding for increased resilience and productivity. *Journal of Experimental Botany*, *71*(13), 3780–3802. doi: 10.1093/jxb/eraa034
8. Ku, H.-K., & Ha, S.-H. (2020). Improving nutritional and functional quality by genome editing of crops: status and perspectives. *Frontiers in Plant Science*, *11*, Article 577313. doi: 10.3389/fpls.2020.577313
9. Chakraborty, A., Choudhury, S., Kar, S. R., Deb, P., & Wylie, S. J. (2024). Gene editing for tolerance to temperature stress in plants: A review. *Plant Gene*, *37*, Article 100439. doi: 10.1016/j.plgene.2023.100439
10. Khan, S., Anwar, S., Ashraf, M. Y., Khaliq, B., Sun, M., Husain, S., Gao, Z., Noor, H., & Alam, S. (2019). Mechanisms and adaptation strategies to improve heat tolerance in rice. A review. *Plants*, *8*, Article 508. doi: 10.3390/plants8110508
11. Ren, Y., Huang, Z., Jiang, H., Wang, Z., Wu, F., Xiong, Y., & Yao, J. (2021). A heat stress responsive NAC transcription factor heterodimer plays key roles in rice grain filling. *Journal of Experimental Botany*, *72*(8), 2947–2964. doi: 10.1093/jxb/erab027
12. Liu, X., Lyu, Y., Yang, W., Yang, Z., Lu, S., & Liu, J. (2019). A membrane-associated NAC transcription factor OsNTL3 is involved in thermotolerance in rice. *Plant Biotechnology Journal*, *18*(5), 1317–1329. doi: 10.1111/pbi.13297
13. Wang, B., Zhong, Z., Wang, X., Han, X., Yu, D., Wang, C., Song, W., Zheng, X., Chen, C., & Zhang, Y. (2020). Knockout of the OsNAC006 transcription factor causes drought and heat sensitivity in rice. *International Journal of Molecular Sciences*, *21*(7), Article 2288. doi: 10.3390/ijms21072288
14. Zhou, H., He, M., Li, J., Chen, L., Huang, Z., Zheng, S., ... Zhuang, C. (2016). Development of commercial thermo-sensitive genic male sterile rice accelerates hybrid rice breeding using the CRISPR/Cas 9-mediated TMS5 editing system. *Scientific Reports*, *6*(1), Article 37395. doi: 10.1038/srep37395
15. Qiu, Z., Kang, S., He, L., Zhao, J., Zhang, S., Hu, J., ... Zhu, L. (2018). The newly identified heat-stress sensitive albino 1 gene affects chloroplast development in rice. *Plant Science*, *267*, 168–179. doi: 10.1016/j.plantsci.2017.11.015
16. Klap, C., Yeshayahou, E., Bolger, A. M., Arazi, T., Gupta, S. K., Shabtai, S., ... Barg, R. (2016). Tomato facultative parthenocarpy results from SLAGAMOUS-LIKE 6 loss of function. *Plant Biotechnology Journal*, *15*(5), 634–647. doi: 10.1111/pbi.12662
17. Tran, M. T., Son, G. H., Song, Y. J., Nguyen, N. T., Park, S., Thach, T. V., ... Kim, J.-Y. (2023). CRISPR-Cas 9-based precise engineering of SlHyPRP1 protein towards multi-stress tolerance in tomato. *Frontiers in Plant Science*, *14*, Article 1186932. doi: 10.3389/fpls.2023.1186932
18. Yu, W., Wang, L., Zhao, R., Sheng, J., Zhang, S., Li, R., & Shen, L. (2019). Knockout of SLMAPK3 enhances tolerance to heat stress involving ROS homeostasis in tomato plants. *BMC Plant Biology*, *19*(1), Article 354. doi: 10.1186/s12870-019-1939-z
19. Hu, Z., Li, J., Ding, S., Cheng, F., Li, X., Jiang, Y., Yu, J., Foyer, C. H., & Shi, K. (2021). The protein kinase CPK28 phosphorylates ascorbate peroxidase and enhances thermotolerance in tomato. *Plant Physiology*, *186*(2), 1302–1317. doi: 10.1093/plphys/kiab120
20. Yin, Y., Qin, K., Song, X., Zhang, Q., Zhou, Y., Xia, X., & Yu, J. (2018). BZR1 transcription factor regulates heat stress tolerance through FERONIA receptor-like kinasemediated reactive oxygen species signaling in tomato. *Plant and Cell Physiology*, *59*(11), 2239–2254. doi: 10.1093/pcp/pcy146
21. Zhao, Y., Du, H., Wang, Y., Wang, H., Yang, S., Li, C., ... Hu, X. (2021). The calcium-dependent protein kinase ZmCDPK7 functions in heat stress tolerance in maize. *Journal of Integrative Plant Biology*, *63*(3), 510–527. doi: 10.1111/jipb.13056
22. Li, J., Zhang, H., Si, X., Tian, Y., Chen, K., Liu, J., Chen, H., & Gao, C. (2017). Generation of thermosensitive male-sterile maize by targeted knockout of the ZmTMS5 gene. *Journal of Genetics and Genomics*, *44*(9), 465–468. doi: 10.1016/j.jgg.2017.02.002
23. Liang, Y., Yang, C., Ming, F., Yu, B., Cheng, Z., Wang, Y., ... Yan, S. (2024). A bHLH transcription factor, CsSPT, regulates high-temperature resistance in cucumber. *Horticultural Plant Journal*, *10*(2), 503–514. doi: 10.1016/j.hpj.2023.02.005
24. Khan, A. H., Ma, Y., Wu, Y., Akbar, A., Shaban, M., Ullah, A., ... Min, L. (2023). High-temperature stress suppresses allene oxide cyclase 2 and causes male sterility in cotton by disrupting jasmonic acid signaling. *The Crop Journal*, *11*(1), 33–45. doi: 10.1016/j.cj.2022.05.009
25. Bertier, L. D., Ron, M., Huo, H., Bradford, K. J., Britt, A. B., & Michelmore, R. W. (2018). High-resolution analysis of the efficiency, heritability, and editing outcomes of CRISPR/Cas 9-induced modifications of *NCED4* in lettuce (*Lactuca sativa*). *G3 Genes/Genomes/Genetics*, *8*(5), 1513–1521. doi: 10.1534/g3.117.300396
26. Li, P., Li, Y., Zhang, F., Zhang, G., Jiang, X., Yu, H., & Hou, B. (2016). The *Arabidopsis* UDP-glycosyltransferases UGT79B2 and UGT79B3, contribute to cold, salt and drought stress tolerance via modulating anthocyanin accumulation. *The Plant Journal*, *89*(1), 85–103. doi: 10.1111/tpj.13324
27. Jia, Y., Ding, Y., Shi, Y., Zhang, X., Gong, Z., & Yang, S. (2016). The cbfs triple mutants reveal the essential functions of CBFs in cold acclimation and allow the definition of CBF regulons in *Arabidopsis*. *New Phytologist*, *212*(2), 345–353. doi: 10.1111/nph.14088
28. Zhao, C., Zhang, Z., Xie, S., Si, T., Li, Y., & Zhu, J.-K. (2016). Mutational evidence for the critical role of CBF transcription factors in cold acclimation in *Arabidopsis*. *Plant Physiology*, *171*(4), 2744–2759. doi: 10.1104/pp.16.00533
29. Zeng, Y., Wen, J., Zhao, W., Wang, Q., & Huang, W. (2020). Rational improvement of rice yield and cold tolerance by editing the three genes OsPIN5b, GS3, and OsMYB30 with the CRISPR-Cas 9 system. *Frontiers in Plant Science*, *10*, Article 1663. doi: 10.3389/fpls.2019.01663
30. Wang, B., Wang, Y., Xie, L., Yu, W., Lan, Q., Wang, Y., Chen, C., & Zhang, Y. (2023). Knocking out OsNAC050 expression causes low-temperature tolerance in rice by regulating photosynthesis and the sucrose metabolic pathway. *Agriculture*, *13*(7), Article 1378. doi: 10.3390/agriculture13071378
31. Nawaz, G., Han, Y., Usman, B., Liu, F., Qin, B., & Li, R. (2019). Knockout of OsPRP1, a gene encoding proline-rich protein, confers enhanced cold sensitivity in rice (*Oryza sativa* L.) at the seedling stage. *3 Biotech*, *9*(7), Article 254. doi: 10.1007/s13205-019-1787-4
32. Shen, C., Que, Z., Xia, Y., Tang, N., Li, D., He, R., & Cao, M. (2017). Knock out of the annexin gene OsAnn3 via CRISPR/Cas 9-mediated genome editing decreased cold tolerance in rice. *Journal of Plant Biology*, *60*(6), 539–547. doi: 10.1007/s12374-016-0400-1
33. Shu, P., Li, Y., Xiang, L., Sheng, J., & Shen, L. (2023). SlNPR1 modulates chilling stress resistance in tomato plant by alleviating oxidative damage and affecting the synthesis of ferulic acid. *Scientia Horticulturae*, *307*, Article 111486. doi: 10.1016/j.scienta.2022.111486
34. Teper-Bamnlker, P., Roitman, M., Katar, O., Peleg, N., Aruchamy, K., Suher, S., ... Eshel, D. (2022). An alternative pathway to plant cold tolerance in the absence of vacuolar invertase activity. *The Plant Journal*, *113*(2), 327–341. doi: 10.1111/tpj.16049
35. Wang, Z., Wong, D. C. J., Wang, Y., Xu, G., Ren, C., Liu, Y., ... Liang, Z. (2021). GRAS-domain transcription factor PAT1 regulates jasmonic acid biosynthesis in grape cold stress response. *Plant Physiology*, *186*(3), 1660–1678. doi: 10.1093/plphys/kiab142
36. Han, J., Li, X., Li, W., Yang, Q., Li, Z., Cheng, Z., ... Han, D. (2023). Isolation and preliminary functional analysis of FvICE1,

- involved in cold and drought tolerance in *Fragaria vesca* through overexpression and CRISPR/Cas 9 technologies. *Plant Physiology and Biochemistry*, 196, 270–280. doi: 10.1016/j.plaphy.2023.01.048
37. Waltz, E. (2016). Gene-edited CRISPR mushroom escapes US regulation. *Nature*, 532(7599), Article 293. doi: 10.1038/nature.2016.19754
 38. Waltz, E. (2016). CRISPR-edited crops free to enter market, skip regulation. *Nature Biotechnology*, 34(6), 582–583. doi: 10.1038/nbt0616-582
 39. Waltz, E. (2018). With a free pass, CRISPR-edited plants reach market in record time. *Nature Biotechnology*, 36(1), 6–7. doi: 10.1038/nbt0118-6b
 40. Waltz, E. (2022). GABA-enriched tomato is first CRISPR-edited food to enter market. *Nature Biotechnology*, 40(1), 9–11. doi: 10.1038/d41587-021-00026-2
 41. Jones, M. G. K., Fosu-Nyarko, J., Iqbal, S., Adeel, M., Romero-Aldemita, R., Arujanan, M., ... Kho, K. (2022). Enabling trade in gene-edited produce in Asia and Australasia: the developing regulatory landscape and future perspectives. *Plants*, 11, Article 2538. doi: 10.3390/plants11192538
 42. Ricroch, A., Eriksson, D., Miladinović, D., Sweet, J., Van Laere, K., & Woźniak-Gientka, E. (Eds.). (2024). *A Roadmap for plant genome editing*. Cham: Springer. doi: 10.1007/978-3-031-46150-7

UDC 577.21: 575.22: 581.6

Volkova, N. E. (2024). Gene-edited plants: achievements and prospects (review). *Plant Varieties Studying and Protection*, 20(1), 34–38. <https://doi.org/10.21498/2518-1017.20.1.2024.300137>

Institute of Climate-Smart Agriculture, NAAS of Ukraine, 24 Maiatska doroha St., Khibodarske village, Odesa district, Odesa region, 67667, Ukraine, e-mail: nataliia.volkova@icsanaas.com.ua

Purpose. To analyze the current state of agricultural crop improvement using gene editing technologies. **Results.** The current state of plant breeding using gene editing technologies is analyzed. To date, genome editing has been applied to a wide range of crops, including wheat, barley, maize, legumes, soybean, rapeseed, tomato, chicory, various vegetable crops, fruit trees, forest trees and algae. The practical application of these technologies is illustrated by the example of genes associated with ensuring tolerance to high

and low temperatures. Examples of commercialized gene-edited plants are given. **Conclusions.** By contributing to increased yields, improved resistance to diseases and pests, and biofortification of food crops, gene editing technology undoubtedly has great prospects and is definitely already the technology for creating improved varieties of agricultural crops.

Keywords: *gene editing; transcription factors; mutagenesis; temperature stress.*

Надійшла / Received 01.03.2024
Погоджено до друку / Accepted 11.03.2024

Compatibility of *Actinidia arguta* with *Schisandra chinensis* and *Malus domestica* plants in mixed plantings

T. B. Venediktova*, N. V. Zaimenko, N. V. Skrypchenko

M. M. Gryshko National Botanical Garden, National Academy of Sciences of Ukraine, 1 Sadovo-Botanichna St., Kyiv, 01014, Ukraine, *e-mail: tatianaforest3@gmail.com

The accumulation of photosynthetic pigments, biogenic elements and amino acids in the leaves of *A. arguta* (kiwi berry) and *S. chinensis* (Chinese magnolia vine) during their cultivation in the same vegetative containers was studied. Different ratios of the number of plants in the containers were used, namely 50%:50%, 33%:67%, and 67%:33%. Single-species plantings were used as a control. Research demonstrated that the ratios between co-planted plants can impact the levels of photosynthetic pigments, biogenic elements, and amino acids in their leaves. Mixed planting was found to decrease the concentration of photosynthetic pigments in *A. arguta* leaves under these conditions. The chlorophyll *a* content showed significant changes, decreasing by 6.7–18.7% with *S. chinensis* ratio in the container and by 31.3–33.8% with *M. domestica* ratio compared to mono-planting. Chlorophyll *b* also showed differences, ranging from 1.2–8.6% and 9.7–29.7%, respectively. Additionally, certain features were observed in the distribution of mineral nutrition elements in plant tissues of *A. arguta*. In mono-planting conditions, the leaves of plants showed an increase in magnesium, potassium, and phosphorus content. When actinidia is grown together with Chinese magnolia vine and an apple tree, especially with an apple tree, the supply of nitrogen, phosphorus, potassium, and calcium to the plants is sharply reduced. By the end of the growing season of plants, the total content of free amino acids in *A. arguta* leaves increased in mono-planting conditions. Actinidia plants exhibited a disturbance in phosphate metabolism in mixed plantings, as evidenced by elevated levels of arginine and histidine, as well as altered nitrogen metabolism indicated by decreased concentrations of glutamic acid in the leaves. The competitiveness analysis, using the Vanderbeng and Ennik method, showed that *A. arguta* plants are more compatible with *S. chinensis* than with *M. domestica*. The productivity and sustainability of crops can be significantly increased by using the method of mixed crops in agrophytocenoses. However, it is necessary to consider the bioecological features of plants and their tolerance to root secretions of other species. *A. arguta* and *S. chinensis* are forest lianas that are a unique part of forest ecosystems. They grow in multispecies groups in natural conditions, so it can be expected that they will show tolerance in mixed plantings.

Keywords: fruit vines; mixed plantings; photosynthetic pigments; biogenic element; amino acid.

Introduction

The introduction and study of new, non-traditional plant species for horticulture is of great economic importance. It is important for dietary diversity and for identifying and utilizing plants that are highly resistant to adverse environmental factors. The primary objectives of intensive gardening are to enhance the pro-

ductivity and quality of agricultural products in human-exploited systems while reducing production costs [1]. The instability of the garden phytocenosis is a characteristic feature, resulting from the disruption of trophic relationships between components due to intensive use of natural resources and man-made factors [2].

Monoculture cultivation involves the long-term presence of plants in the same place, resulting in a negative feedback between plants and soil. This leads to a shift in the composition of microbial communities, which is accompanied by the depletion of nutrients in the soil, the accumulation of soil pathogens and the release of phytotoxic and autotoxic compounds due to the decomposition of plant residues. The

Tatiana Venediktova
<https://orcid.org/0000-0002-7419-0703>
Natalia Zaimenko
<https://orcid.org/0000-0003-2379-1223>
Nadiia Skrypchenko
<https://orcid.org/0000-0002-1233-9920>

resulting decrease in productivity and yield is known as soil fatigue or soil disease [3, 4].

Soil fatigue is a phenomenon observed in orchard-growing regions worldwide. It is characterized by changes in root structure, slow and uneven growth, and an overall decrease in biomass. In particular, soil fatigue has been found to suppress the vegetative and generative productivity of apple orchards by 50%, reduce fruit size by 10% and delay tree fruiting by 2–3 years [5].

The purpose of this work was to analyze the compatibility of *A. arguta* plants when grown together with *S. chinensis* and *M. domestica*. In the context of the ever-increasing problems of ecology, it is an urgent task to include the fruits of new crops in the human diet. The most important feature of most non-traditional crops is the high content of biologically active compounds in fruits and other organs. The introduction and study of new, non-traditional plant species for horticulture is of great economic importance. They are important not only because they contribute to the diversity of food rations, but also because they make it possible to identify and use plants that are highly resistant to adverse environmental factors and contain a large number of biologically active substances. The high adaptive potential of new, non-traditional crops is based on their evolutionary roots [5]. In the structure of the horticultural industry, apple is one of the most widespread fruit crops. The large number of varieties and their great potential allow apple trees to be grown in different climatic zones. Its wide distribution is associated with high winter hardiness, increased adaptability to abiotic environmental factors, abiotic environmental factors, shelf-life and good transportability of fruits.

Materials and methods

The experiments were carried out in the Department of acclimatization of fruit plants of the M. Gryshko National Botanical Garden of the NAS of Ukraine. 2-year-old plants of *Actinidia arguta* (Sieboldet. Zucc.) Planch. ex Miq., *Schisandra chinensis* (Tucz.) Bail. and *M. domestica* Borkh. seedlings were chosen as objects of study. Plants were planted in March 2021 in containers with dark gray forest light loamy soil (humus content of the humate-fulvate type is 4.25%, $\text{pH}_{\text{KCl}} - 7.6$, nitrogen – 2%, phosphorus – 8.2%, density – 1.2–1.4 g/cm³). The scheme of the experiment included the following options: control – single planting of *A. arguta*, *S. chinensis* and, *M. domestica* plants; 1 – joint cultivation of *A. arguta* and, *S. chinensis* at a ratio of 50%:50%; 2 – *A. arguta* and *S. chinensis* – 67%:33%; 3 –

A. arguta and *S. chinensis* – 33%:67%; 4 – *A. arguta* and *M. domestica* – 50%:50%; 5 – *A. arguta* and *M. domestica* – 67%:33%; 6 – *A. arguta* and *M. domestica* – 33%:67%. The experiments were carried out under controlled conditions. The temperature was maintained within 22 ± 2 °C, and soil humidity – 60 ± 5 %. Two-year-old vegetatively propagated plants were planted in the amount of 12 pieces, with a distance between plants of 5 cm). For the model experiment, 12 plants were planted in a container to maximize saturation of the soil with root exudates in order to assess the interaction between plants. The surface area of the container was 0.06 m². The duration of the experiment was 24 weeks, due to the generally accepted technology for growing experimental plant species.

A plant receives information from another plant by changing a number of external conditions and, most importantly, by changing the allelopathic environment. This information triggers a specific response in the plant, the nature of which has been developed through evolution. This information can cause an increase in growth, an acceleration in the release of substances, a change in the direction of root growth, etc. The above-ground biomass was counted at the end of September. Samples for biochemical studies 2 leaves were taken in mid-August. The content of photosynthetic pigments in the leaves was assessed using SF-26 spectrometry. The samples were prepared in a solution of 96% alcohol for measurement. Carotenoids were measured at 440.5 nm, while chlorophyll a and b were measured at 665 nm and 649 nm respectively, with 10 repetitions. The concentration of chlorophylls was calculated using the Vermont formula, and carotenoids were calculated using the Wettstein formula [6]. The content of pigments in the extract was calculated by the following formula $A = V \times C / (P \times 1000)$, where C is the concentration of pigments, mg/l; V is the volume of the extract, ml; P – the weight of plant material, g; A – pigment' content in plant material, mg/g fresh weight. The content of biogenic elements in plant tissues was analyzed according to the method of Rinkis and Nollendorf [7] using the ICAP 6300 DUO spectrophotometer with inductively coupled plasma. Qualitative and quantitative composition of free amino acids was determined by Stein and Moore in the modification of Volochai [8] and evaluated by HPLC using Agilent 1100 chromatograph. The significance of the differences between the variants was determined using the variance method according to Fisher's criterion and the significance level of the null hypothesis. The obtained indicators, determined with

a 95% confidence interval, are trustworthy due to the high reliability of the arithmetic mean values (the calculated Student's criterion significantly exceeds the tabular values) and the experimental error indicator is less than 5% using the Anova program.

Results and discussion

The ecophysiology of fruit crops is currently an important scientific field that allows the study of the physiological response of plants to the environment and the assessment of the functional resistance of organisms to stress conditions [9]. The influence of unfavorable factors, including long-term continuous cultivation, on plants causes certain stresses that manifest themselves at the genetic, metabolic, morphological and physiological levels [10]. Abiotic processes can directly or indirectly affect the physiological state of plant organisms, altering their metabolism, growth and development. These differences are primarily related to changes in photosynthetic activity [11].

The photosynthetic process is severely disrupted by the degradation of chloroplasts [12, 13], and the biosynthesis of chlorophylls, especially chlorophyll a, is reduced under stress conditions [14–17]. Researchers have observed

significant variations in the content and ratio of photosynthetic pigments due to environmental factors. These factors include light, temperature, CO₂, water, and air pollutants, and they affect the efficiency of photosynthesis in terms of ecophysiological significance [18]. Throughout the growing season of plants, the pigment complex also shows variations under the influence of environmental factors [19].

An analysis of the content of photosynthetic pigments in *A. arguta* leaves showed a decrease in their concentration under conditions of mixed plantings (Table 1). The most significant changes were found in the content of chlorophyll a, whose biosynthesis decreased by 6.7–18.7% in the *S. chinensis* variants and by 31.3–33.8% in the *M. domestica* variants compared to the mono-planting. For indicators of chlorophyll b, these differences were in the range of 1.2–8.6% and 9.7–29.7%, respectively. A similar pattern was observed in the biosynthesis of carotenoids, whose content decreased on average by 1.9–61.8% compared to the control, depending on the experimental variant. It should be noted that the growth rates of *A. arguta* plants are in agreement with the data on the concentration of chlorophyll b in the leaves (Table 1).

Table 1

The content of photosynthetic pigments in the leaves of *A. arguta* under conditions of joint plantings with *S. chinensis* and *M. domestica* mg/g of wet plant mass

Experience variant	a	b	k	a + b	a / b	(a + b) / k
<i>A. arguta</i>	106.99 ± 0.84	23.53 ± 0.75	40 ± 1.08	130.52 ± 0.31	4.55 ± 0.08	3.26 ± 0.10
<i>A. arguta</i> 50% – <i>S. chinensis</i> 50%	90.29 ± 1.00	23.25 ± 0.83	15.3 ± 0.39	113.54 ± 1.38	3.88 ± 0.11	7.42 ± 0.12
<i>A. arguta</i> 67% – <i>S. chinensis</i> 33%	100.25 ± 0.93	22.35 ± 1.13	39.25 ± 0.94	122.6 ± 0.28	4.49 ± 0.08	3.12 ± 0.07
<i>A. arguta</i> 33% – <i>S. chinensis</i> 67%	87.01 ± 0.43	21.51 ± 0.87	36.13 ± 0.96	108.52 ± 0.87	4.05 ± 0.16	3.00 ± 0.06
<i>A. arguta</i> 50% – <i>M. domestica</i> 50%	70.97 ± 1.24	19.27 ± 0.75	39.1 ± 0.97	90.24 ± 1.39	3.68 ± 0.1	2.31 ± 0.12
<i>A. arguta</i> 67% – <i>M. domestica</i> 33%	73.51 ± 1.43	21.25 ± 0.59	32.49 ± 1.39	94.76 ± 1.30	3.46 ± 0.14	2.92 ± 0.11
<i>A. arguta</i> 33% – <i>M. domestica</i> 67%	70.83 ± 0.87	16.56 ± 1.36	35.15 ± 0.94	87.39 ± 1.17	4.28 ± 0.1	2.49 ± 0.11
Maximum	106.99	25.25	40	130.52	4.55	7.42
Minimum	70.83	16.56	15.3	87.39	3.46	2.31
LSD _{0.05}	1.37	1.29	1.31	1.37	1.15	0.51

LSD – least significant difference.

The study of nutrient ecology is becoming increasingly important as it is known that different soils rarely contain mineral compounds in such quantities and in such a balanced state as would be optimal for plant growth and development. Plants always compensate for the effects of stress factors through nutrition and subsequent changes in physiological adaptation to environmental conditions. Soils, in turn, are characterised by different levels of nutrients that determine the chemical composition of plants. In addition, the effect of minerals on plant growth depends on the physical, chemical and biological parameters of the soil, as well as on the external conditions and the physiological

adaptation of the organisms to these changes.

Significant differences were observed in the distribution of mineral nutrients in the plant tissues of *A. arguta*. In particular, the increase in the concentration of magnesium, potassium and phosphorus is observed in the leaves of plants growing under mono-planting conditions (Table 2).

Joint cultivation of *A. arguta* with *S. chinensis* and apple trees results in a violation of nutrient availability for plants, particularly magnesium, calcium, phosphorus, nitrogen, and iron. It is worth noting that the plant tissues of actinidia plants show an accumulation of manganese under these conditions, indica-

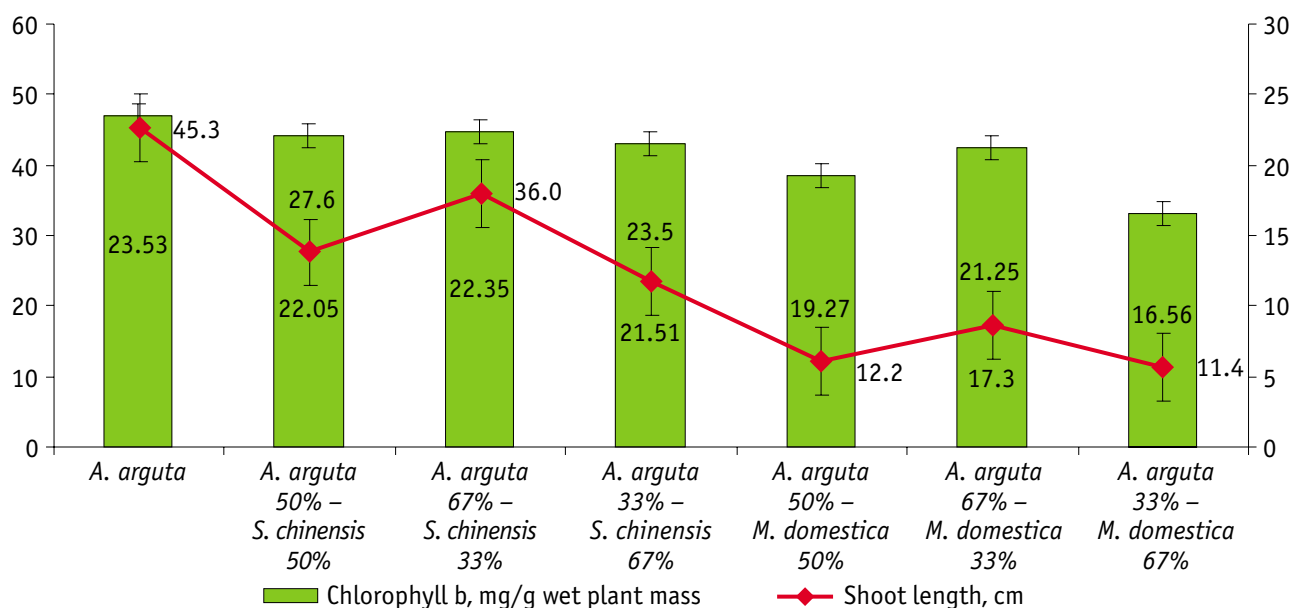


Fig. 1. Growth of *A. arguta* in mixed plantings for 24 weeks and the content of photosynthetic pigments in the leaves

Table 2

The content of biogenic elements in the leaves of *A. arguta* when grown together with *S. chinensis* and *M. domestica*

Experience variant	Elements, % percentage in ash						
	macroelements					microelements	
	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn
<i>A. arguta</i>	3.3 ± 0.32	1.24 ± 0.04	3.9 ± 0.44	2.5 ± 0.20	0.69 ± 0.02	0.2 ± 0.036	0.05 ± 0.04
<i>A. arguta</i> 50% – <i>S. chinensis</i> 50%	2.7 ± 0.36	0.87 ± 0.05	2.8 ± 0.26	2.4 ± 0.21	0.49 ± 0.25	0.23 ± 0.025	0.06 ± 0.05
<i>A. arguta</i> 67% – <i>S. chinensis</i> 33%	2.9 ± 0.32	1.03 ± 0.04	3.3 ± 0.25	2.8 ± 0.38	0.51 ± 0.40	0.2 ± 0.04	0.05 ± 0.02
<i>A. arguta</i> 33% – <i>S. chinensis</i> 67%	2.4 ± 0.26	0.75 ± 0.04	2.5 ± 0.15	2.3 ± 0.15	0.45 ± 0.03	0.20 ± 0.025	0.06 ± 0.09
<i>A. arguta</i> 50% – <i>M. domestica</i> 50%	1.6 ± 0.45	0.51 ± 0.03	1.70 ± 0.21	0.59 ± 0.02	0.34 ± 0.01	0.16 ± 0.035	0.08 ± 0.05
<i>A. arguta</i> 67% – <i>M. domestica</i> 33%	2.0 ± 0.35	0.6 ± 0.041	2.1 ± 0.26	0.82 ± 0.02	0.38 ± 0.01	0.17 ± 0.049	0.06 ± 0.04
<i>A. arguta</i> 33% – <i>M. domestica</i> 67%	1.3 ± 0.40	0.42 ± 0.04	1.3 ± 0.31	0.47 ± 0.03	0.32 ± 0.04	0.16 ± 0.04	0.09 ± 0.02
LSD _{0,05}	0.64	0.07	0.47	0.34	0.022	0.06	0.0198

ting soil fatigue. Furthermore, the significant presence of magnesium in leaves during mono-planting indicates that this element can easily penetrate the plant tissues of *A. arguta*.

Information on the content of the primary amino acids: alanine, aspartic acid, and glutamic acid, can provide important information about the relationship between primary and secondary metabolism. Aspartic acid is synthesized by direct amination, whereas the other two amino acids, alanine, and glutamic acid, are formed by reductive amination. All other amino acids are secondary, as they are formed as a result of transamination reactions of the above amino acids with the corresponding keto acids produced during metabolism, as well as by the conversion of some acids into others [20].

It was found that the total content of free amino acids in actinidia leaves increased under monoculture conditions compared to mixed planting, especially towards the end of the growing season (Table 3). This dependence can be considered as an adaptive response of the plant organism to the influence of adverse environmental factors,

first of all the water supply. A disturbance in phosphate metabolism was observed in actinidia plants in mixed plantings, indicated by a higher content of arginine and histidine in the leaves of the plants, and a disturbance in nitrogen metabolism, indicated by a lower concentration of glutamic acid in the leaves of the plants.

A comparative analysis of the phytomass of *A. arguta*, *S.chinensis*, and *M. domestica* plants and their competitiveness according to the method of Vandenberg and Ennick [21] revealed that *A. arguta* plants are more competitive compared to *S. chinensis* vine, while *M. domestica* is more competitive than *A. arguta* (Fig. 2. a, b).

Conclusions

The study results indicate significant differences in assimilate distribution in *A. arguta* leaves depending on growing conditions in mono or mixed culture. Monoculture is the optimal system for growing *A. arguta*, as confirmed by data on the accumulation of free amino acids in actinidia leaves, indicating an increase in plant

Table 3

Amino acid composition of leaves of *A. arguta* plants grown together with *S. chinensis* and *M. domestica*, mg/100 g of wet plant mass

Experience variant	Amino acids										Sum (Σ)
	Aspartic acid	Threonine	Serine	Glutamic acid	Alanine	Histidine	Lysine	Arginine	Glycine	Proline	
<i>A. arguta</i>	7.5	16.7	0.3	9.5	1.4	2.1	1.7	3.3	1.3	1.9	45.7
<i>A. arguta</i> 50% – <i>S. chinensis</i> 50%	2.9	10.5	1.2	4.6	1	1.4	0.6	4.7	0.4	0.3	27.6
<i>A. arguta</i> 67% – <i>S. chinensis</i> 33%	3.2	11.8	0.9	5.1	1.1	1.6	0.8	4.1	0.6	0.4	29.6
<i>A. arguta</i> 33% – <i>S. chinensis</i> 67%	2.6	10.2	1.5	4.3	0.8	1.2	1.1	5.9	0.7	0.7	29
<i>A. arguta</i> 50% – <i>M. domestica</i> 50%	2.1	7.7	1.9	3	0.4	0.8	0.4	7.5	0.1	0.2	24.1
<i>A. arguta</i> 67% – <i>M. domestica</i> 33%	2.3	8.1	1.7	3.4	0.6	1.1	0.6	6.8	0.4	0.3	25.3
<i>A. arguta</i> 33% – <i>M. domestica</i> 67%	1.8	7.3	2.4	2.6	0.3	0.7	0.8	8.6	0.4	0.2	25.1
LSD _{0,05}	1.69	1.8	1.44	1.63	1.2	1.14	1.3	1.17	1.02	0.7	2.08

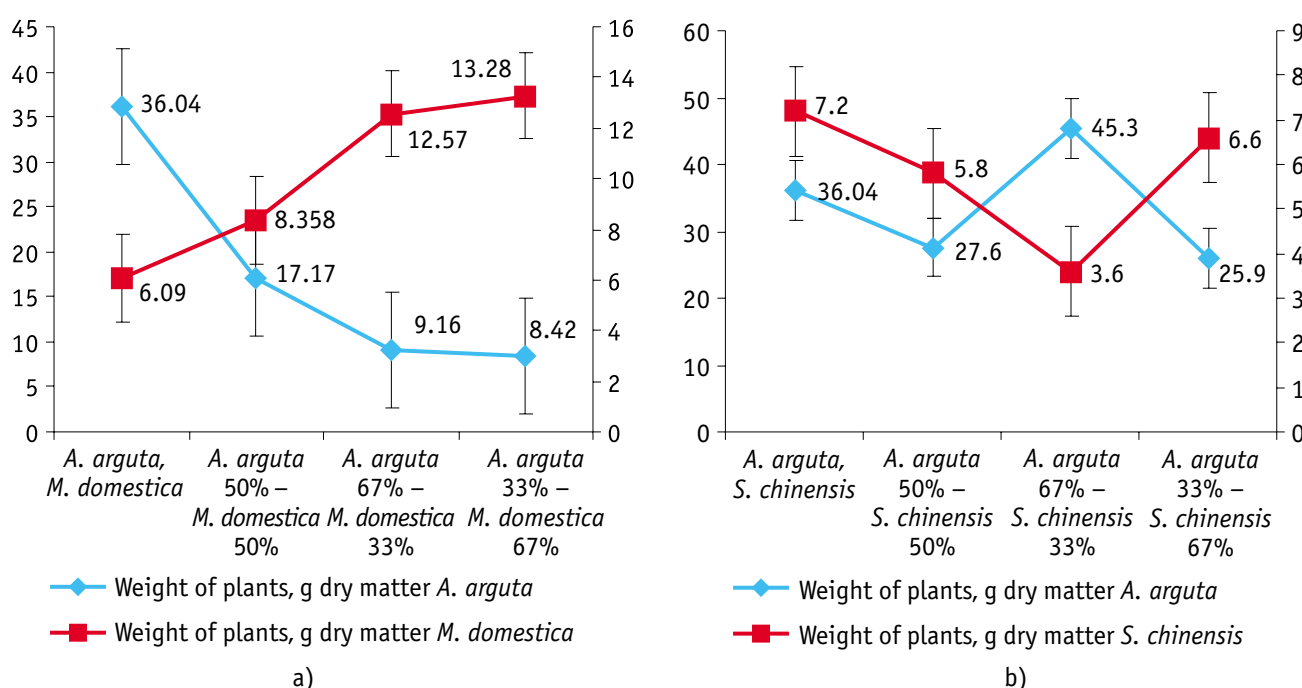


Fig. 2. Competitiveness of plants *A. arguta*, *S. chinensis* and *M. domestica* under conditions of joint planting:
a) productivity of *A. arguta* of and *S. chinensis*; b) productivity of *A. arguta* and *M. domestica*

adaptive capacity. The least amount of plant inhibition was observed in mixed plantings with *S. chinensis* in the variant *S. chinensis* (33%) *A. arguta* (67%). The indicators of the pigment complex of plants in this variant differed slightly from those in the monoculture variant. The study revealed no significant differences in magnesium content in actinidia leaves, regardless of the plant's growing conditions. This suggests that there is a barrier-free effect in the absorption of Mg, which is a characteristic feature of lianas.

A. arguta plants are more competitive than *S. chinensis*, but less competitive than *M. domestica*. The dynamics of pigment synthesis in leaves and their total free amino acid content can be used to assess the degree of physiological

stress of plants in mixed plantings. Allelopathic effect occurs as a result of accumulation of plant products in the soil and is manifested by growth retardation and reduction of plant productivity. In our experiments, when *A. arguta*, *S. chinensis* and *M. domestica* crops are combined, there is an accumulation of colins of soil that negatively affect the growth and development of these crops. The allelopathic potential of *M. domestica* is higher with *A. arguta* and *S. chinensis*.

References

- Egorov, E. A. (2013). Ecological and economic efficiency of fruit growing intensification. *Scientific works of GNU SKZNIISiV*, 2, 7–21.
- Kudasov, Y. L. (1999). On the issue of gardening ecology. *Plant physiology – the basis of rational agriculture: Oryol phil. Island of plant physiologists RAM*. 8–10.

3. Cesarano, G., Zotti, M., Antignani, V., Marra, R., Scala, F., & Bonanomi, G. (2017). Soil sickness and negative plant-soil feedback: a reappraisal of Hypotheses. *Journal of Plant Pathology*, 99(3), 545–570. doi: 10.4454/jpp.v99i3.3960
4. Wolińska, A., Kuźniara, A., Zielenkiewicz, U., Banach, A., & Błaszczyc, M. (2018). Indicators of arable soils fatigue—bacterial families and genera: a metagenomic approach. *Ecological Indicators*, 93, 490–500. doi: 10.1016/j.ecolind.2018.05.033
5. Mazzola, M., & Manici L. (2012). Apple replant disease: role of microbial ecology in cause and control. *Annual Review of Phytopathology*, 50, 45–65. doi: 10.1146/annurev-phyto-081211-173005
6. Chakchir, B. A., & Alekseyeva, G. M. (2002). Photometric methods of analysis: Guidelines. SPb; Izdvo SPKFA.
7. Rinkis, G. Ya., & Nolendorf, V. F. (1982). *Balanced plant nutrition micro and microelements*. Riga. «Zinatna».
8. Volochay, V. I., & Kovalev, V. M. (2012). Study of the amino acid composition of the herb of Galinsogaparvi flora Cav and Galinsoga ciliate (Rafin) Blake. *Zaporozhskiy meditsinskiy zhurnal*, 3, 44–46.
9. Trimble, S. (2020). Chlorophyll Fluorescence Detects. Water Stress. October 21, at 9:35 pm Updated March 16, at 10:40 am <https://cid-inc.com/>
10. Taiz, L., & Zeiger, E. (2013). *Fisiologia Vegetal*. 5th Ed. Porto-Alegre: Artmed.
11. Pérez-Bueno, M., Pineda, M., & Barónayala, M. (2019). Phenotyping Plant Responses to Biotic Stress by Chlorophyll Fluorescence Imaging. *Frontiers in Plant Science*, 10, 1135. doi:10.3389/fpls.2019.01135
12. Barros, J., Cavalcanti, J., Medeiros, D., Nunes-Nesi, A., Avin-Wittenberg, T., Fernie, A., & Araújo, W. (2017). Autophagy Deficiency Compromises Alternative Pathways of Respiration following Energy Deprivation in Arabidopsis the liana. *Plant Physiol*, 175, 62–76. doi: 10.1104/pp.16.01576
13. Wada, S., Ishida, H., Izumi, M., Yoshimoto, K., Ohsumi, Y., Mae, T., & Makino, A. (2008). Autophagy plays a role in chloroplast degradation during senescence in individually darkened leaves. *Plant Physiology*, 149, 885–893. doi: 10.1104/pp.108.130013
14. Mukherjee, S., Chakraborty, A., Mondal, S., Sreshtha, S., Adil, N., & Sonali, P. (2019). Assessment of common plant parameters as biomarkers of air pollution. *Environmental Monitoring and Assessment*, 191(6), 1–8. doi: 10.1007/s10661-019-7540-y
15. Sayed, O. H. (2003). Chlorophyll Fluorescence as a Tool in Cereal Crop Research. *Photosynthetica*, 41, 321–330. URL: <https://link.springer.com/article/10.1023/B:PHOT.0000015454.36367.e2>
16. Baum, M., Grando, S., & Ceccarelli, S. (2006). Evaluation of Chlorophyll Content and Fluorescence Parameters as Indicators of Drought Tolerance in Barley. *Agricultural Sciences in China*. 751–757.
17. Guo, P. (2008). QTL for chlorophyll and chlorophyll fluorescence parameters in barley under post-flowering drought. *Euphytica*, 163, 203–214.
18. Furukawa, A. (1991). Photosynthesis in leaves and environmental factors. *Japanese journal of ecology*, 41(3), 279–297. doi: 10.18960/seitai.41.3_279
19. Esteban R., Barrutia, O., Artetxe, U., Fernandez-Marín, B., Hernandez, A., & Garcia-Plazaola, J. I. (2015). Internal and external factors affecting photosynthetic pigment composition in plants: A meta-analytical approach. *New Phytologist*, 206, 268–280.
20. Kuminov, E. P. (1999) Introduction of non-traditional plants into culture to obtain competitive products. *Horticulture and viticulture*, 1, 42–45.
21. Vandenberg, Ya. P., & Ennik, G. S. (1973). Relationships between plants. *Physiological and biochemical bases of plant interaction in phytocenoses*, 4, 47–57.

УДК 582.688.4+582.394.744+582.711.714]:581.132.1

Венедиктова Т. Б., Заіменко Н. В., Скрипченко Н. В. Сумісність *Actinidia arguta* з рослинами *Schisandra chinensis* і *Malus domestica* у змішаних насадженнях. *Plant Varieties Studying and Protection*. Т. 20, № 1. С. 39–44. <https://doi.org/10.21498/2518-1017.20.1.2024.300135>

Національний ботанічний сад імені М. М. Гришка НАН України, вул. Садово-Ботанічна, 1, м. Київ, 01014, Україна, *e-mail: tatianaforest3@gmail.com

Досліджено особливості накопичення фотосинтетичних пігментів, біогенних елементів та амінокислот у листі *A. arguta* (ківі) та *S. chinensis* (лимонника китайського) під час їх культивування в одних і тих самих вегетаційних контейнерах. Співвідношення кількості рослин у контейнерах були різними: 50:50%, 33:67% і 67:33%. Як контроль використовували одновидові насадження. Встановлено, що співвідношення між спільно висадженими рослинами можуть впливати на рівні фотосинтетичних пігментів, біогенних елементів і амінокислот в їхньому листі. Одночас виявлено зменшення концентрації фотосинтетичних пігментів у листках *A. argute* за умови змішаних насаджень. Найсуттєвіше знизився вміст хлорофілу *a* – на 6,7–18,7% у варіантах з *S. chinensis* у контейнері та на 31,3–33,8% у варіантах з *M. domestica*, як порівняти з мононасадженнями. Відмінності для хлорофілу *b* були в межах 1,2–8,6% і 9,7–29,7% відповідно. Крім того, спостерігали певні особливості розподілу елементів мінерального живлення в рослинних тканинах *A. arguta*. В умовах мононасаджень у листках збільшувався вміст магнію, калію та фосфору. За спільного вирощування актинідії з лимонником китайським і особливо з яблунею

різко зменшувалося надходження до рослин азоту, фосфору, калію та кальцію. В мононасадженнях у листках *A. arguta* до кінця вегетації підвищувався загальний вміст вільних амінокислот. У змішаних насадженнях рослини актинідії продемонстрували порушення метаболізму фосфатів, про що свідчать підвищені рівні аргініну та гістидину, а також зміну метаболізму азоту, що видно зі зниження концентрації глутамінової кислоти у листі. За результатами проведеного методом Вандербенга та Енніка аналізу конкурентоспроможності можна зробити висновок, що рослини *A. arguta* більш сумісні з *S. chinensis*, ніж з *M. domestica*. Продуктивність і стійкість насаджень можна істотно підвищити, використовуючи метод змішаних посівів в агрофітоценозах. Проте необхідно зважати на біоекологічні особливості рослин та їхню толерантність до кореневих виділень інших видів. *A. arguta* та *S. chinensis* – лісові ліани, які є унікальною частиною лісових екосистем; у природних умовах ростуть багатовидовими угрупованнями, тому є толерантними в змішаних насадженнях.

Ключові слова: плодова лоза; змішані насадження; фотосинтезуючі пігменти; біогенний елемент; амінокислота.

Надійшла / Received 03.03.2024
Погоджено до друку / Accepted 21.03.2024

Дослідження стабільності показника продуктивності сортів сорго зернового (*Sorghum bicolor* L.) в умовах Лісостепу

З. Б. Києнко*, Г. А. Дутова, О. А. Руденко,
Т. Д. Сонець, М. М. Таганцова, Б. М. Макарчук

Український інститут експертизи сортів рослин, вул. Генерала Родимцева, 15, м. Київ, 03041, Україна,
*e-mail: ZKienko@ukr.net

Мета. Установити стабільність насінневої продуктивності сортів сорго зернового (*Sorghum bicolor* L.). **Методи.** Дослідження, предметом яких були сорти сорго звичайного двокольорового зернового напрямку використання ('АРАБЕСК', 'АРКАН', 'ЕС ВІЛЛІ' та 'Степовий'), проводили впродовж 2018–2020 рр. у зоні Лісостепу на дослідних полях Полтавської, Вінницької та Черкаської філій Українського інституту експертизи сортів рослин (УІЕСР). Закладання дослідів, оцінювання матеріалу, фенологічні спостереження та біометричні вимірювання рослин, збирання врожаю виконували відповідно до «Методики проведення експертизи сортів рослин групи зернових, круп'яних та зернобобових на придатність до поширення в Україні». Показники якості насіння визначали згідно з «Методикою проведення кваліфікаційної експертизи сортів рослин на придатність до поширення в Україні. Методи визначення якості». Під час дослідження застосовували польовий, лабораторний, біохімічний і статистичний методи. **Результати.** Оптимальні умови Лісостепу забезпечили своєчасність настання фенологічних фаз росту та розвитку рослин і несуттєве варіювання тривалості періоду вегетації від 117 до 123 діб. Продуктивність сорго зернового оцінювали за кількісними показниками виходу насіння з однієї рослини та маси 1000 насінин. **Висновки.** За допомогою обчислення коефіцієнта Левіса $K_{S,F}$, значення якого характеризують фенотипову стабільність сортів, встановлено, що сорти 'ЕС ВІЛЛІ' (1,00) та 'Степовий' (1,06) були досить стабільними на дослідному полі Полтавської філії УІЕСР. Умови Вінницької та Полтавської філій виявилися сприятливішими для формування якісного зерна сорго двокольорового та більшої маси 1000 насінин.

Ключові слова: сорт; насіння; продуктивність; урожайність; танін; стабільність; коефіцієнт Левіса.

Вступ

Сорго зернове (*Sorghum bicolor* L.) – високоефективна сільськогосподарська культура, що може формувати стабільно великі врожаї навіть за несприятливих ґрунтово-кліматичних умов вирощування. Вона є беззаперечним лідером серед польових за

здатністю витримувати затяжні посухи, високі температури повітря та ґрунту [1]. Завдяки придатності до використання в різних сферах і широкій адаптації до мінливих умов навколишнього середовища сорго є перспективним для вирощування в Україні – здебільшого у степовій зоні. Розширення площі його посівів в інші регіони держави вповільнюється через такий фактор, як нестача ефективних температур впродовж вегетаційного періоду.

Усього є понад 60 видів роду *Sorghum*. Культурне сорго залежно від використання поділяють на чотири групи: зернове, цукрове, віничне та трав'янисте. Вищевказаний рід об'єднує велику кількість вирощуваних у всіх частинах світу різноманітних сортів і гібридів, які відрізняються один від одного за формою волоті, кольором, якістю зерна, висотою і товщиною стебел, а також періодом дозрівання [2–5].

Zina Kienko

<https://orcid.org/0000-0001-7749-0296>

Halyna Dutova

<https://orcid.org/0000-0002-7987-5840>

Oleksandr Rudenko

<https://orcid.org/0000-0002-1928-283>

Tatiana Sonets

<https://orcid.org/0000-0002-9603-0452>

Maryna Tahantsova

<https://orcid.org/0000-0003-3737-6477>

Bohdan Makarchuk

<https://orcid.org/0009-0003-4957-8399>

Українське сільське господарство звично розвивалося в помірному кліматі, втім через екстремальні погодні чинники, притаманні останнім рокам, аграріям доводиться переорієнтуватися на нові культури. Так, все частіше використовують посухостійкі злакові, зокрема і сорго зернове, вирощування якого є досить вигідним економічно. Ця культура здатна формувати високий рівень продуктивності за різноманітних температурних режимів і ґрунтових умов, різного забезпечення вологою [5].

Державний реєстр сортів рослин, придатних для поширення в Україні, наразі налічує 132 сорти та гібриди роду *Sorghum* L. – 53 вітчизняної (40,2%) та 79 іноземної (59,8%) селекції. А саме: сорго звичайного (двокольорового) – 80 сортів (60,6%), сорго цукрового – 23 (17,4%), сорго-суданських гібридів – 10 (7,6%), сорго суданського – 6 (4,5%), сорго віникового – 5 (3,8%), інших різновидів – 8 сортів (6,1%) [6–8].

Попри постійне оновлення сортових ресурсів площі посівів під сорго не зростають. Його виробництво натепер становить не більше ніж 50 тис. га для кожної групи, що передусім пов'язано з кризою у тваринництві та відсутністю розвинутої інфраструктури перероблення біосировини [9–12].

Одним з основних напрямів сучасної селекційної практики є створення ранньостиглих сортів і гібридів сорго зернового, які б характеризувалися вищою стійкістю проти посухи, збудників хвороб і шкідників, швидкою віддачею вологи зерном, здатністю інтенсивніше використовувати осінньо-зимово-весняні запаси вологи й формувати врожай зерна 6–7 т/га зі вмістом крохмалю в ньому до 78% [13–17].

Плануючи господарську діяльність, необхідно зважати на велику кількість показників, серед яких виділяють врожайність та її стабільність. Результати аналізу наукових публікацій останніх років свідчать про те, що більшість дослідників вивчають лише середню врожайність за два-три роки, а на важливість проблеми її стабільності вперше звернув увагу український вчений агроном І. А. Стебут [18, 19]. Пріоритетом сучасної селекції в усьому світі є поєднання в сорті високої врожайності та її незалежності від мінливих факторів середовища [18, 20].

Найпростішим показником урожайності є абсолютний розмах варіації (R). В динамічних рядах це абсолютний приріст між максимальним (X_{MAX}) і мінімальним (X_{MIN}) значеннями рівнів – чим ближче до нуля, тим вищий рівень стабільності. У варіаційних рядах (R) використовують значення лише зі знаком «+», а в динамічних – «+» або «–». Тобто поряд

з величиною демонструють напрям змін між рівнями. Втім так можна аналізувати й порівнювати між собою тільки однойменні показники ознаки лише одного ботанічного таксона. Як зазначає Г. Л. Громико [19], «розмах варіації хоча й дуже неточна наука, але для коротких динамічних рядів вельми корисна». Першим дослідником, який застосував цей відносний коефіцієнт стабільності, був D. Lewis [18, 19]. Щоб схарактеризувати здатність сорту формувати мінливість показника врожайності в різних умовах, розробили методику визначення коефіцієнта фенотипової стабільності (SF) як співвідношення високого (HE) та низького (LE) значень показника ознаки. Чим ближче цей коефіцієнт до одиниці, тим стабільніша ознака.

Мета досліджень – установити стабільність насінневої продуктивності сортів сорго зернового (*Sorghum bicolor* L.).

Матеріали та методика досліджень

Дослідження проводили в Лісостеповій зоні на дослідних полях Полтавської, Вінницької та Черкаської філій УІЕСР впродовж 2018–2020 рр., коли погодні умови сприяли росту та розвитку рослин. На рисунках 1–2 подано інформацію щодо метеорологічних факторів під час вегетації сорго зернового в Полтавській філії.

Сівбу здійснювали в оптимальні для зони вирощування строки. Повторність досліду чотириразова. Варіанти розміщували методом розщеплених ділянок. Загальна площа ділянки – 25 м². Біометричні вимірювання та фенологічні спостереження проводили у відповідні фази росту та розвитку рослин сорго зернового. А саме:

Паросток	10*	Поява першого листка з колеоптилю
	11	Перший листок розгорнувся
	15	5 листків розгорнулися
Володь	54–55	З'явилася ½ суцвіття
Цвітіння	64–65	Середина цвітіння
Молочна стиглість	70	Зернівка водостигла
Достигання	90	Зернівка тверда (важко розрізати нігтем)
	90–92	Зернівка тверда (важко подряпати нігтем)
	95–99	Насіння в стадії спокою – вторинний спокій закінчується

*10–99 – код фенологічної фази росту й розвитку сорго зернового.

Предметом дослідження слугували чотири сорти сорго зернового (*S. bicolor*) вітчизняної та іноземної селекції, внесені до Державного реєстру сортів рослин, придатних для поширення в Україні (табл. 1).

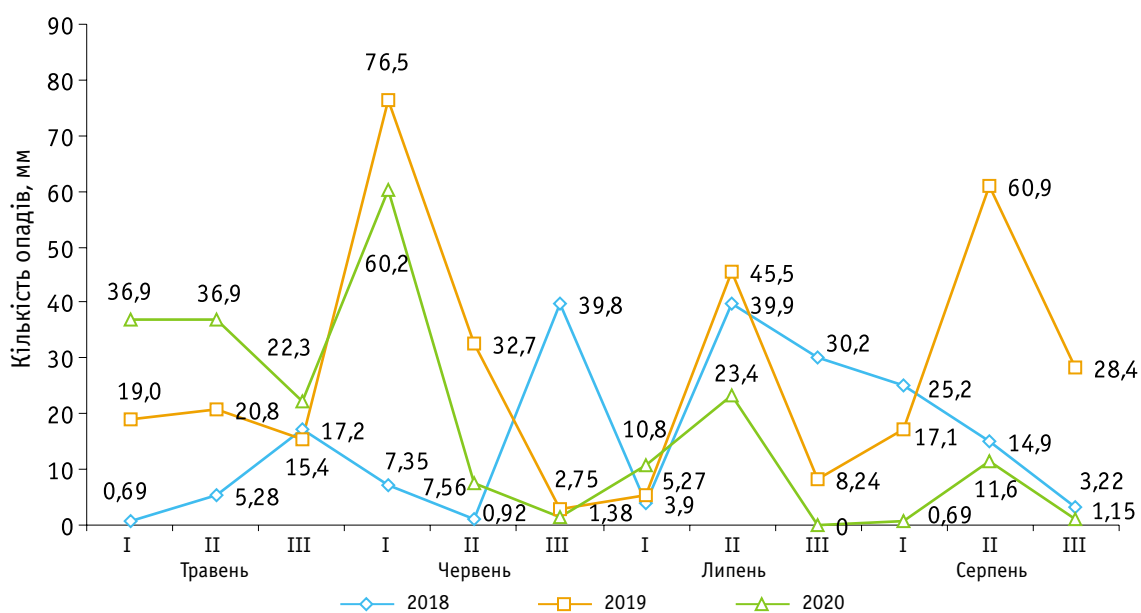


Рис. 1. Кількість опадів 2018–2020 рр. на дослідному полі Полтавської філії УІЕСР

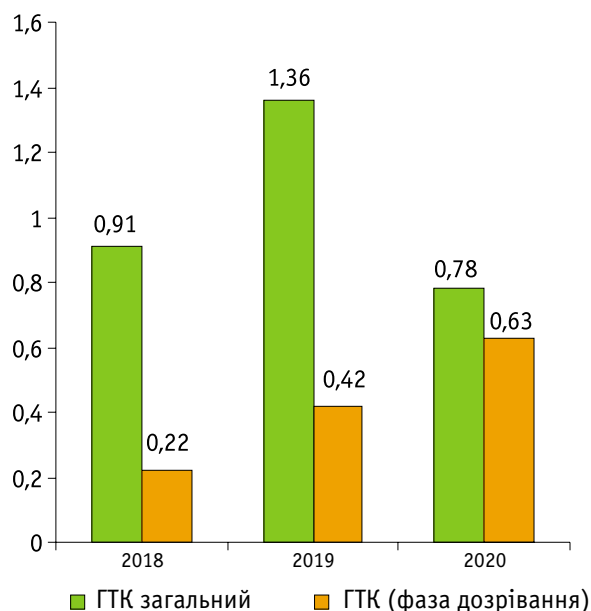


Рис. 2. Гідротермічні коефіцієнти за період вегетації 2018–2020 рр. на дослідному полі Полтавської філії УІЕСР

вих на придатність до поширення в Україні» [21].

Показники якості насіння сорго зернового визначали відповідно до ДСТУ 4967-2008 за «Методикою проведення кваліфікаційної експертизи сортів рослин на придатність до поширення в Україні. Методи визначення показників якості продукції рослинництва» [22, 23].

Статистичне оброблення одержаних результатів експериментальних досліджень виконували методом дисперсійного аналізу, використовуючи комп'ютерні програми «Agrostat» і «Statistica 10.0».

Результати досліджень

За результатами дослідження встановлено, що умови Лісостепу України були оптимальними для своєчасного настання фенологічних фаз росту та розвитку рослин сорго зернового, а також несуттєвого варіювання тривалості періоду вегетації від 117 до 123 діб. Ґрунтово-кліматичні чинники цієї зони

Таблиця 1

Сорти сорго звичайного зернового напрямку використання

Назва сорту	№ заявки	Заявник	Рік реєстрації	Напрямок використання	Зона*
'АРАБЕСК'	17018009	Євраліс Семанс, Франція	2021	зерновий	СЛ
'АРКАН'	18018003		2021	зерновий	СЛ
'ЕС ВІЛЛІ'	16018007	СГІ НААН, Україна	2021	зерновий	СЛ
'Степовий'	18018002		2021	зерновий	СЛ

*С – Степ, Л – Лісостеп.

Закладання дослідів, оцінювання матеріалу, фенологічні спостереження та біометричні вимірювання рослин, збирання врожаю здійснювали відповідно до «Методики проведення експертизи сортів рослин групи зернових, круп'яних та зернобобо-

також сприяли дозріванню зерна – на одній рослині в різний час. Так, якщо на волоті головних стебел воно було повністю стиглим, то на підгонах могло перебувати у фазі воскової або молочно-воскової стиглості. Збирати сорго на насіння починали, коли зерно в

середній частині волоті досягало фази повної зрілості.

Продуктивність сорго зернового оцінювали за показниками виходу насіння з однієї рослини, маси 1000 насінин та врожайності зерна. Середня врожайність насіння досліджуваних сортів становила 7,69–10,56 т/га, а максимальну отримали на дослідному полі Черкаської філії УІЕСР – 12,21 т/га (табл. 2).

Таблиця 2

Урожайність сортів сорго зернового за стандартної вологості зерна (14%) в умовах Лісостепу України (середнє за 2018–2020 рр.)

Код	Філія УІЕСР	Урожайність, т/га		
		середня	МАХ	MIN
8	Вінницька	9,62	11,59	7,37
188	Полтавська	7,69	10,09	4,76
253	Черкаська	10,56	12,21	7,42

Для визначення фенотипової стабільності кількісних характеристик насінневої продуктивності сортів (*S. bicolor*) розраховували мінімальний і максимальний показники врожайності (табл. 3).

Таблиця 3

Фенотипова стабільність сортів сорго зернового в Лісостепу України (середнє за 2018–2020 рр.)

Сорт	Урожайність, т/га			
	середня	max	min	$K_{S,F} = X_{max} / X_{min}$
Вінницька філія				
'АРАБЕСК'	6,24	8,73	4,33	8,73 : 4,33 = 2,02
'АРКАН'	7,39	9,88	4,89	9,88 : 4,89 = 2,02
'ЕС ВІЛЛІ'	5,59	5,59	5,59	5,59 : 5,59 = 1,00
'Степовий'	6,46	7,33	5,58	7,33 : 5,58 = 1,31
Полтавська філія				
'АРАБЕСК'	10,30	12,16	8,45	12,16 : 8,45 = 1,44
'АРКАН'	7,97	9,17	6,84	9,17 : 6,84 = 1,34
'ЕС ВІЛЛІ'	8,32	8,32	8,32	8,32 : 8,32 = 1,00
'Степовий'	7,85	8,09	7,61	8,09 : 7,61 = 1,06
Черкаська філія				
'АРАБЕСК'	6,26	7,41	4,53	7,41 : 4,53 = 1,64
'АРКАН'	5,75	5,92	5,58	5,92 : 5,58 = 1,06
'ЕС ВІЛЛІ'	8,02	9,77	6,27	9,77 : 6,27 = 1,56
'Степовий'	5,73	6,16	5,31	6,16 : 5,31 = 1,16

За допомогою обчислення коефіцієнта Левіса $K_{S,F}$, значення якого характеризують фенотипову стабільність сортів, встановлено, що сорти 'ЕС ВІЛЛІ' (1,00) та 'Степовий' (1,06) були досить стабільними на дослідному полі Полтавської філії. Високу фенотипову стабільність (показник $K_{S,F}$ близький до одиниці) продемонстрували 'АРКАН' і 'Степовий' в умовах Черкаської філії, досить високу – 'ЕС ВІЛЛІ' у Вінницькій філії.

Найпростішим показником урожайності є абсолютний розмах варіації (R) [11]. У динамічних рядах це абсолютний приріст між максимальним (X_{MAX}) і мінімальним (X_{MIN})

значеннями рівнів – чим ближче до нуля, тим вищий рівень стабільності (рис. 3).

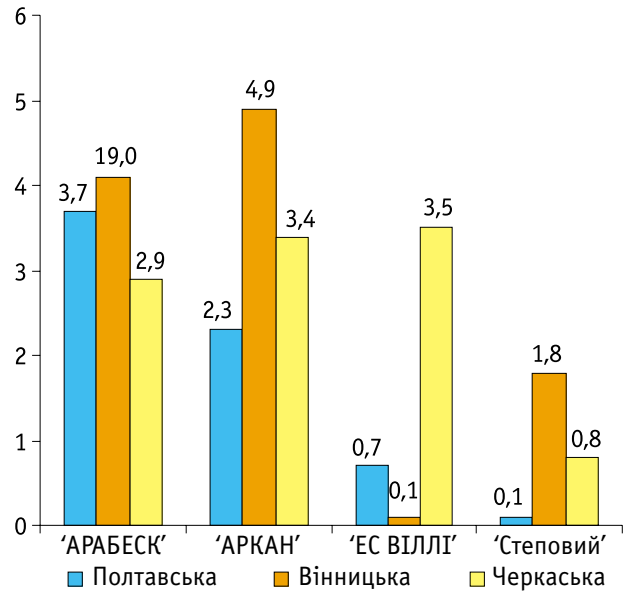


Рис. 3. Абсолютний розмах варіації (R) між максимальним (X_{MAX}) і мінімальним (X_{MIN}) значеннями рівнів урожайності, т/га

Високу врожайність, а також найвищий рівень її стабільності за абсолютним розмахом варіації продемонстрували сорти 'ЕС ВІЛЛІ' та 'Степовий'. Тому саме їх можна рекомендувати для зони Лісостепу України.

Важливим показником продуктивності сорго зернового є маса 1000 насінин, що впродовж дослідження варіювалася від 23,9 до 31,59 г, а стабільно високі її значення на дослідних полях усіх трьох філій мав сорт 'АРКАН' (рис. 4). Ця ознака характеризує крупність, виповненість, запас поживних

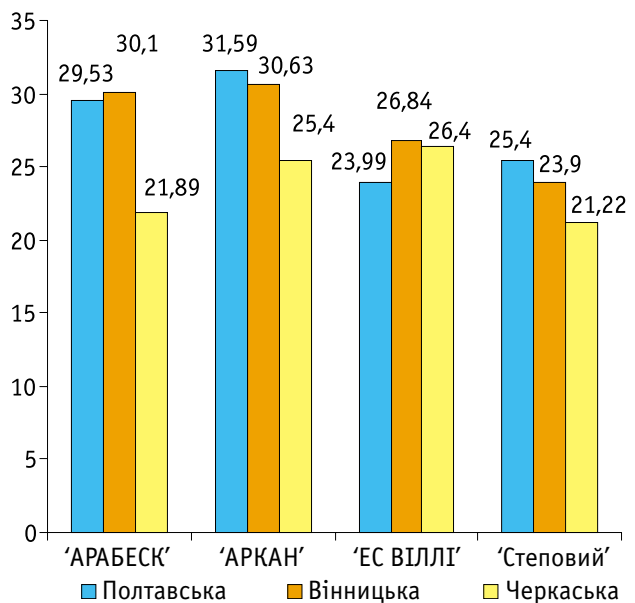


Рис. 4. Маса 1000 насінин сортів сорго зернового, г

речовин у насінні та цінність насінневого матеріалу.

Було визначено такі показники якості насіння, як вміст білка (змінювався від 10,0 до 11,2%) та крохмалю (72,0–78,6%).

Товарна продукція сорго зернового характеризувалася оптимальними показниками якості насіння, одержаного в усіх трьох філіях УІЕСР (табл. 4).

Таблиця 4

Показники якості сортів сорго зернового в Лісостепу України (середнє за 2018–2020 рр.)

Сорт	Вміст, %	
	білка	крохмалю
Вінницька філія		
'АРАБЕСК'	10,4	75,0
'АРКАН'	10,0	72,7
'ЕС ВІЛЛІ'	9,9	77,4
'Степовий'	11,0	75,6
Полтавська філія		
'АРАБЕСК'	10,8	74,3
'АРКАН'	11,0	73,6
'ЕС ВІЛЛІ'	11,2	72,6
'Степовий'	11,2	72,0
Черкаська філія		
'АРАБЕСК'	10,5	75,3
'АРКАН'	8,65	78,6
'ЕС ВІЛЛІ'	8,6	78,2
'Степовий'	8,5	77,5

Найбільший вміст крохмалю спостерігали в сортів 'АРКАН' та 'ЕС ВІЛЛІ' (78,6 і 78,2% відповідно) в Черкаській філії, білка – в 'АРКАН', 'ЕС ВІЛЛІ' та 'Степовий' (11,0–11,2%) у Полтавській. Більш сприятливими для формування високих показників якості були умови Вінницької та Полтавської філій.

Висновки

За допомогою обчислення коефіцієнта Левіса $K_{S,F}$, значення якого характеризують фенотипову стабільність сортів, встановлено, що сорти 'ЕС ВІЛЛІ' (1,00) та 'Степовий' (1,06) були досить стабільними на дослідному полі Полтавської філії.

Найсприятливішими для формування високих показників якості насіння виявилися умови Вінницької та Полтавської філій. Максимальний вміст крохмалю спостерігали в сортів 'АРКАН' та 'ЕС ВІЛЛІ' (78,6 і 78,2% відповідно) в Черкаській філії, білка – в 'АРКАН', 'ЕС ВІЛЛІ' та 'Степовий' (11,0–11,2%) у Полтавській. Стабільно високими значеннями маси 1000 насінин на дослідних полях усіх трьох філій відзначився сорт 'АРКАН'.

Високу врожайність, а також найвищий рівень її стабільності за абсолютним розмахом варіації продемонстрували сорти 'ЕС ВІЛЛІ' та 'Степовий'. Тому саме їх можна рекомендувати для зони Лісостепу України.

References

- Kurylo, V. L., Rakhmetov, D. B., & Kulyk, M. I. (2018). Biological features and potential of yield of energy crops of the thin-skinned family in the conditions of Ukraine. *Bulletin of Poltava State Agrarian Academy*, 1, 11–17. doi: 10.31210/visnyk2018.01.01 [In Ukrainian]
- Kurylo, V. L., Yalanskyi, O. V., & Hamandii, V. L. (2012). Bioenergetic evaluation of sorghum crops. *Scientific Papers of the Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet*, 14, 554–58. [In Ukrainian]
- Makarov, L. Kh. (2006). *Sorghum Crops*. Kherson: Ailant.
- Henley, E. C., & Dahlberg, J. (2012). Sorghum: An Ancient Grain with Present-Day Benefits. *Food Technology*, 66(10), 19–19.
- Kulyk, M. I. (Eds.). (2023). *Energy crops: assortment, biology, ecology, agrotechnology*. Poltava: Astraia. [In Ukrainian]
- Ministry of Agrarian Policy and Food of Ukraine. (2023). *State register of plant varieties suitable for distribution Ukraine in 2023*. Kyiv: N. p. Retrieved from <https://minagro.gov.ua/file-storage/reyst-sortiv-roslin> [In Ukrainian]
- Cherenkov, A. V., Cherchel, V. Yu., Shevchenko, M. S., Fedorenko, E. M., Bodenko, N. A., Dziubetskyi, B. V., ... Kostiva, T. H. (2013). *Catalog of varieties and hybrids of the Institute of Agriculture of the Steppe Zone of the National Academy of Sciences of Ukraine*. Dnipropetrovsk: N. p. [In Ukrainian]
- Rakhmetov, D. B., Korablova, O. A., Stadnichuk, N. O., Andrushchenko, O. L., Kovtun-Vodyanytska, S. M., Revunova, L. G., & Bondarchuk, O. P. (2015). *Catalogue of plants of New Culture Department*. Kyiv: Fitosotsiotsentr. [In Ukrainian]
- Bezruchko, O. I., & Dzhalai, N. P. (2012). Market of varieties in Ukraine: sorghum vulgaris, bicolor (*Sorghum bicolor* (L.) Moench). *Plant Varieties Studying and Protection*, 3, 45–51. doi: 10.21498/2518-1017.3(17).2012.58830
- Bilozor, L. V. (2005). Features of formation of the market of innovative production in agrarian spheres. *Ekonomika APK*, 2, 106–111. doi: 10.31548/dopovidi2019.02.011 [In Ukrainian]
- Cherenkov, A. V., Shevchenko, M. S., Dziubetskyi, B. V., Cherchel, V. Yu., Bodenko, N. A., Yalanskyi, O. V., ... Benda, R. V. (2011). *Sorghum crops: technology, use, hybrids and varieties*. Dnipropetrovsk: Royal Print. [In Ukrainian]
- Hassan, M. U., Chattha, M. U., Barbanti, L., Chattha, M. B., Mahmood, A., Khan, I., & Nawaz, M. (2019). Combined cultivar harvest time to enhance biomass and methane yield in sorghum under warm dry conditions in Pakistan. *Industrial Crops and Products*, 132, 84–91. doi: 10.1016/j.indcrop.2019.02.019
- Drozdova, O. V. (2015). Green mass of different hybrids maize and sorghum mixed crops productivity and chemical composition. *Scientific and Technical Bulletin of the Institute of Animal Science of the National Academy of Agrarian Science of Ukraine*, 114, 69–73. [In Ukrainian]
- Dremluk, H. K., Hamandii, V. L., & Hamandii, I. V. (2013). Basic elements of sorghum cultivation technology. *Ukrainian Farmer's Guide*, 1, 274–277. [In Ukrainian]
- Roik, M. V., Pravdyva, L. A., Hanzhenko, O. M., Doronin, V. A., Sinchenko, V. M., Kurylo, V. V., ... Yalanskyi, O. V. (2020). *Guidelines for the technology of cultivation of grain sorghum as a raw material for the food industry and biofuel production*. Kyiv: Komprint. [In Ukrainian]
- Rivero, R. M., Mittler, R., Blumwald, E., & Zandalinas, S. I. (2022). Developing climate-resilient crops: improving plant tolerance to stress combination. *Plant Journal*, 109(2), 373–389. doi: 10.1111/tpj.15483
- Kazungu, F. K., Muindi, E. M., & Mulinge, J. M. (2023). Overview of Sorghum (*Sorghum bicolor* L.), its Economic Importance, Ecological Requirements and Production Constraints in Kenya. *International Journal of Plant & Soil Science*, 35(1), 62–71. doi: 10.9734/IJPSS/2023/v35i12744UDC633.174:631.5:620.9
- Sych, Z. D. (2005). Characteristics of the coefficients stability signs in the dynamical series with different duration. *Plant Varieties Studying and Protection*, 2, 5–20. doi: 10.21498/2518-1017.2.2005.67439

19. Manko, Yu. P. (2013). Analysis of modern methods of statistical evaluation of the results of long-term research in agronomy. *Scientific Herald of NULES of Ukraine. Series: Agronomy*, 183(2), 128–134. [In Ukrainian]
20. 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]
21. Tkachyk, S. O. (Ed.). (2016). *Methodology for the qualification examination of plant varieties for suitability for distribution in Ukraine. General part* (4th ed., rev. and enl.). Vinnytsia: Korzun D. Yu. [In Ukrainian]
22. Tkachyk, S. O. (Ed.). (2016). *Methodology for examination of plant varieties of the cereal, grain and leguminous group for suitability for distribution in Ukraine*. Vinnytsia: Korzun D. Yu. [In Ukrainian]
23. Tkachyk, S. O. (Ed.). (2017). *Methods of conducting qualification examination of plant varieties for suitability for distribution in Ukraine. Methods of determining plant production quality indicators* (3rd ed., rev. and enl.). Vinnitsa: Korzun D. Yu. [In Ukrainian]

UDC 633.174:631.547

Kyienko, Z. B.*, **Dutova, H. A.**, **Rudenko, O. A.**, **Sonets, T. D.**, **Tahantsova, M. M.**, & **Makarchuk, B. M.** (2024). Study on the stability of the productivity index of sorghum (*Sorghum bicolor* L.) varieties under Forest-Steppe conditions. *Plant Varieties Studying and Protection*, 20(1), 45–50. <https://doi.org/10.21498/2518-1017.20.1.2024.297222>

Ukrainian Institute for Plant Variety Examination, 15 Henerala Rodymytseva St., Kyiv, 03041, Ukraine, *e-mail: ZKienko@ukr.net

Purpose. To determine the stability of seed productivity of sorghum (*Sorghum bicolor* L.) varieties. **Methods.** The research on common two-coloured grain sorghum varieties ('Arabesk', 'Arkan', 'ES Villy' and 'Stepovyi') was conducted in 2018–2020 in the Forest-Steppe zone on the experimental fields of the Poltava, Vinnytsia and Cherkasy branches of the Ukrainian Institute for Plant Variety Examination (UIPVE). In accordance with the «Methodology for the examination of plant varieties of the group of cereals, grains and legumes for their suitability for distribution in Ukraine», trials were set up, material evaluated, phenological observations and biometric measurements of plants made and harvested. Seed quality indicators were determined in accordance with the "Methodology for the qualification examination of plant varieties for their suitability for distribution in Ukraine. Methods of quality determination". The study used field,

laboratory, biochemical and statistical methods. **Results.** Optimal conditions of the Forest-Steppe ensured timely onset of phenological phases of plant growth and development and insignificant variation of vegetation period from 117 to 123 days. Productivity of sorghum was estimated by quantitative indicators of seed yield per plant and weight of 1000 seeds. **Conclusions.** The Levis coefficient $C_{S,F}$ was calculated to characterise the phenotypic stability of varieties. The results showed that 'ES Villy' (1.00) and 'Stepovyi' (1.06) were stable in the experimental field of the Poltava branch of UIPVE. The conditions of Vinnytsia and Poltava branches were more favourable for the formation of high quality bicoloured sorghum grain and larger weight of 1000 seeds.

Keywords: variety; seed; productivity; yield; tannin; stability; Levis coefficient.

Надійшла / Received 09.12.2023
Погоджено до друку / Accepted 15.01.2024

Урожайність та якість зерна пшениці озимої за різних технологій вирощування

О. А. Заїма^{1*}, О. Л. Дергачов¹, А. А. Сіроштан¹, І. В. Правдзіва¹, Т. М. Хоменко²

¹Миронівський інститут пшениці імені В. М. Ремесла НААН, вул. Центральна, 68, с. Центральне, Обухівський р-н, Київська обл., 08853, Україна, *e-mail: oleksii.zaima@ukr.net

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

Мета. Вивчення впливу попередників і строків сівби на врожайність та якість зерна пшениці озимої. **Методи.** Досліджували 11 сортів пшениці м'якої озимої, а саме: 'Подільянка', 'МІП Ювілейна', 'МІП Фортуна', 'МІП Роксолана', 'МІП Феєрія', 'МІП Відзнака', 'МІП Ніка', 'МІП Дарунок', 'МІП Аеліта', 'МІП Ауріка' та 'МІП Довіра'. Вивчали вплив таких чинників, як попередники (соя, соняшник, кукурудза/МВС, сидеральний пар (гірчиця біла) і гірчиця/насіння) та строки сівби (25 вересня, 5 і 15 жовтня) на врожайність і хлібопекарські якості зерна. **Результати.** Дослідження проводили впродовж 2021–2023 рр. на дослідних полях Миронівського інституту пшениці імені В. М. Ремесла. Погодні умови характеризувалися підвищеними температурами та нерівномірними опадами. Найбільші врожаї пшениці озимої одержано після сидерального пару як попередника (7,29 т/га), найменші – після соняшнику (5,35 т/га). Зміщення строку сівби з 25 вересня до 15 жовтня знижувало середню врожайність сортів. Виняток становили лише результати, отримані після таких попередників, як соняшник і гірчиця, за сівби 5 жовтня – 5,54 і 6,51 т/га. З-поміж досліджуваних найвищий рівень урожайності (6,39–6,95 т/га) спостерігали в сортів 'МІП Дарунок', 'МІП Ауріка', 'МІП Аеліта' та 'МІП Відзнака'. Більші вміст білка, клейковини та показник седиментації відзначали після сидерального пару та сої як попередніх культур; крім того, після сої встановлено тенденцію до збільшення сили борошна та об'єму хліба. Вказане раніше зміщення строку сівби також призводило до зменшення об'єму хліба й посилення склоподібності; решта показників були в межах достовірної різниці. Сорти 'МІП Довіра', 'МІП Ніка' і 'МІП Роксолана' характеризувалися найвищим вмістом білка в зерні. За комплексом показників якості переважали над іншими 'МІП Ювілейна', 'МІП Роксолана' й 'МІП Ауріка'. **Висновки.** Встановлено, що попередники сидеральний пар і соя, а також оптимальні строки сівби – третя декада вересня і перша жовтня – забезпечують максимальну врожайність досліджуваних сортів. Так, найвищим її рівнем характеризувалися 'МІП Дарунок', 'МІП Відзнака', 'МІП Ауріка' та 'МІП Аеліта'. За комплексом показників якості зерна виділено сорти 'МІП Ювілейна', 'МІП Роксолана' та 'МІП Ауріка'.

Ключові слова: сорт; попередники; строки сівби; врожайність; вміст білка; вміст клейковини; показник седиментації.

Вступ

Пшениця озима (*Triticum aestivum* L.) – одна з найцінніших культур для збільшення виробництва зерна, яку вирощують на 220 млн га 15% орних земель світу [1]. На рівень її врожайності та показники якості зерна впливають ґрунтово-кліматичні умови вирощування, біологічні особливості сорту, агротехнічні та інші чинники [2, 3]. Максимальні врожаї формуються за оптимального співвідношення всіх вказаних факторів [4].

Збільшити вихід зерна пшениці на 40–60% можна завдяки своєчасній заміні сорту, реалізація генетичного потенціалу якого (за умови

дотримання всіх передбачених агротехнологічних заходів) є одним із найдешевших способів підвищення врожайності [5–6]. У процесі виведення нових сортів необхідно поєднувати їхню високу врожайність з комплексом цінних характеристик, зокрема параметрами якості зерна [7], тому вивчення впливу попередників на нього залишається важливим завданням [8, 9]. Через значне варіювання строків сівби залежно від попередників і погодних умов певного року [10] озимі культури «входять» у зиму на різних етапах розвитку, тож зазнають неоднакової дії біотичних та абіотичних факторів. Це суттєво позначається на рості, розвитку та, зрештою, рівні врожайності. Найбільше зерна одержують за умови оптимального строку сівби, який встановлюють з огляду на ґрунтово-кліматичні чинники, особливості сорту, агротехніку та погодні умови в передпосівний період [11, 12]. Оскільки різні сорти мають неоднакові біологічні особливості, необхідно підбирати заходи агротехніки окремо для кожного [13]. Інформація щодо оптимальних попередників і строків сівби має практичне значення та дає змогу оцінити сорти пшениці озимої за врожайністю та стабільністю [14].

Oleksiy Zaima

<https://orcid.org/0000-0001-5714-630>

Oleksandr Derhachov

<https://orcid.org/0000-0001-8615-7110>

Andrii Siroshstan

<https://orcid.org/0000-0003-3246-2907>

Iryna Pravdziva

<https://orcid.org/0000-0002-0808-1584>

Tetiana Khomenko

<https://orcid.org/0000-0001-9199-6664>

Мета досліджень – вивчення впливу попередників і строків сівби на врожайність та якість зерна різних сортів пшениці м'якої озимої.

Матеріали та методика досліджень

Дослідження проводили впродовж 2021–2023 рр. на дослідних полях Миронівського інституту пшениці імені В. М. Ремесла, розташованого на півдні Київської області. Ґрунт – чорнозем малогумусний слабковилугуваний середньосуглинковий. Потужність гумусного горизонту – 38–40 см. Вміст гумусу в шарі ґрунту 0–20 см – 3,7–4,0%, легкогідролізованого азоту – 12–13%, рухомого фосфору – 21–25%, обмінного калію – 10–16 мг/100 г ґрунту. Гідролітична кислотність – 1,7–2,2 мг-екв/100 г ґрунту; рН – 5,4–6,0.

Насіння пшениці озимої було протруєно препаратом Вінцит Форте SC, к. с. (1,2 л/т). Норма висіву становила 5 млн насінин на 1 га, сівбу здійснювали селекційною сівалкою СН-10 Ц; посівна площа ділянки – 10,5 м², облікова – 8,11 м², повторність чотириразова. Навесні вносили аміакову селітру з розрахунку N₃₅ д.р./га. На V етапі органогенезу (е.о.) посіви пшениці обробляли баковою сумішшю гербіцидів Гренадер Максі, в.г. (35 г/га) та Клайнер, в.г. (25 г/га), фунгіциду Грінфорт Супер, к.е. (0,5 л/га) і прилипача Файн Лип (0,2 л/га).

Сівба, фенологічні спостереження та облік урожайності були загальноприйнятими для випробування сортів пшениці [15–17]. Як стандарт використовували сорт 'Подільянка'.

Схема досліджу: *фактор А* – п'ять попередників: соя, соняшник, кукурудза/МВС, сидеральний пар (гірчиця біла), гірчиця/насілля; *фактор В* – три строки сівби: 25 вересня, 5 та 15 жовтня; *фактор С* – 11 сортів пшениці м'якої озимої: 'Подільянка', 'МПП Ювілейна', 'МПП Фортуна', 'МПП Роксолана', 'МПП Феерія', 'МПП Відзнака', 'МПП Ніка', 'МПП Дарунок', 'МПП Аеліта', 'МПП Ауріка', 'МПП Довіра'.

Технологічні показники якості зерна визначали в лабораторії якості зерна Миронівського інституту пшениці імені В. М. Ремесла відповідно до загальноприйнятих методик [18,19].

Результати досліджень

Середня температура повітря в період із серпня 2020 до липня 2021 р. становила 9,8 °С і на 0,9 °С перевищувала усереднену багаторічну (табл. 1). Середньомісячні показники були більшими за середні багаторічні на 0,7–4,5 °С із серпня до листопада 2020 р.; на 3,6 і 4,5 °С – в аномально теплі вересень і жовтень 2020 р. Перевищення у весняно-літній період спостерігали в червні та липні – на 0,9 і 2,2 °С відповідно.

Таблиця 1

Температурні умови впродовж вегетаційного періоду пшениці озимої (метеостанція «Миронівка», 2020/2021–2022/2023 рр.)

Місяць	Середня багаторічна	Температура повітря, °С					
		2020/2021 рр.		2021/2022 рр.		2022/2023 рр.	
		фактична	±	фактична	±	фактична	±
Серпень	20,4	21,1	0,7	20,5	0,1	21,6	1,2
Вересень	14,5	18,5	4,0	13,2	-1,3	12,9	-1,6
Жовтень	8,7	13,2	4,5	7,6	-1,1	8,2	-0,5
Листопад	2,1	3,8	1,7	4,8	2,7	3,8	1,7
Грудень	-1,6	-0,3	1,3	-1,1	0,5	0,2	1,8
Січень	-3,4	-2,3	1,1	-1,2	2,2	-0,1	3,3
Лютий	-2,2	-4,7	-2,5	1,7	3,9	-0,5	1,7
Березень	2,3	2,3	0,0	2,3	0,0	5,2	2,9
Квітень	9,8	7,7	-2,1	8,3	-1,5	9,3	-0,5
Травень	15,7	14,5	-1,2	14,7	-1,0	15,5	-0,2
Червень	19,3	20,1	0,8	20,7	1,4	19,7	0,4
Липень	21,1	23,3	2,2	20,4	-0,7	20,9	-0,2
За рік	8,9	9,8	0,9	9,3	0,4	9,7	0,8

Примітка. ± – різниця із середньою багаторічною.

Атмосферної вологи із серпня 2020 до липня 2021 р. випало 905 мм, або 147% від середньої багаторічної кількості (табл. 2). Опади наприкінці вересня та в жовтні сприяли отриманню рівномірних сходів пшениці озимої, були достатніми у весняно-літній період, а їхня частка у травні та червні становила 192 і 181% від усередненого багаторічного

значення. За показником вологозабезпечення вегетаційний рік характеризувався оптимальним рівнем зволоження (ГТК = 1,6).

У період із серпня 2021 до липня 2022 р. середня температура повітря становила 9,3 °С, що на 0,4 °С більше за усереднене багаторічне значення. Середньомісячні показники в серпні та листопаді 2021 р. на 0,1 і 2,4 °С

перевищували середні багаторічні, на 1,7 і 1,1 °С поступалися їм у вересні та жовтні й несуттєво відрізнялися від них із серпня до жовтня. Отже, температурний режим попри досить посушливі погодні умови осені сприяв нормальному розвитку озимини.

Таблиця 2

Кількість опадів упродовж вегетаційного періоду пшениці озимої (метеостанція «Миронівка», 2020/2021–2022/2023 рр.)

Місяць	Середня багаторічна	Сума опадів, мм					
		2020/2021 рр.		2021/2022 рр.		2022/2023 рр.	
		фактична	±	фактична	±	фактична	±
Серпень	54	11	-43	109	55	84	31
Вересень	57	34	-23	27	-30	118	61
Жовтень	40	67	27	26	-14	30	-10
Листопад	40	40	0	41	1	81	41
Грудень	42	50	8	94	52	43	1
Січень	37	84	47	33	-4	11	-26
Лютий	32	74	42	10	-22	28	-4
Березень	34	39	5	13	-21	46	12
Квітень	45	59	14	143	98	85	40
Травень	51	118	67	42	-9	21	-30
Червень	85	158	73	58	-27	39	-45
Липень	72	172	100	68	-4	184	112
За рік	589	905	316	663	74	769	180

Примітка. ± – різниця із середньою багаторічною.

Середньомісячна температура повітря весняно-літнього періоду вегетації була нижчою за усереднену багаторічну на 0,1–1,5 °С в усі місяці, окрім червня, коли перевищувала її на 1,4 °С. Кількість атмосферної вологи із серпня 2021 до липня 2022 р. становила 663 мм (108% від середньої багаторічної кількості). Опади в серпні (109 мм, або 198% від багаторічної кількості) сприяли отриманню рівномірних сходів пшениці. Загалом весняно-літній період відзначився достатньою кількістю вологи, хоча й на 7–30 мм меншою за багаторічну. Лише у квітні спостерігали 349% від усередненої багаторічної кількості опадів. За показником вологозабезпечення цей рік характеризувався слабкою посухою (ГТК = 0,9).

Середня температура повітря в період із серпня 2022 до липня 2023 р. становила 9,7 °С, що на 0,8 °С більше, як порівняти з усередненою багаторічною. Середньомісячна температура в серпні та листопаді 2022 р. перевищувала багаторічну на 1,2 та 1,7 °С відповідно, а в вересні та жовтні була нижчою за неї на 0,5–1,6 °С. Впродовж серпня та вересня температурні показники несуттєво відрізнялися від середніх багаторічних, проте надмірна кількість опадів призвела до перезволоження орного шару ґрунту. Загалом температурний режим осіннього періоду сприяв нормальному розвитку озимини. Під час весняно-літньої вегетації середньомісячні показники були на 0,2–0,5 °С нижчими ніж багаторічні в квітні, травні та липні й вищими за них на 0,4–2,9 °С в інші місяці.

Кількість атмосферної вологи із серпня 2022 до липня 2023 р. становила 768,9 мм (131% від середньої багаторічної кількості). Надмірні опади в серпні та вересні (84,4 та 117,5 мм, або 157 і 208% від багаторічної кількості) створювали оптимальні умови для росту рослин озимих культур на початкових етапах розвитку та сприяли отриманню рівномірних сходів пшениці. Весняно-літній період вегетації відзначився достатньою кількістю вологи, хоча частка опадів у травні та червні становила лише 41–47% від середньої багаторічної кількості. За показником вологозабезпечення цей рік характеризувався оптимальним зволоженням (ГТК = 1,52).

Середня за всіма варіантами досліду врожайність сортів пшениці озимої становила 6,22 т/га, максимальна (після сидерата як попередника) – 7,29, мінімальна (після соняшнику) – 5,35 т/га (рис.).

Зміщення строку сівби з 25 вересня до 15 жовтня переважно знижувало середню врожайність сортів. Виняток становили лише результати, одержані після таких попередників, як соняшник і гірчиця, за сівби 5 жовтня – 5,54 і 6,51 т/га.

Якщо середня багаторічна тривалість вегетаційного періоду (від сівби до збирання) становила 307 діб, то впродовж досліджень налічувала 298 діб за умови сівби 25 вересня, 287 – 5 жовтня, 274 доби – 15 жовтня. Строки сівби найбільше впливали на час появи сходів та фазу від сходів до припинення вегетації рослин в осінній період. Час настання колосіння пшениці озимої у весняний період залежно від строків сівби варіювався

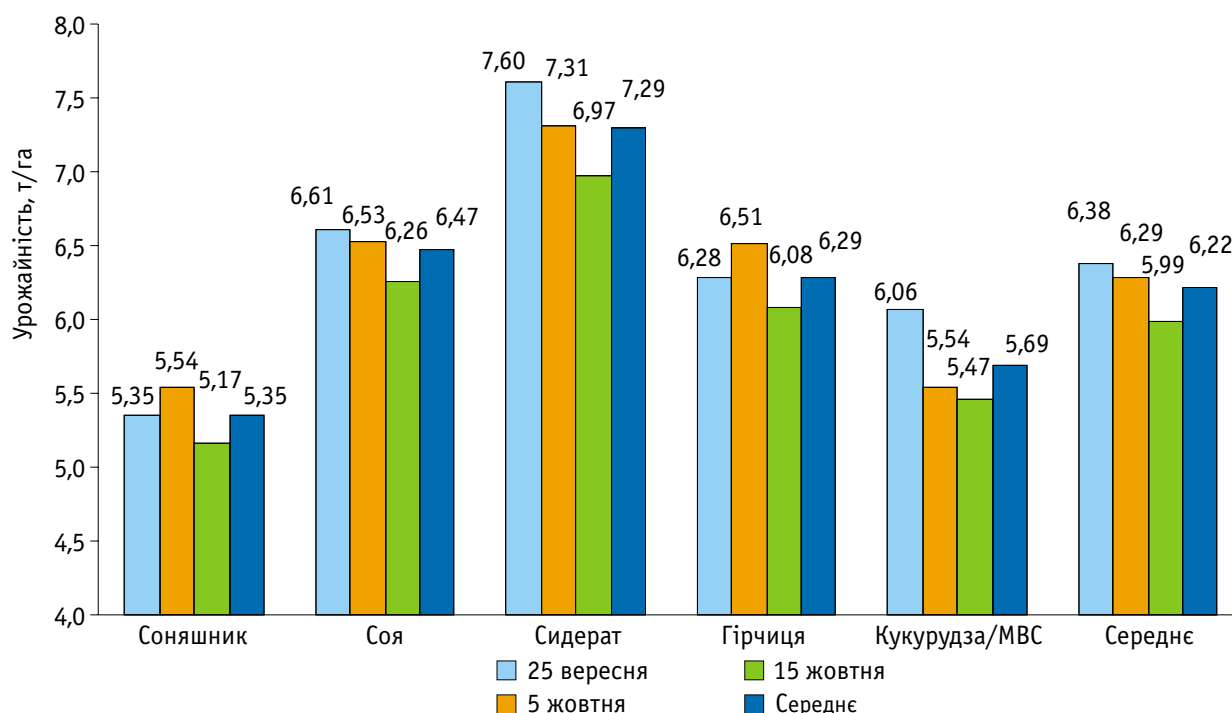


Рис. Середня врожайність пшениці озимої залежно від попередників і строків сівби (2021–2023 рр.)

в межах 1–4 діб, у розрізі попередників – 1–3 доби; раніше початок цієї фази відмічали за попередником кукурудза/МВС, пізніше – за сидеральним паром.

Урожайність сортів змінювалася залежно від попередників і строків сівби, що пояснюється різним станом розвитку рослин в осінній період вегетації та неоднаковою їхньою висотою у весняно-літній.

Після соняшнику як попередньої культури та за сівби 25 вересня найвищі врожаї сформували сорти 'МІП Ювілейна', 'МІП Відзнака' та 'МІП Аеліта' – 5,78; 5,79 і 5,74 т/га (табл. 3). Цей строк сівби сприяв одержанню більших врожаїв у 'МІП Ювілейна', 'МІП Ніка' та 'МІП Довіра'. Рівень урожайності сорту-стандарту 'Подольнка' (як і більшості досліджуваних) зростає за сівби 5 жовтня – з 5,08 до 5,19 т/га.

Таблиця 3

Урожайність пшениці озимої залежно від попередників і строків сівби (2021–2023 рр.)

Попередник	Строк сівби	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	G8	G9	G10	G11
Соняшник	25.09	5,08	5,78	5,45	5,26	5,07	5,07	4,64	5,34	5,79	5,63	5,74
	05.10	5,19	5,61	5,57	5,79	5,58	4,73	4,13	5,51	6,18	6,26	6,43
	15.10	4,84	5,09	4,94	5,42	5,08	4,75	4,31	5,10	5,28	5,90	6,13
Соя	25.09	6,48	6,86	6,26	6,80	6,32	5,68	5,64	6,81	7,82	6,99	7,08
	05.10	5,72	6,79	6,76	6,92	5,48	5,75	6,21	7,12	7,30	7,33	6,46
	15.10	5,64	6,35	6,48	6,66	6,24	5,38	5,25	6,66	6,40	7,26	6,53
Сидерат	25.09	7,38	6,70	7,15	7,59	7,58	7,48	7,67	7,41	9,04	7,62	8,00
	05.10	6,70	6,79	6,47	6,90	7,51	7,14	7,88	7,32	8,73	7,18	7,79
	15.10	7,08	6,39	6,30	6,77	6,93	6,25	6,76	7,29	7,78	7,37	7,74
Гірчиця	25.09	6,30	5,89	5,62	6,26	5,89	5,99	5,96	6,44	7,11	6,69	6,97
	05.10	6,20	6,28	5,79	6,68	6,24	6,12	5,95	6,92	7,45	7,11	6,88
	15.10	6,14	5,81	6,10	6,25	5,42	5,64	5,89	6,08	6,72	6,57	6,27
Кукурудза/ МВС	25.09	5,98	5,93	5,66	6,48	5,89	5,76	5,43	6,24	6,94	6,09	6,32
	05.10	5,55	5,82	5,42	5,56	5,14	5,03	4,87	5,58	6,08	5,84	6,11
	15.10	5,64	5,35	5,71	5,12	4,81	5,20	5,14	6,03	5,64	5,66	5,82
Середнє		5,99	6,09	5,98	6,30	5,94	5,73	5,71	6,39	6,95	6,63	6,69
НІР _{0,05} для соняшнику – 0,88, сої – 0,97, сидерата – 1,05, гірчиці – 0,82, кукурудзи – 0,85, для досліду – 0,94												

Примітка. G1 – 'Подольнка', G2 – 'МІП Ювілейна', G3 – 'МІП Фортуна', G4 – 'МІП Феєрія', G5 – 'МІП Роксолана', G6 – 'МІП Ніка', G7 – 'МІП Довіра', G8 – 'МІП Дарунок', G9 – 'МІП Відзнака', G10 – 'МІП Ауріка', G11 – 'МІП Аеліта'.

Вищу врожайність після сої за сівби 25 вересня отримано в сортів 'МІП Відзнака' (7,82 т/га) та 'МІП Аеліта' (7,08 т/га); 5 жов-

тня – 'МІП Дарунок' (7,12 т/га) і 'МІП Ауріка' (7,33 т/га). Зі зміщенням строків сівби до пізніших знижувалися врожаї сорту 'Подольнка'.

ка' – від 6,48 до 5,64 т/га. Перший строк сівби (25 вересня) сприяв формуванню найвищої врожайності в 'МІП Ювілейна', 'МІП Роксолана', 'МІП Ніка', 'МІП Аеліта' та 'МІП Відзнака'; другий (5 жовтня) – в решти інших.

Після сидерального пару максимальні врожаї були в 'МІП Аеліта' (7,74–8,00 т/га) та 'МІП Відзнака' (7,78–9,04 т/га). Стандарт 'Подільнянка' формувалася вище врожайність (7,38 т/га) за сівби 25 вересня. Цей строк був найсприятливішим і для більшості інших сортів. Водночас у 'МІП Довіра' та 'МІП Ювілейна' врожайність максимально підвищувалася за сівби 5 жовтня.

Після гірчиці та за строку сівби 5 жовтня, який виявився найсприятливішим для більшості досліджуваних сортів, максимальний рівень урожайності (7,45 т/га) сформував 'МІП Відзнака'. Найліпшою для сортів 'Подільнянка', 'МІП Довіра' та 'МІП Аеліта' була сівба 25 вересня, для 'МІП Фортуна' – 15 жовтня.

Після кукурудзи на силос та за строку сівби 25 вересня, який був оптимальним для всіх сортів, найвищий рівень урожайності продемонстрували 'МІП Відзнака' (6,94 т/га) та 'МІП Фортуна' (6,48 т/га).

Попередники та строки сівби пшениці озимої також впливали на хлібопекарські показники якості зерна. Так, максимальну середню масу 1000 зерен (40,0–40,1 г) сорти формували після гірчиці та соняшнику, натуру зерна (766,1–766,7 г/л) – після соняшнику та сої, найвищі вміст білка (12,0%), клейковини (25,9–26,3%) та показник седиментації (55,6 мл) – після сидерального пару та сої (табл. 4).

Тенденцію до збільшення сили борошна та об'єму хліба, на які впливали вміст білка та крохмалю в зерні, спостерігали після сої як попередньої культури. Вищі вміст клейковини та маса 1000 зерен були за сівби 15 жовтня, натура зерна – 5 жовтня, показник седиментації та вміст білка майже не змінювалися за обох строків сівби. Зміщення сівби з 25 вересня до 15 жовтня призвело до зменшення об'єму хліба та посилення склоподібності, решта показників були в межах достовірної різниці.

Аналіз якості зерна продемонстрував (табл. 5), що за варіантами високою середньою масою 1000 зерен (40,0–42,1 г) характеризувалися сорти 'МІП Відзнака', 'МІП Аелі-

Таблиця 4

Показники якості зерна сортів пшениці озимої залежно від попередника та строку сівби (2021–2023 рр.)

Показник	Попередник						Строк сівби		
	P1	P2	P3	P4	P5	X	25.09	5.10	15.10
Маса 1000 зерен, г	38,4	40,1	39,7	39,3	40,0	39,5	39,6	39,4	39,4
Натура зерна, г/л	766,7	766,1	752,4	759,3	753,3	759,5	759,8	759,6	760,3
Склоподібність, %	82,8	66,3	65,9	73,7	67,6	71,2	71,1	70,9	72,9
Вміст білка, %	12,1	8,9	10,0	12,0	10,2	10,6	10,5	10,8	10,7
Показник седиментації, мл	55,6	49,3	53,0	55,6	53,4	53,4	53,5	53,8	53,3
Вміст клейковини, %	25,9	19,7	23,4	26,3	23,2	23,7	24,0	24,0	23,6
ІДК, од. п.	74,6	71,2	81,5	83,3	83,0	78,8	79,6	79,3	79,3
Сила борошна, о. а.	306,5	276,1	275,6	281,5	280,5	284,0	278,7	284,6	285,7
Час утворення тіста, хв	57,5	58,5	51,4	52,7	53,3	54,7	53,1	54,0	55,4
Стійкість тіста, хв	72,7	70,7	72,9	70,0	70,7	71,4	71,6	72,5	70,3
Розрідження тіста, од. п.	438,8	419,1	409,7	404,9	405,9	415,7	416,4	417,4	403,4
Змішувальна здатність, од. п.	73,1	70,1	70,0	69,5	69,8	70,5	70,6	70,5	69,7
Об'єм хліба, см	873,7	785,5	833,3	843,0	845,1	836,1	873,1	820,7	814,5
Шпаристість м'якуша, %	85,5	83,9	85,4	86,2	86,3	85,5	85,7	85,7	85,0

Примітка. P1 – соя, P2 – соняшник, P3 – кукурудза/МВС, P4 – сидеральний пар, P5 – гірчиця.

Таблиця 5

Показники якості зерна сортів пшениці озимої (середнє з усіх варіантів) (2021–2023 рр.)

Сорт	Маса 1000 зерен, г	Натура зерна, г/л	Вміст білка, %	Показник седиментації, мл	Вміст клейковини, %	Сила борошна, од. а.	Оцінка хліба, бал
'Подільнянка'	39,3	764,3	10,7	54,2	25,3	234,6	3,3
'МІП Ауріка'	39,0	764,9	10,6	64,0	25,0	338,3	3,8
'МІП Аеліта'	40,0	773,2	10,7	48,2	24,4	284,4	3,0
'МІП Відзнака'	42,1	775,5	10,0	46,2	20,4	267,5	3,0
'МІП Дарунок'	41,4	769,2	10,2	52,7	22,5	323,0	3,7
'МІП Довіра'	41,0	757,1	11,0	50,2	23,1	272,8	3,7
'МІП Ніка'	36,2	750,0	11,3	56,4	23,0	331,2	4,2
'МІП Роксолана'	37,0	753,2	10,8	50,0	24,4	299,0	3,9
'МІП Феєрія'	38,5	742,7	9,4	49,6	18,6	319,0	3,6
'МІП Фортуна'	38,6	750,7	10,0	55,0	21,2	307,8	3,4
'МІП Ювілейна'	39,0	776,4	10,2	51,0	21,6	331,6	3,4
Середнє	39,3	761,6	10,4	52,5	22,7	300,8	3,5

та, 'МПП Довіра' та 'МПП Дарунок'; натурою зерна (773,2–776,4 г/л) – 'МПП Аеліта', 'МПП Відзнака' та 'МПП Ювілейна'; вмістом білка (11,0–11,3%) – 'МПП Довіра' та 'МПП Ніка'; вмістом клейковини (25,0–25,3%) – 'Подільянка' та 'МПП Ауріка'; показником седиментації (56,4–64,0 мл) – 'МПП Ніка' та 'МПП Ауріка'. За комплексом показників якості найкращими виявились сорти 'МПП Ювілейна', 'МПП Роксолана' та 'МПП Ауріка', об'єм хліба зі 100 г борошна яких становив 840,5–915,0 см³, а загальна оцінка була 3,4–3,9 бала (сорту-стандарту – 815,2 см³ та 3,3 бала).

Висновки

Отже, найбільші врожаї досліджувані нові сорти пшениці озимої формують за умови використання сидерального пару та сої як попередників. Оптимальними строками сівби є третя декада вересня та перша жовтня. Вищий рівень врожайності після всіх попередників притаманний рослинам сортів 'МПП Дарунок', 'МПП Відзнака', 'МПП Ауріка' та 'МПП Аеліта'. За комплексом показників якості найкращими виявились 'МПП Ювілейна', 'МПП Роксолана' та 'МПП Ауріка'.

References

- Ibrahim, N. T. (2023). A climate-crop-spectral approach for wheat adaptation with climate changes in the arid and semi-arid regions. In R. O. Wanyera, & M. Wamalwa (Eds.), *Wheat*. IntechOpen. doi: 10.5772/intechopen.109477
- Oliinyk, K. M., Blazhevych, L. Y., & Davydiuk, H. V. (2018). The effect of adaptive technologies of cultivation on winter wheat grain quality indices. *Feeds and Feed Production*, 86, 141–146. [In Ukrainian]
- Jaisi, S., Thapa, A., & Poudel, M. R. (2021). Study of correlation coefficient and path analysis among yield parameters of wheat: a review. *INWASCON Technology Magazine*, 3, 01–04. doi: 10.26480/itechmag.03.2021.01.04
- Kovalenko, A. M., & Kiriya, Y. P. (2018). Yield and quality of seeds of different varieties of winter wheat crop depending on agro cultivation methods and climate change conditions. *Scientific Reports of NULES of Ukraine*, 5. doi: 10.31548/dopovidi2018.05.021 [In Ukrainian]
- Babiker, W. A., Abdelmula, A. A., Eldessougi, H. I., & Gasim, S. E. (2017). The Effect of Location, Sowing Date and Genotype on Seed Quality Traits in Bread Wheat (*Triticum aestivum*). *Asian Journal of Plant Science and Research*, 7(3), 24–28.
- Fanin, Ya. S., & Litvinenko, M. A. (2023). Yield and elements of plant productivity in modern domestic and foreign varieties of winter durum wheat. *Podilian Bulletin: Agriculture, Engineering, Economics*, 38, 70–77. doi: 10.37406/2706-9052-2023-1.10 [In Ukrainian]
- Hospodarenko, H. M., Liubych, V. V., Riabovol, Ya. S., & Kokhovska, I. V. (2021). Yield and grain quality of baking winter wheat of different varieties. *Scientific Papers of the Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet*, 29, 144–151. doi: 10.47414/nr.29.2021.244457 [In Ukrainian]
- Shakalii, S. M., Bahan, A. V., Yurchenko, S. O., & Chetveryk, O. O. (2021). The influence of predecessors on yield and grain quality of new varieties of hard winter wheat. *Bulletin of Poltava State Agrarian Academy*, 1, 5–71. doi: 10.31210/visnyk2021.01.07 [In Ukrainian]
- Demydov, O. A., Khomenko, S. O., Fedorenko, I. V., & Fedorenko, M. V. (2017). Evaluation of the source material of soft spring wheat according to grain quality indicators in the conditions of the forest-steppe. *Bulletin of Agricultural Science*, 1, 34–37. doi: 10.31073/agrovisnyk201701 [In Ukrainian]
- Havryliuk, M. M., & Kalenyk, P. Ye. (2017). The reaction of new varieties of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) to the influence of environmental factors in the conditions of the Southern Forest Steppe of Ukraine. *Plant Varieties Studying and Protection*, 13(2), 111–118. doi: 10.21498/2518-1017.13.2.2017.105388 [In Ukrainian]
- Kryvenko, A. I., Pochkolina, S. V., & Bezede, N. H. (2019). Productivity and quality of grain of promising varieties of winter wheat at different sowing periods in the conditions of the southern steppe of Ukraine. *Taurian Scientific Bulletin*, 107, 78–85. doi: 10.32851/2226-0099.2019.107.10 [In Ukrainian]
- Tkachuk, V. P., & Tymoshchuk, T. M. (2020). Influence of terms of sowing on the productivity of winter wheat. *Bulletin of Agricultural Science*, 3, 38–44. doi: 10.31073/agrovisnyk202003-05 [In Ukrainian]
- Nasrallah, A. (2020). Performance of wheat-based cropping systems and economic risk of low relative productivity assessment in a sub-dry Mediterranean environment. *European Journal of Agronomy*, 113, 1–15. doi: 10.1016/j.eja.2019.125968
- Pravdziva, I. V., Demydov, O. A., Hudzenko, V. M., & Derhachov, O. L. (2020). Evaluation of yield and stability of bread winter wheat genotypes (*Triticum aestivum* L.) depending on predecessors and sowing dates. *Plant Varieties Studying and Protection*, 16(3), 291–302. doi: 10.21498/2518-1017.16.3.2020.214923 [In Ukrainian]
- Chatfield, C. (1986). Exploratory data analysis. *European Journal of Operational Research*, 23(1), 5–13. doi: 10.1016/0377-2217(86)90209-2
- Institute of Agriculture of the UAAS. (2001). *Methodical guidelines for conducting field experiments on the study of technologies for growing grain crops*. (pp. 4–11). Kyiv: N. p. [In Ukrainian]
- Volkodav, V. V. (Ed.). (2000). *Methodology of state variety testing of agricultural structures. Vol. 1. General part*. Kyiv: N. p. [In Ukrainian]
- Podpriatov, H. I., Voitsehivskiy, V. I., & Maceiko, D. M. (2004). *Basics of standardization, quality management and certification of crop production*. Kyiv: Aristei. [In Ukrainian]
- DSTU 3768:2010. *Wheat. Specifications*. (2010). Kyiv: Derzhspozhyvstandart Ukrainy.

UDC 633.11: 632.937: 632.4

Zaima, O. A.^{1*}, Derhachov, O. L.¹, Siroshstan, A. A.¹, Pravdziva, I. V.¹, & Khomenko, T. M.² (2024). Yield and quality of winter wheat grain under different cultivation technologies. *Plant Varieties Studying and Protection*, 20(1), 51–57. <https://doi.org/10.21498/2518-1017.20.1.2024.300136>

¹The V. M Remeslo Myronivka Institute of Wheat, NAAS of Ukraine, 68 Tsentralna St., Tsentralne village, Obukhiv district, Kyiv region, 08853, Ukraine, *e-mail: oleksii.zaima@ukr.net

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

Purpose. Study of the influence of preceding crops and sowing terms on the yield and quality of winter wheat grain. **Methods.** The study analyzed 11 varieties of soft winter wheat, 'Podolianka', 'MIP Yuvileina', 'MIP Fortuna', 'MIP Roksolana', 'MIP Feieria', 'MIP Vidznaka', 'MIP Nika', 'MIP Darunok', 'MIP Aelita', 'MIP Aurika' and 'MIP Dovira'. The study investigated the impact of preceding crops (soybean, sunflower, corn/MWR, green manure (white mustard), and mustard/seed) and sowing dates (25 September, 5 and 15 October) on grain yield and baking quality. **Results.** The research was conducted in 2021–2023 on the experimental fields of the V. M. Remeslo Myronivka Institute of Wheat. The weather conditions were characterized by high temperatures and uneven precipitation. The highest winter wheat yields were obtained after green manure as a preceding crop (7.29 t/ha), and the lowest yields after sunflower (5.35 t/ha). Shifting the sowing date from 25 September to 15 October reduced the average yield of the varieties. The only exception to the results were those obtained after crops such as sunflower and mustard when sown on 5th October, which yielded 5.54 and 6.51 t/ha respectively. The highest yields (6.39–6.95 t/ha) were observed for the varieties 'MIP Daru-

nok', 'MIP Aurika', 'MIP Aelita' and 'MIP Vidznaka'. Higher protein, gluten and sedimentation values were observed after green manure and soya as a preceding crop; in addition, after soya there was a tendency to increase flour strength and bread volume. The aforementioned shift in sowing date also resulted in a decrease in bread volume and an increase in vitreousness; the remaining parameters were within the range of significant differences. The varieties 'MIP Dovira', 'MIP Nika' and 'MIP Roksolana' were characterized by the highest protein content in the grain. According to the complex of quality indicators, 'MIP Yuvileina', 'MIP Roksolana' and 'MIP Aurika' prevailed over others. **Conclusions.** It was found that green manure and soybean as a preceding crop, as well as optimal sowing dates – the third decade of September and the first of October – provided the maximum yield of the varieties studied. The varieties with the highest yields were 'MIP Darunok', 'MIP Vidznaka', 'MIP Aurika' and 'MIP Aelita'. According to the complex of grain quality indicators, the varieties 'MIP Yuvileina', 'MIP Roksolana' and 'MIP Aurika' were distinguished.

Keywords: variety; preceding crops; sowing terms; yield; protein content; gluten content; sedimentation index.

Надійшла / Received 12.02.2024

Погоджено до друку / Accepted 13.03.2024

Пластичність нових сортів пшениці м'якої озимої (*Triticum aestivum* L.) за врожайністю в різних ґрунтово-кліматичних умовах України

А. М. Кирильчук*, Г. А. Дутова, С. М. Гринів, О. Б. Орленко,
І. В. Безпрозвана, Т. Є. Кулик, Б. М. Макарчук

Український інститут експертизи сортів рослин, вул. Горіхуватський шлях, 15, м. Київ, 03041, Україна,
*e-mail: angela.kyrylchuk@gmail.com

Мета. Визначити рівень продуктивності, стабільності та пластичності нових сортів пшениці м'якої озимої за її вирощування в різних ґрунтово-кліматичних умовах України. **Методи.** Польовий дослід виконували в умовах пунктів досліджень Українського інституту експертизи сортів рослин (УІЕСР) у ґрунтово-кліматичних зонах Степу, Лісостепу та Полісся впродовж 2022–2023 рр. Вивчали особливості росту та розвитку рослин; пластичність і стабільність формування врожайності 34 нових сортів пшениці м'якої озимої обчислювали та аналізували за методикою Ебергарда – Рассела, загальну гомеостатичність і селекційну цінність – за Хангільдіним В. В. і Литвиненком М. А. У процесі досліджень використовували розрахунковий і статистичний методи, для підготовки висновків – аналізу та синтезу. **Результати.** Врожайність сортів залежно від ґрунтово-кліматичної зони та пункту досліджень варіювалася від 5,4 до 8,4 т/га. Найбільшим її середнім значенням характеризувався 'LG Optimist' (8,1 т/га), найменшим – 'ЮСОН' (6,0 т/га). Найсприятливіші умови для дослідження росту та розвитку генотипів у 2022 р. були в зонах Лісостепу ($I_j = 0,9$) та Полісся ($I_j = 0,6$), у 2023-му – Полісся ($I_j = 0,2$); найгірші у 2022 р. – в Степу ($I_j = -0,7$), у 2023-му – в Степу ($I_j = -0,7$) та Лісостепу ($I_j = -0,5$). Розрахункова врожайність сортів у пунктах досліджень не відрізнялася від фактичної, змінювалася в межах 6,0–8,1 т/га й становила в середньому 7,1 т/га. Високу гомеостатичність і низький рівень варіації ($V \leq 10,0\%$) виявлено в сортів 'Євразія' ($Hom = 15,6$), 'Dekaster' ($Hom = 15,2$), 'ФОРСАЙТ' ($Hom = 13,9$) та 'LG Optimist' ($Hom = 12,1$). Крім того, 'LG Optimist' ($Sc = 6,9$) і 'Dekaster' ($Sc = 6,6$) мали найвищий показник селекційної цінності. Сорт 'ФОРСАЙТ' ($b_i = 0,2$; $S^2_{df} = 0,24$), урожайність якого в середньому становила 7,4 т/га, є високопластичним, тому його доцільно вирощувати на екстенсивних фонах і в несприятливих умовах. Сорти 'Євразія', 'Носівочка', 'SOLIFLOR CS', 'Мізінка', 'Трояна', 'LG Optimist', 'Бісквіт', 'МІП Довіра', 'Етуаль', 'Творчість одеська', 'Attribut', 'Epihra', 'Dekaster', 'Epiher', 'Jannis', 'Пам'яті Горлача', 'Trembita bilotserkivska' та 'Слава Унаві' із сукупним проявом високої екологічної пластичності ($b_i = 1$) та стабільності ($S^2_{df} = 0$) й середньою врожайністю зерна 7,2 т/га за генотипом добре реагують на поліпшення умов вирощування і є найбільш практично цінними. **Висновки.** Досліджувані нові сорти пшениці м'якої озимої реалізують свій генетичний потенціал і формують врожаї навіть за суттєвих змін умов середовища та вирощування в різних ґрунтово-кліматичних зонах.

Ключові слова: адаптивність; генотип; гомеостатичність; зернові; потенціал; продуктивність; стабільність; умови середовища.

Вступ

На сучасному етапі розвитку сільського господарства України значну увагу приділяють виробництву зерна, у підвищенні валових зборів якого найбільша питома вага належить пшениці озимій [1, 2].

Anzhela Kyrylchuk

<https://orcid.org/0000-0003-3948-5810>

Galyna Dutova

<https://orcid.org/0000-0002-7987-5840>

Svitlana Hryniv

<https://orcid.org/0000-0002-2044-4528>

Oleksandr Orlenko

<https://orcid.org/0009-0001-3309-0757>

Iryna Bezprozvana

<https://orcid.org/0000-0002-4240-7605>

Tetiana Kulyk

<https://orcid.org/0000-0001-9945-996X>

Bohdan Makarchuk

<https://orcid.org/0009-0003-4957-8399>

Вітчизняні та іноземні науково-дослідні установи розробляють оптимальні варіанти систем землеробства для одержання високих і стабільних урожаїв [3, 4], проводять науково-дослідні роботи з селекції, генетики, імунітету, технологій вирощування [5], поліпшення якості зерна та насінництва [6]. Комплексність у дослідженнях, прискорене розмноження нових і перспективних сортів, вивчення морозо- й посухостійкості, імунітету рослин також є важливими напрямками їхньої діяльності [7], за результатами якої створюють і районувають нові сорти пшениці м'якої озимої інтенсивного типу, що відповідають вимогам інтенсивних та енергоощадних технологій.

Пшеницю м'яку озиму вирощують на значній частині території України, в ґрунтово-кліматичних зонах Степу, Лісостепу та Полісся, де на неї впливають повітряна та ґрунтова посухи, низькі зимові температури й льодова кірка [8], пилові бурі, спалахи епіфі-

тотій хвороб і шкідників. Також посіви часто страждають від вилягання [9].

Для отримання максимального врожаю необхідно, щоб на кожному етапі онтогенезу агротехнічні заходи відповідали вимогам до умов вирощування, які впливають з біологічних властивостей сорту [10, 11].

Успішне проходження кожного наступного етапу органогенезу залежить від бази, яка формується на попередньому, а також наявності необхідних умов, ступінь оптимізації яких впливає на реалізацію потенціалу продуктивності генотипу [12]. Компенсувати недоліки попереднього етапу на наступних важко, а часто й взагалі неможливо.

Натепер в умовах зміни клімату, глобального потепління та дії абіотичного стресу важливо створювати сорти зі значним адаптивним потенціалом до посухи, здатні в періоди нестачі вологи забезпечувати високий рівень життєдіяльності рослин і меншою мірою знижувати врожайність [1, 13]. Нові сорти залежно від напрямів використання мають бути придатними для вирощування за інтенсивними технологіями, а також економічно ефективними з погляду виробництва зерна та інших продуктів [14, 15].

На відміну від інших агрономічних наук селекція не впливає на ґрунтові, агротехнічні й фітосанітарні умови, але виконуючи завдання з підвищення врожайності та показників якості зерна, вдосконалює рослину, її генотип, морфотип, екологічну пластичність, стабільність, адаптивність, життєстійкість, імунітет, толерантність до негативних чинників і стресових гідротермічних явищ, генетичний потенціал продуктивності та якості продукції [16]. Тому завдяки досягненням генетиків-селекціонерів генетичний потенціал урожайності сортів нових поколінь значно підвищено. Добір кращих сортів для господарств, розташованих у різних ґрунтово-кліматичних зонах, підзонах і мікрозонах з нестійкими погодними умовами, має вирішальне значення для збільшення врожайності та поліпшення якості продукції, а тому має бути науково обґрунтованим і враховувати характеристики екологічної пластичності, стабільності та потенціалу адаптивності [17].

Мета дослідження – визначити рівень продуктивності, стабільності та пластичності нових сортів пшениці м'якої озимої за її вирощування в різних ґрунтово-кліматичних умовах України.

Матеріали та методика досліджень

Досліджено 34 сорти пшениці м'якої озимої, внесені до Державного реєстру сортів

рослин, придатних для поширення в Україні, у 2023 р. та рекомендовані до вирощування в ґрунтово-кліматичних зонах Степу, Лісостепу та Полісся. А саме: 'Євразія', 'ЮСОН', 'Сонцедар', 'Гусар', 'Новинка', 'Носівочка', 'SOLIFLOR CS', 'Мізинка', 'Малуша', 'Біла', 'Трояна', 'Kyivska 22', 'Синтетин 240', 'LG Optimist', 'LG Cvitum', 'Бісквіт', 'МІП Дарунок', 'МІП Відзнака', 'МІП Аеліта', 'МІП Довіра', 'Загадка одеська', 'Вірність одеська', 'Етуаль', 'Творчість одеська', 'Епітет', 'Дністрянка одеська', 'Епіграф', 'Dekaster', 'Attribut', 'Jannis', 'ФОРСАЙТ', 'Пам'яті Горлача', 'Trembita bilotserkivska' та 'Слава Унави'.

Польові дослідження здійснювали відповідно до «Методики проведення експертизи сортів рослин групи зернових, круп'яних та зернобобових на придатність до поширення в Україні» [18] впродовж 2022–2023 рр. на дослідних полях філій Українського інституту експертизи сортів рослин (УІЕСР). Зокрема, Дніпропетровської, Кіровоградської та Одеської – Степ; Вінницької, Сумської, Тернопільської, Харківської, Черкаської, Чернівецької, а також Білоцерківського відділу польових досліджень Київської спеціалізованої філії – Лісостеп; Волинської, Закарпатської, Івано-Франківської, Львівської, Рівненської, Чернігівської та Іванівського відділу польових досліджень Хмельницької філії – Полісся.

Врожайність із приведенням до стандартної вологості визначали згідно з «Методикою проведення кваліфікаційної експертизи сортів рослин на придатність до поширення в Україні. Загальна частина» [19]. Розміщення ділянок рендомізоване (облікова площа однієї – 25 м²), повторність чотириразова. Ґрунти характерні для відповідної зони вирощування.

У період вегетації пшениці м'якої озимої в кожному пункті досліджень визначали середньодобову температуру та кількість опадів і розраховували середнє значення в межах ґрунтово-кліматичної зони.

За оперативними даними, середня річна температура повітря у 2022 та 2023 рр. в Степу, Лісостепу та на Поліссі становила 11,1–12,1; 9,1–10,2 та 8,7–10,1 °С відповідно й перевищувала усереднені багаторічні дані на 2,6–3,6; 2,4–3,5 та 1,5–2,9 °С (рис. 1) [20].

Річна кількість опадів у 2022 та 2023 рр. в середньому становила 461 і 429 мм, або 109 та 101% від річної норми, у Степу; 807 і 623 мм, чи 149 та 115%, в Лісостепу; 815 і 785 мм, або 136 та 131%, на Поліссі (рис. 2).

Лабораторні дослідження виконували відповідно до «Методики проведення кваліфікаційної експертизи сортів рослин на придатність до

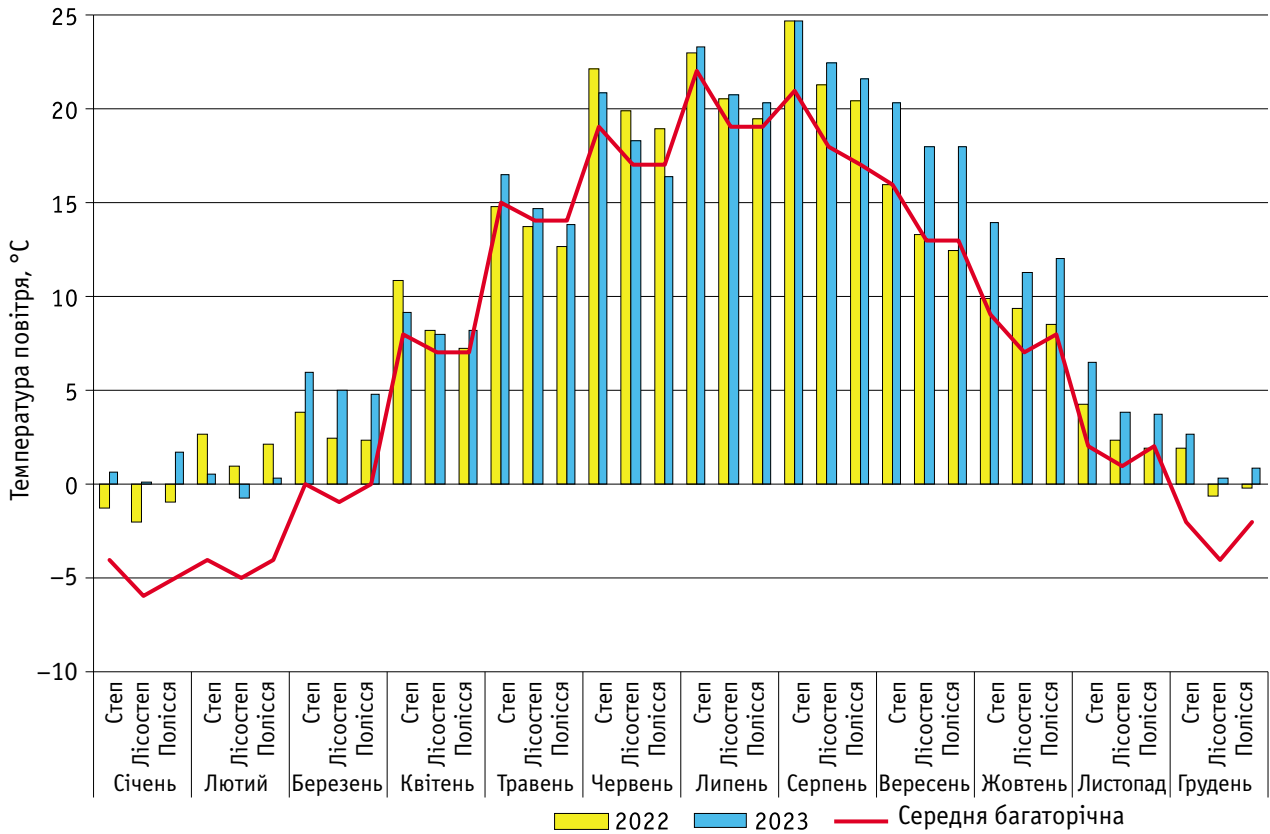


Рис. 1. Середня багаторічна та середні місячні температури повітря в різних зонах у 2022–2023 рр.

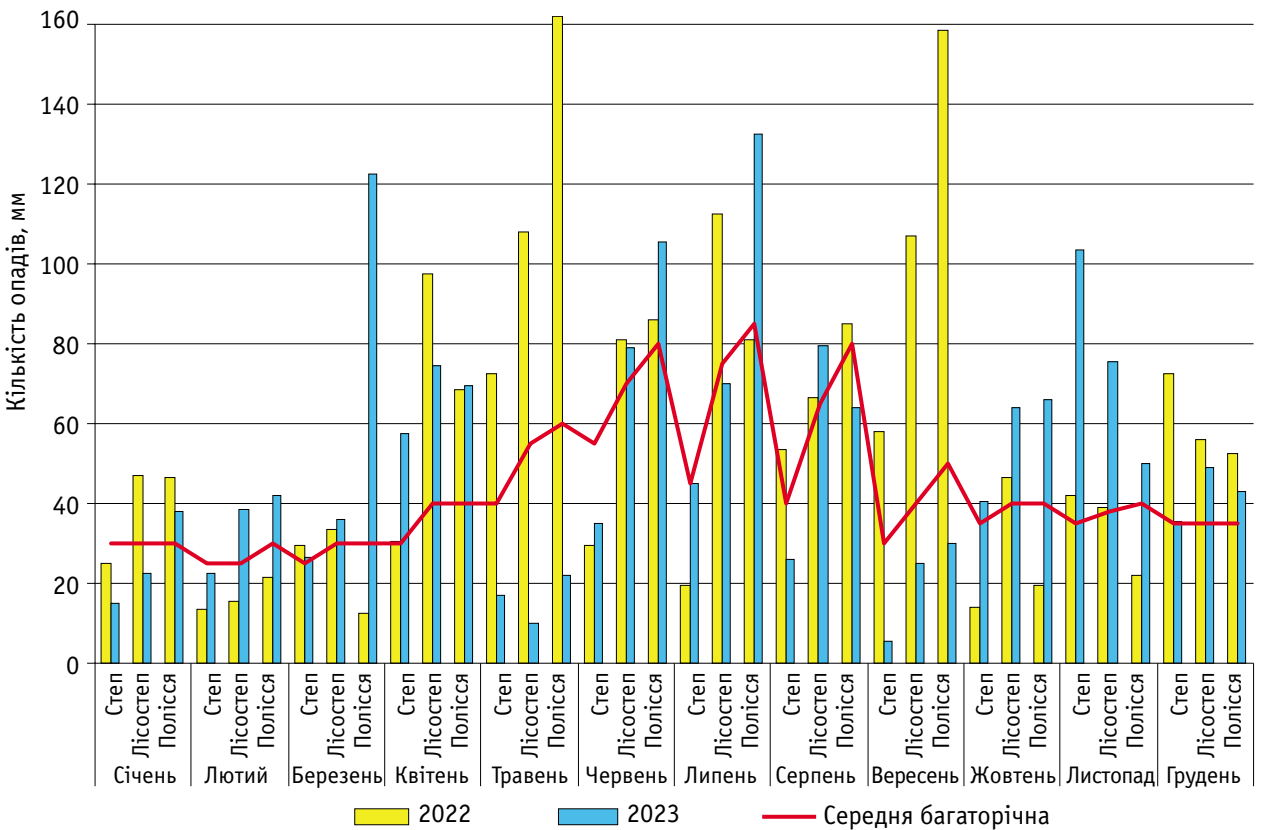


Рис. 2. Середній багаторічний і середні місячні показники кількості опадів за 2022–2023 рр.

поширення в Україні. Методи визначення показників якості продукції рослинництва» [21].

Індекс умовного середовища (I_j), екологічну пластичність (b_i) і стабільність (S_{di}^2) фор-

мування врожайності розраховували та аналізували за методикою Eberthart S. A. та Russel W. A. [22]. За результатами обчислення параметрів пластичності (b_i) та стабільності (S^2_{di}) для сортів пшениці м'якої озимої виділили такі групи: $b_i < 1, S^2_{di} > 0$ – мають кращі результати в несприятливих умовах, нестабільний; $b_i < 1, S^2_{di} = 0$ – мають кращі результати в несприятливих умовах, стабільний; $b_i = 1, S^2_{di} = 0$ – добре реагують на поліпшення умов, стабільний; $b_i = 1, S^2_{di} > 0$ – добре реагують на поліпшення умов, нестабільний; $b_i > 1, S^2_{di} = 0$ – мають кращі результати в сприятливих умовах, стабільний; $b_i > 1, S^2_{di} > 0$ – мають кращі результати в сприятливих умовах, нестабільний. Погодні умови протягом досліджень були контрастними, що дало змогу оцінити нові сорти пшениці м'якої озимої за адаптивністю та виділити серед них кращі.

Загальну гомеостатичність (*Hom*) і селекційну цінність (*Sc*) сорту визначали за Хангільдіним В. В. і Литвиненком М. А. [23].

Статистичні показники [середнє арифметичне (\bar{x}), мінімальне (*min*) і максимальне (*max*) значення, розмах варіювання (*V*), коефіцієнт варіації (*v*), середнє квадратичне відхилення (σ) та найменшу істотну різницю (НІР)] розраховували за Доспеховим Б. О. [24], використовуючи програмне забезпечення «Excel 2016».

Результати досліджень

Експертизу сортів рослин проводять на всій території України в межах ґрунтово-кліматичних зон Степу, Лісостепу та Полісся. Погодні явища, які через свою мінливість можуть щорічно як покращувати, так і погіршувати умови вегетації, від чого значною мірою залежить рівень урожайності, є одним з головних факторів формування продуктивності сільськогосподарських культур.

Останніми роками через певні кліматичні зміни передпосівний період озимих культур характеризується перевищенням середньо-багаторічних показників температури повітря, відсутністю або нестачею опадів і нерівномірністю їхнього розподілу по території.

Кліматичні умови України загалом сприяють веденню сільського господарства. Зональний клімат як середній багаторічний режим погоди є відносно сталим і змінюється від надмірно зволоженого й недостатньо теплого для деяких культур у північно-західних районах до спекотного й посушливого в південних.

Втім середнє потепління на 1,5 °C збільшує ризик появи хвиль тепла (аномально спекот-

них періодів) та сильних опадів. Підвищення температури спричинить осушення багатьох річок та озер, що зі свого боку прискорить колообіг води в природі. За такого сценарію зросте нерівномірність розподілення річної норми опадів, тобто внаслідок сильних злив за декілька днів зможе випасти сезонна норма атмосферної вологи для регіону [25].

В Україні гідрологічні умови є лімітуючим фактором для формування продуктивності сільськогосподарських культур [13, 26]. Щоб оцінити умови зволоження, використали комплексний показник гідротермічного коефіцієнта (ГТК) Селянінова, який враховує надходження води (опадів) та її сумарну витрату на випаровування [27].

Для характеристики погодних факторів використали ГТК таких основних періодів вегетації рослин, як сівба – закінчення осінньої вегетації та весняна вегетація – воскова стиглість. Згідно з градацією Г. Г. Селянінова, у 2022–2023 рр. умови зони Степу були середньо- та слабкопосушливими (ГТК = 0,6–0,9), Лісостепу – достатньо та надмірно вологими (ГТК = 1,3–1,8), Полісся – надмірно вологими (ГТК = 1,6–1,9) (рис. 3).

Встановлено, що ГТК (IV–X місяців) суттєво змінювався щороку, щомісяця і загалом по зонах, де проводили досліди. Найкращі гідротермічні умови для формування врожаю зернових культур спостерігали в Лісостепу, де ГТК протягом весняної вегетації – воскової стиглості варіювався від 1,9–12,5 (надмірно волого) у квітні до 0,2–2,6 (дуже сильна посуха та надмірно волого) в травні та від 1,4 (достатньо волого) в червні до 1,8–1,1 (надмірно та достатньо волого) в липні. У період сівби – закінчення осінньої вегетації цей коефіцієнт змінювався від 1,0–1,1 (достатньо волого) в серпні до 0,5–2,6 (сильна посуха та надмірно волого) в вересні та 2,2 (надмірно волого) в жовтні.

На Поліссі впродовж весняної вегетації – воскової стиглості ГТК варіювався від 2,1–8,1 (надмірно волого) у квітні до 0,6–3,8 (середня посуха) в травні та від 1,4–2,2 (достатньо та надмірно волого) в червні до 1,8–2,1 (надмірно волого) в липні. В період сівби – закінчення осінньої вегетації цей коефіцієнт змінювався від 1,0–1,3 (достатньо волого) в серпні до 0,6–2,6 (середня посуха та надмірно волого) у вересні та 0,9–2,0 (слабка посуха та надмірно волого) у жовтні.

Умови зволоження в зоні Степу були дещо гіршими. Протягом весняної вегетації – воскової стиглості ГТК варіювався від 0,4–6,0 у квітні до 0,3–1,8 (дуже сильна посуха та надмірно волого) у травні, червні та липні він

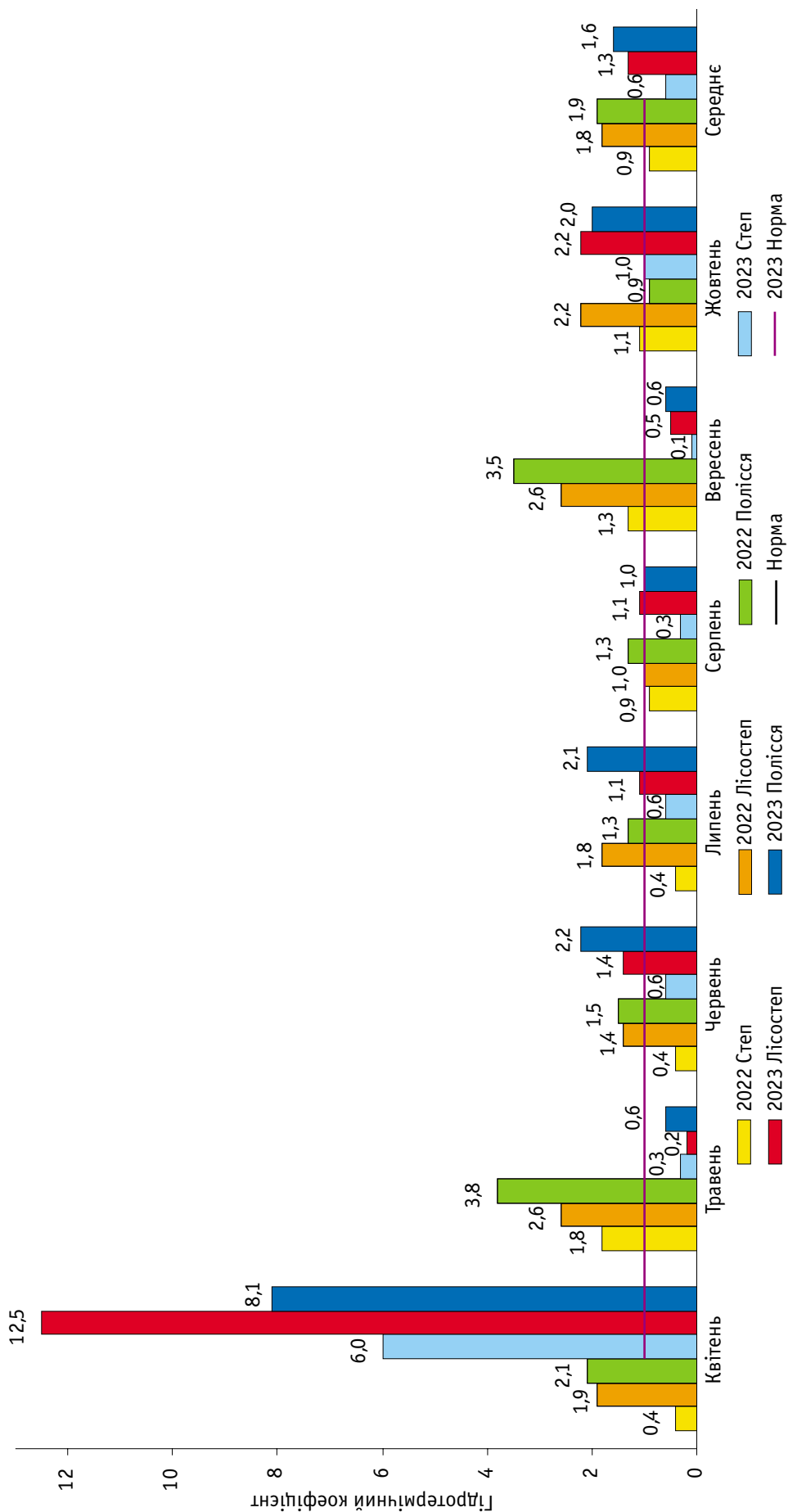


Рис. 3. Гідротермічний коефіцієнт (ГК) за середньодобовими даними (2022–2023 рр.)

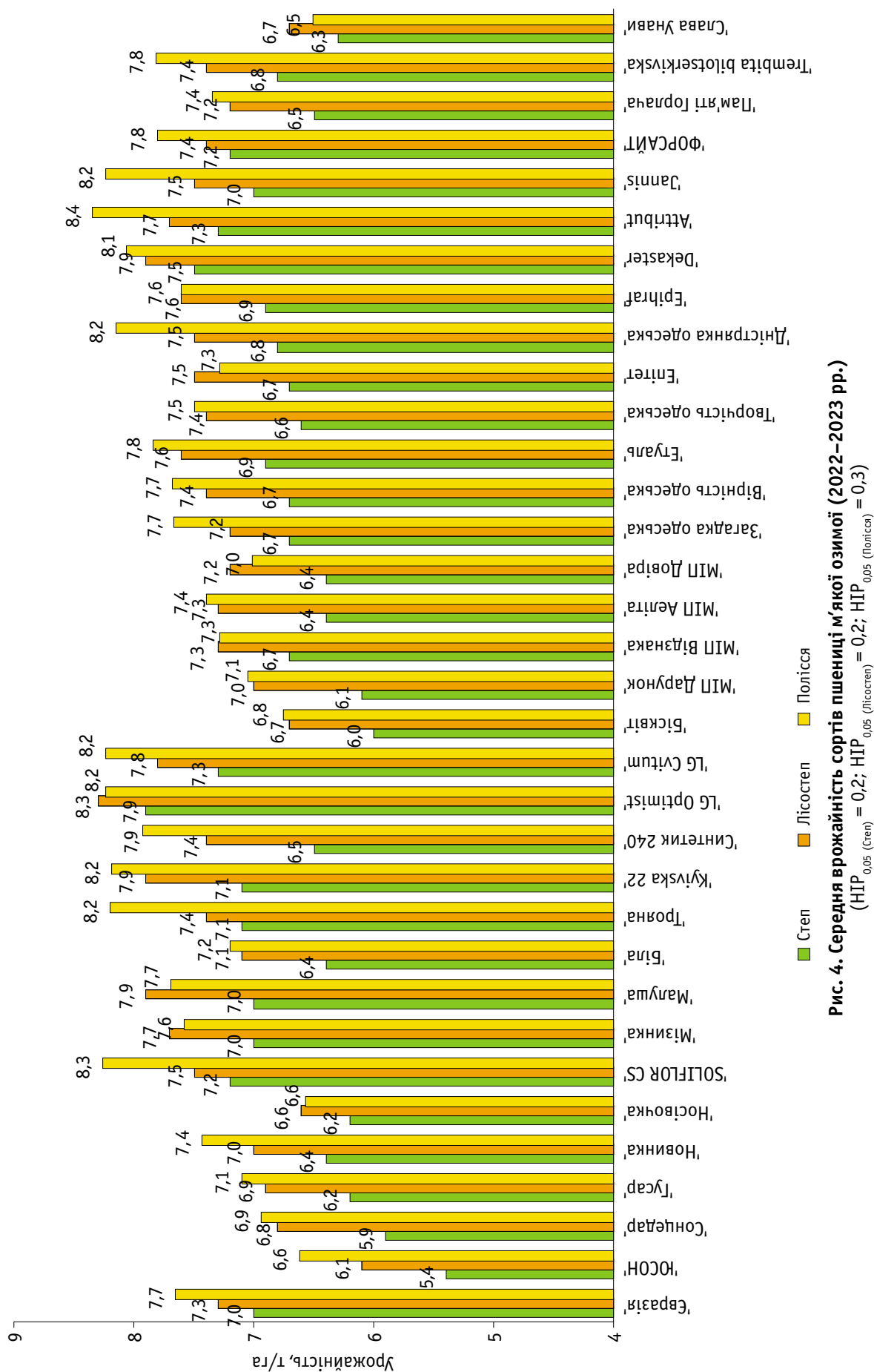


Рис. 4. Середня врожайність сортів пшениці м'якої озимої (2022–2023 рр.)
($НІР_{0,05 (степ)} = 0,2$; $НІР_{0,05 (лісостеп)} = 0,2$; $НІР_{0,05 (полісся)} = 0,3$)

становив 0,4–0,6 (дуже сильна та середня посуха). У період сівби – закінчення осінньої вегетації значення цього коефіцієнта були 0,9–1,3 (слабка посуха та достатньо волого) впродовж серпня – вересня 2022 р. та 0,3–0,1 (дуже сильна посуха) у 2023 р. Оподи другої декади жовтня дещо збільшили запаси продуктивної вологи, через що ГТК цього місяця підвищився до 1,0–1,1 (достатньо волого).

Погодно-кліматичні умови 2022–2023 рр. у Степу, Лісостепу та на Поліссі навіть попри значну строкатість і відхилення в окремі проміжки часу від середніх багаторічних значень загалом сприяли росту та розвитку пшениці озимої. Мова йде передусім про зимовий і весняно-літній періоди, яким властиві помірний температурний режим і достатня кількість опадів. Утім в окремі проміжки вегетації нерівномірний розподіл кліматичних факторів може створювати несприятливі умови для росту та розвитку рослин, що в кінцевому підсумку позначається на величині врожаю.

Урожайність сортів залежно від ґрунто-кліматичної зони та пункту досліджень становила 5,4–8,4 т/га (рис. 4) та збільшувалася від Степу (6,7 т/га) до Лісостепу (7,3 т/га) й була найвищою на Поліссі (7,6 т/га). Нові сорти, як порівняти з тими, що пройшли державну реєстрацію за попередні п'ять років, мали на 21–28% вищу врожайність.

Найбільші середні врожаї в зонах Степу та Лісостепу сформував сорт 'LG Optimist' французької селекції (7,9–8,3 т/га); Полісся – 'Attribut' німецької селекції (8,4 т/га).

Найнижчою врожайністю (5,4–6,1 та 6,5 т/га) відзначилися сорти української селекції. А саме: 'ЮСОН' у Степу та Лісостепу та 'Слава Унави' на Поліссі.

Отже, незалежно від ґрунто-кліматичної зони серед нових сортів пшениці м'якої озимої найвищі середні врожаї забезпечив 'LG Optimist' (8,1 т/га), найнижчі – 'ЮСОН' (6,0 т/га).

У період вегетації 2022–2023 рр. завдяки контрастним гідротермічним показникам вдалося оцінити врожайність, а також, як реагують сорти на їх зміну. Про це свідчать параметри середовища (рис. 5), у якому досліджували нові сорти. Щоб його схарактеризувати, розраховували індекс умовного середовища (I_j), найвищі та найнижчі значення індексів якого не були однаковими під час формування врожаю пшениці м'якої озимої в межах одного року в різних ґрунто-кліматичних зонах. Це вказує на відмінності між метеорологічними умовами цих зон і різну взаємодію в системі «генотип – середовище».

У Степу та на Поліссі індекси суттєво не відрізнялися, з чого можна зробити висновок щодо схожості характеру погоди в роки досліджень. У Лісостепу ці значення були на максимальному й мінімальному рівнях, що говорить про значну варіацію екологічних умов.

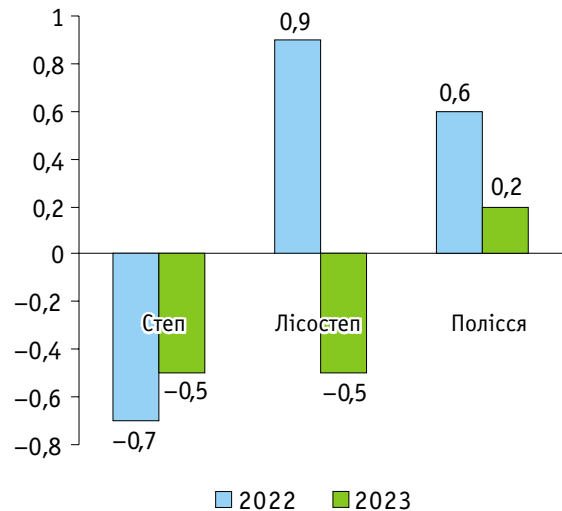


Рис. 5. Індекси умовного середовища в різних ґрунто-кліматичних зонах України (2022–2023 рр.)

Найсприятливіші умови для дослідження росту та розвитку генотипів у 2022 р. були в зонах Лісостепу ($I_j = 0,9$) та Полісся ($I_j = 0,6$), у 2023-му – Полісся ($I_j = 0,2$); найгірші у 2022 р. – в Степу ($I_j = -0,7$), у 2023-му – в Степу ($I_j = -0,7$) та Лісостепу ($I_j = -0,5$).

Для встановлення екологічної стабільності досліджуваних генотипів обчислювали розрахункову врожайність (\hat{Y}_{ij}), яка не відрізнялася від фактичної, змінювалася від 6,0 до 8,1 т/га і в середньому становила 7,1 т/га. Отже, досліджувані нові сорти пшениці м'якої озимої реалізують свій генетичний потенціал і формують врожаї навіть за суттєвих змін умов середовища та вирощування в різних ґрунто-кліматичних зонах (табл. 1).

Коефіцієнт варіації (V) є ознакою надійності середньої. Якщо $V < 10\%$, то навколо середнього значення мале розсіювання варіант; $10\% < V < 20\%$ – середнє; $V > 20\%$ – сильне розсіювання варіант навколо середнього, яке в такому разі не є типовим значенням варіаційного ряду. Так, коефіцієнт варіації (V) за показником урожайності становив 5,4–12,6 (усереднене – 9,5). До сортів з низькою варіабельністю ($V = 5,4–6,3\%$) ознаки в мінливих умовах навколишнього середовища належать 'LG Optimist', 'ФОРСАЙТ', 'Dekaster' та 'Євразія'.

Рівень гомеостатичності (Hom) – це генотипова здатність сорту протидіяти зниженню продуктивності в умовах дії лімітуючих фак-

Таблиця 1

Середня врожайність, екологічна пластичність і стабільність сортів пшениці озимої (2022–2023 рр.)

Сорти	Походження	Урожайність, т/га				V, %	HIP _{0,05}	Hom	Sc	b _i	S ² _{df}
		min	max	\bar{x}	\hat{y}_{ij}						
'Євразія'	UA	6,8	7,8	7,3	7,3	6,3	0,5	15,6	6,3	0,7	0,03
'ЮСОН'	UA	5,2	6,9	6,0	6,0	12,6	0,9	4,7	4,5	1,2	0,06
'Сонцедар'	UA	5,6	7,7	6,5	6,5	12,2	0,9	3,8	4,6	1,3	0,06
'Гусар'	UA	5,9	7,9	6,7	6,7	11,5	0,9	4,3	5,0	1,2	0,11
'Новинка'	UA	6,1	7,9	6,9	6,9	11,3	0,9	5,0	5,3	1,2	0,08
'Носівочка'	UA	5,7	7,6	6,5	6,5	10,0	0,8	5,4	4,9	0,8	0,23
'SOLIFLOR CS'	FR	6,9	8,4	7,6	7,6	8,4	0,8	8,1	6,3	0,9	0,10
'Мізінка'	UA	6,6	8,3	7,4	7,4	8,1	0,7	7,2	5,9	0,9	0,05
'Малуша'	UA	6,7	9,1	7,5	7,5	12,1	1,1	3,5	5,5	1,4	0,09
'Біла'	UA	6,1	8,0	6,8	6,8	10,8	0,9	4,9	5,2	1,2	0,06
'Трояна'	UA	6,8	8,4	7,5	7,5	7,5	0,7	8,2	6,1	0,7	0,24
'Kyivska 22'	UA	6,8	8,6	7,7	7,7	9,4	0,9	5,8	6,1	1,1	0,12
'Синтетик 240'	UA	6,3	8,4	7,2	7,2	12,4	1,1	3,9	5,4	1,4	0,13
'LG Optimist'	FR	7,5	8,8	8,1	8,1	6,3	0,6	12,1	6,9	0,8	0,06
'LG Cvitum'	FR	6,9	8,6	7,7	7,7	9,2	0,8	6,2	6,1	1,1	0,11
'Бісквіт'	UA	5,8	7,5	6,4	6,4	10,2	0,8	5,8	5,0	1,0	0,07
'МІП Дарунок'	UA	6,0	8,1	6,7	6,7	11,8	0,9	4,0	4,9	1,2	0,05
'МІП Відзнака'	UA	6,3	8,3	7,0	7,0	10,4	0,9	5,0	5,4	1,1	0,11
'МІП Аеліта'	UA	6,1	8,3	7,0	7,0	11,7	1,0	3,9	5,1	1,3	0,02
'МІП Довіра'	UA	6,4	7,9	6,9	6,9	8,4	0,7	7,9	5,6	0,9	0,02
'Загадка одеська'	UA	6,3	8,2	7,1	7,1	10,8	0,9	4,8	5,4	1,2	0,12
'Вірність одеська'	UA	6,5	8,2	7,2	7,2	10,2	0,9	5,8	5,7	1,2	0,06
'Етуаль'	UA	6,3	8,1	7,4	7,4	8,2	0,7	6,6	5,7	0,9	0,18
'Творчість одеська'	UA	6,3	8,1	7,1	7,1	9,1	0,8	6,1	5,5	1,0	0,06
'Епітет'	UA	6,1	8,2	7,1	7,1	9,0	0,8	5,4	5,3	0,9	0,12
'Дністрянка одеська'	UA	6,5	8,6	7,4	7,4	12,0	1,0	4,0	5,6	1,4	0,08
'Epihra'	UA	6,5	8,3	7,3	7,3	8,2	0,7	6,9	5,8	0,9	0,05
'Dekaster'	DE	7,0	8,2	7,7	7,7	5,4	0,5	15,2	6,6	0,6	0,04
'Attribut'	DE	6,7	8,5	7,7	7,7	8,0	0,7	7,0	6,1	0,9	0,20
'Jannis'	DE	6,3	8,5	7,5	7,5	8,9	0,8	5,1	5,6	0,6	0,40
'ФОРСАЙТ'	UA	6,6	7,9	7,4	7,4	5,6	0,5	13,9	6,2	0,2	0,24
'Пам'яті Горлача'	UA	6,3	8,0	7,0	7,0	9,3	0,8	6,3	5,5	1,0	0,03
'Trembita bilotserkivska'	UA	6,5	8,0	7,3	7,3	8,7	0,7	7,5	5,9	1,0	0,08
'Слава Унави'	UA	5,9	7,4	6,4	6,4	8,0	0,6	8,2	5,1	0,7	0,14
	min	5,2	6,9	6,0	6,0	–	–	3,5	4,5	0,2	0,02
	max	7,5	9,1	8,1	8,1	–	–	15,6	6,9	1,4	0,40
	\bar{x}	6,4	8,1	7,1	7,1	–	–	6,7	5,6	1,0	0,11
	V, %	7,1	5,1	6,4	6,4	–	–	46,0	9,6	25,3	74,1
	HIP _{0,05}	0,2	0,2	0,2	0,2	–	–	1,5	0,3	0,1	0,04

торів. Його високі показники властиві сортам зі стабільними врожайностями [28]. Здатність генотипів підтримувати низький рівень варіабельності ознаки (V , %) за роками та пунктами досліджень є критерієм гомеостатичності [29, 30], а її значення для нових сортів пшениці м'якої озимої за результатами досліджень врожайності були в межах 3,5–15,6. Тісний обернений кореляційний зв'язок ($r = -0,9$) гомеостатичності з коефіцієнтом варіації відображає стабільність ознаки в мінливих умовах навколишнього середовища. Високою гомеостатичністю та низьким рівнем варіації ($V \leq 10,0\%$) відрізнялися сорти 'Євразія' ($Hom = 15,6$), 'Dekaster' ($Hom = 15,2$), 'ФОРСАЙТ' ($Hom = 13,9$) та 'LG Optimist' ($Hom = 12,1$).

Найнижчими показниками гомеостатичності характеризувалися 'Малуша' ($Hom = 3,5$), 'Сонцедар' ($Hom = 3,8$), 'Синтетик 240' та 'МІП Аеліта' ($Hom = 3,9$), 'МІП Дарунок' та 'Дні-

стрянка одеська' ($Hom = 4,0$), 'Гусар' ($Hom = 4,3$), 'ЮСОН' ($Hom = 4,7$), 'Загадка одеська' ($Hom = 4,8$), 'Біла' ($Hom = 4,9$), 'Новинка' та 'МІП Відзнака' ($Hom = 5,0$), 'Носівочка' ($Hom = 5,4$), 'Бісквіт' та 'Вірність одеська' ($Hom = 5,8$) із середнім коефіцієнтом варіації ($10\% < V < 20\%$).

Урожайність є головним показником, що характеризує господарську та селекційну цінність сорту, визначає його пластичність і рівень стійкості проти стресових факторів [31]. Найвищі показники селекційної цінності (Sc), що полягає у формуванні стабільно високої або середньої врожайності в мінливих умовах [29], мали сорти французької та німецької селекції. Зокрема, 'LG Optimist' ($Sc = 6,9$) та 'Dekaster' ($Sc = 6,6$) з низьким коефіцієнтом варіації ($V \leq 10,0\%$) та високою гомеостатичністю ($Hom > 10$). Тісний кореляційний зв'язок ($r = 0,7$) гомеостатичності із селекційною цінністю відо-

бражає значущість і стабільність досліджуваного матеріалу в мінливих умовах вирощування.

Коефіцієнт лінійної регресії врожайності сортів (b_i), або пластичність, характеризує реакцію генотипу на зміну умов вирощування. Чим вище його значення, тим чутливішим є сорт [32], який у такому разі потребує високого рівня агротехніки, щоб бути спроможним на максимальну віддачу. Сорти, які слабше реагують на зміну умов вирощування, порівнюючи з середніми показниками всього набору досліджуваних генотипів, та мають коефіцієнт лінійної регресії $b_i < 1$, краще вирощувати на екстенсивному фоні, де вони продемонструють максимум віддачі за мінімальних затрат. Якщо $b_i = 1$, генотипу властива повна залежність урожайності від зміни умов вирощування [33]; за близького до нуля значення b_i генотип на такі зміни не реагує [34].

Щодо отриманих даних екологічної стабільності (S^2_{di}), то чим вище значення цього показника, тим нестабільнішим є сорт [33].

За результатами обчислення встановлено, що генотип сорту 'ФОРСАЙТ' ($b_i = 0,2$; $S^2_{di} = 0,24$) з урожайністю в середньому 7,4 т/га є високопластичним, оскільки має менший за одиницю коефіцієнт регресії ($b_i < 1$). Саме тому його доцільно вирощувати на екстенсивних фонах і в несприятливих умовах, де за мінімальних витрат він зможе забезпечити максимальний урожай.

Сорти з сукупним проявом високої екологічної пластичності ($b_i = 1$) та стабільності ($S^2_{di} = 0$ або близька до нуля) за врожайністю зерна є найбільш практично цінними. Серед них такі нові сорти пшениці м'якої озимої: 'Євразія' ($b_i = 0,7$; $S^2_{di} = 0,03$), 'Носівочка' ($b_i = 0,8$; $S^2_{di} = 0,23$), 'SOLIFLOR CS' ($b_i = 0,9$; $S^2_{di} = 0,10$), 'Мізінка' ($b_i = 0,9$; $S^2_{di} = 0,05$), 'Трояна' ($b_i = 0,7$; $S^2_{di} = 0,24$), 'LG Optimist' ($b_i = 0,8$; $S^2_{di} = 0,06$), 'Бісквіт' ($b_i = 1,0$; $S^2_{di} = 0,07$), 'МПП Довіра' ($b_i = 0,9$; $S^2_{di} = 0,02$), 'Етуаль' ($b_i = 0,9$; $S^2_{di} = 0,18$), 'Творчість одеська' ($b_i = 1,0$; $S^2_{di} = 0,06$), 'Епітер' ($b_i = 0,9$; $S^2_{di} = 0,12$), 'Епіграф' ($b_i = 0,9$; $S^2_{di} = 0,05$), 'Dekaster' ($b_i = 0,6$; $S^2_{di} = 0,04$), 'Attribut' ($b_i = 0,9$; $S^2_{di} = 0,20$), 'Jannis' ($b_i = 0,6$; $S^2_{di} = 0,4$), 'Пам'яті Горлача' ($b_i = 1,0$; $S^2_{di} = 0,03$), 'Trembita bilotserkivska' ($b_i = 1,0$; $S^2_{di} = 0,08$), 'Слава Унави' ($b_i = 0,7$; $S^2_{di} = 0,14$). Вони формують урожайність з усередненим значенням 7,2 т/га та за генотипом добре реагують на поліпшення умов вирощування.

Решта сортів ['ЮСОН' ($b_i = 1,2$; $S^2_{di} = 0,06$), 'Сонцедар' ($b_i = 1,3$; $S^2_{di} = 0,06$), 'Гусар' ($b_i = 1,2$; $S^2_{di} = 0,11$), 'Новинка' ($b_i = 1,2$; $S^2_{di} = 0,08$), 'Ма-

луша' ($b_i = 1,4$; $S^2_{di} = 0,09$), 'Біла' ($b_i = 1,2$; $S^2_{di} = 0,06$), 'Kyivska 22' ($b_i = 1,1$; $S^2_{di} = 0,12$), 'Синтетик 240' ($b_i = 1,4$; $S^2_{di} = 0,13$), 'LG Cvitum' ($b_i = 1,1$; $S^2_{di} = 0,11$), 'МПП Дарунок' ($b_i = 1,2$; $S^2_{di} = 0,05$), 'МПП Відзнака' ($b_i = 1,1$; $S^2_{di} = 0,11$), 'МПП Аеліта' ($b_i = 1,3$; $S^2_{di} = 0,02$), 'Загадка одеська' ($b_i = 1,2$; $S^2_{di} = 0,12$), 'Вірність одеська' ($b_i = 1,2$; $S^2_{di} = 0,06$), 'Дністрянка одеська' ($b_i = 1,4$; $S^2_{di} = 0,08$)], у яких $b_i > 1$ та $S^2_{di} = 0$ або близький до нуля, за сприятливих умов вирощування можуть формувати стабільну врожайність зерна із середнім значенням 7,0 т/га.

Висновки

Отже, нові сорти пшениці м'якої озимої реалізують свій генетичний потенціал і формують врожаї навіть за суттєвих змін умов середовища та вирощування в різних ґрунтово-кліматичних зонах.

Незалежно від ґрунтово-кліматичної зони найвищу середню врожайність забезпечив 'LG Optimist' (8,1 т/га), найнижчу – 'ЮСОН' (6,0 т/га).

Високу гомеостатичність і низький рівень варіації ($V \leq 10,0\%$) виявлено в сортів 'Євразія' ($Hom = 15,6$), 'Dekaster' ($Hom = 15,2$), 'ФОРСАЙТ' ($Hom = 13,9$) та 'LG Optimist' ($Hom = 12,1$). Крім того, 'LG Optimist' ($Sc = 6,9$) і 'Dekaster' ($Sc = 6,6$) мали найвищий показник селекційної цінності.

Сорт української селекції 'ФОРСАЙТ' ($b_i = 0,2$; $S^2_{di} = 0,24$), урожайність якого в середньому становила 7,4 т/га, є високопластичним, тому його доцільно вирощувати на екстенсивних фонах і в несприятливих умовах, де за мінімальних витрат він може сформувати максимальний урожай.

Сорти 'Євразія', 'Носівочка', 'SOLIFLOR CS', 'Мізінка', 'Трояна', 'LG Optimist', 'Бісквіт', 'МПП Довіра', 'Етуаль', 'Творчість одеська', 'Attribut', 'Епіграф', 'Dekaster', 'Епітер', 'Jannis', 'Пам'яті Горлача', 'Trembita bilotserkivska' та 'Слава Унави' із сукупним проявом високої екологічної пластичності ($b_i = 1$) та стабільності ($S^2_{di} = 0$) й середньою врожайністю зерна 7,2 т/га за генотипом добре реагують на поліпшення умов вирощування і є найбільш практично цінними.

References

- Zapisotska, M., Voloshchuk, O., Voloshchuk, I., & Hlyva, V. (2021). Weather Factors and Their Influence on the Adaptive Properties of Winter Wheat Varieties in the Western Forest-Steppe of Ukraine. *Scientific Horizons*, 24(6), 34–40. doi: 10.48077/sci-hor.24(6).2021.34-40
- Hotea, I., Dragomirescu, M., Colibar, O., Tirziu, E., Herman, V., Berbecea, A., & Radulov, I. (2021). The influence of climate conditions and meteorological factors on the nutritional value of wheat (*Triticum aestivum* L.) used for human and animals nutrition, in Romania. *IOP Conference Series: Earth and Environmen-*

- tal Science, 906(1), Article 012019. doi: 10.1088/1755-1315/906/1/012019
3. Kulyk, M. I., Onoprienko, O. V., Syplyva, N. O., & Bozhok, Yu. O. (2020). Yield of soft (winter) wheat varieties depending on the fertilization system. *Taurian Scientific Herald*, 114, 55–62. doi: 10.32851/2226-0099.2020.114.8 [In Ukrainian]
 4. Gaj, R., Górski, D., & Przybył, J. (2013). Effect of differentiated phosphorus and potassium fertilization on winter wheat yield and quality. *Journal of Elementology*, 18(1), 55–67. doi: 10.5601/jelem.2013.18.1.04
 5. Rajčić, V., Milivojević, J., Popović, V., Branković, S., Đurić, N., Perišić, V., & Terzić, D. (2019). Winter wheat yield and quality depending on the level of nitrogen, phosphorus and potassium fertilization. *Agriculture and Forestry*, 65(2), 79–88. doi: 10.17707/AgricFores.65.2.06
 6. Polovyi, V. M., Lukashchuk, L. Ya., & Huk, L. I. (2018). Efficiency of intensification of technique of growing winter wheat in Western Forest-steppe. *Bulletin of Agricultural Science*, 11, 35–40. doi: 10.31073/agrovysnyk201811-05 [In Ukrainian]
 7. Pirykh, A. V., Yurchenko, T. V., Hudzenko, V. M., Demydov, O. A., Kovalyshyna, H. M., Humeniuk, O. V., & Kyrylenko, V. V. (2021). Features of modern winter wheat varieties in terms of winter hardiness components under conditions of Ukrainian Forest-Steppe. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*, 12(1), 153–159. doi: 10.15421/022123
 8. Kochmarskij, V. S., Kolomic, L. A., Dergachev, A. L., & Basanec, A. S. (2012). Winter hardiness is a factor in the adaptability of winter wheat in the Forest-Steppe conditions of Ukraine. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*, 16(4/2), 998–1004. [In Russian]
 9. Yi, W., Zhongkui, Zh., Yuanyuan, L., Yulong, H., Yanlai, H., & Jinfang, T. (2020). High Potassium Application Rate Increased Grain Yield of Shading-Stressed Winter Wheat by Improving Photosynthesis and Photosynthate Translocation. *Frontiers in Plant Science*, 11, Article 134. doi: 10.3389/fpls.2020.00134
 10. Miroslavljević, M., Momčilović, V., Pržulj, N., Maksimović, L., & Putnik-Delić, M. (2018). Dry matter accumulation of winter wheat and barley at different sowing dates. *Ratarstvo i Povrtarstvo*, 55(2), 87–94. doi: 10.5937/ratpov55-16706
 11. Skripka, O. V., Podgorny, S. V., Samofalov, A. P., Chernova, V. L., & Gromova, S. N. (2021). Vegetation period effect on winter bread wheat varieties productivity. *IOP Conference Series: Earth and Environmental*, 843(1), Article 012012. doi: 10.1088/1755-1315/843/1/012012
 12. Weih, M., Pourazari, F., & Vico, G. (2016). Nutrient stoichiometry in winter wheat: Element concentration pattern reflects developmental stage and weather. *Scientific Reports*, 6, Article 35958. doi: 10.1038/srep35958
 13. Kuzmenko, Ye. A., Fedorenko, M. V., Pirykh, A. V., & Blyzniuk, R. M. (2022). Ecological plasticity and stability of promising lines of soft spring wheat (*Triticum aestivum* L.) in terms of yield. *Plant Varieties Studying and Protection*, 18(4), 242–250. doi: 10.21498/2518-1017.18.4.2022.273985 [In Ukrainian]
 14. Havryliuk, M. M., & Kalenych, P. Ye. (2017). The dynamics of changes in correlation bonds in new varieties of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) under the influence of environmental factors in the conditions of the Southern Forest Steppe of Ukraine. *Plant Varieties Studying and Protection*, 13(1), 224–229. doi: 10.21498/2518-1017.13.3.2017.1107002 [In Ukrainian]
 15. Oliinyk, K. M., Davydiuk, H. V., & Shcherbakova, Yu. V. (2023). Formation of winter wheat productivity using adaptive growing technologies. *Agriculture and Plant Sciences: Theory and Practice*, 1, 38–46. doi: 10.54651/agri.2023.01.05 [in Ukrainian]
 16. Manukyan, I. R., & Miroshnikova, E. S. (2020). Comprehensive assessment of the breeding material of winter wheat for resistance to moisture deficiency and productivity. *IOP Conference Series: Earth and Environmental*, 547(1), Article 012022. doi: 10.1088/1755-1315/547/1/012022
 17. Ulych, L. I., Ulych, O. L., Karazhbei, H. M., Hryniv, S. M., & Tereshchenko, Yu. F. (2014). Ecological plasticity of new varieties of winter wheat under different soil and climatic conditions. *Collection of Scientific Papers of Uman National University of Horticulture*, 85(1), 73–78. [In Ukrainian]
 18. Tkachyk, S. O. (Ed.). (2016). *Methodology for examination of plant varieties of the cereal, grain and leguminous group for suitability for distribution in Ukraine*. Vinnytsia: Korzun D. Yu. [In Ukrainian]
 19. Tkachyk, S. O. (Ed.). (2016). *Methodology for the qualification examination of plant varieties for suitability for distribution in Ukraine. General part* (4th ed., rev.). Vinnytsia: Korzun D. Yu. [In Ukrainian]
 20. Ukrainian hydrometeorological center. (2022). *Weather information portal*. Retrieved from <https://www.meteo.gov.ua/> [In Ukrainian]
 21. Tkachyk, S. O. (Ed.). (2017). *Methods of conducting qualification examination of plant varieties for suitability for distribution in Ukraine. Methods of determining plant production quality indicators* (3rd ed., rev.). Vinnytsia: Korzun D. Yu. [In Ukrainian]
 22. Eberhart, S. A., & Russell, W. A. (1966). Stability Parameters for comparing varieties. *Crop Science*, 6(1), 36–40. doi: 10.2135/cropsci1966.0011183x000600010011x
 23. Hangil'din, V. V., & Litvinenko, N. A. (1981). Homeostaticity and adaptability of winter wheat varieties. *Scientific and technical bulletin of the All-Union Breeding and Genetic Institute*, 39, 8–14. [In Russian]
 24. Dospekhov, B. A. (1985). *Methods of field experiment (with the basics of statistical processing of research results)* (5th ed., rev. and enl.). Moscow: Agropromizdat. [In Russian]
 25. Ramazani, S. H. R., & Zabet, M. (2022). Triticale (\times *Triticosecale* Wittmack): Role and Responses Under Abiotic Stress. In A. A. H. Abdel Latef (Ed.), *Sustainable Remedies for Abiotic Stress in Cereals* (pp. 209–228). Singapore: Springer. doi: 10.1007/978-981-19-5121-3_9
 26. Yu, Q., Li, L., Luo, Q., Eamus, D., Xu, S., Chen, C., Wang, E., ... Nielsen, D. C. (2014). Year patterns of climate impact on wheat yields. *International Journal of Climatology*, 34(2), 518–528. doi: 10.1002/joc.3704
 27. Suhanberdina, L. H., Dzhaparov, R. Sh., Denizbaev, S. E., & Turbaev, A. F. (2022). Formation of grain quality of winter triticale in the dry steppe zone of Kazakhstan. *Gylym Žane Bilim*, 2(1), 48–56. [In Russian]
 28. Demydov, O. A., Khomenko, S. O., Chuhunkova, T. V., & Fedorenko, I. V. (2019). Productivity and homeostaticity of collection samples of spring wheat. *Bulletin of Agricultural Science*, 9, 47–51. doi: 10.31073/agrovysnyk201909-07 [In Ukrainian]
 29. Yarosh, A. V., & Riabchun, V. K. (2021). Adaptability of winter soft wheat in terms of homeostaticity and breeding value. *Plant Genetic Resource*, 28, 36–47. doi: 10.36814/pgr.2021.28.03 [In Ukrainian]
 30. Burdeniuk-Tarasevych, L. A., Dubova, O. A., & Khakhula, V. S. (2012). Assessment of the adaptive capacity of soft winter wheat varieties in the conditions of the forest-steppe of Ukraine. *Plant Breeding and Seed Production*, 101, 3–12. [In Ukrainian]
 31. Kochmarskyi, V. S., Zamlila, N. P., Volohdina, H. B., Turenko, T. D., & Humeniuk, O. V. (2012). Breeding value of lines and varieties of soft winter wheat in the conditions of the Forest Steppe of Ukraine. *Scientific and technical bulletin of the V.M. Remeslo Myronivka Wheat Institute of the NAAS*, 11–12, 110–122. [In Ukrainian]
 32. Shcherbyna, O. Z., Tkachyk, S. O., Tymoshenko, O. O., & Shostak, N. O. (2020). Assessment of various soybean varieties [*Glycine max* (L.) Merrill.] on the stability of manifestation of economically valuable traits. *Plant Varieties Studying and Protection*, 16(1), 90–96. doi: 10.21498/2518-1017.16.1.2020.201331 [In Ukrainian]
 33. Chuiko, D. V., & Kryvoruchenko, R. V. (2023). Environmental plasticity and stability of confectionery sunflower varieties in

the conditions of the Eastern Forest Steppe of Ukraine. *Scientific Progress & Innovations*, 26(3), 26–30. doi: 10.31210/spi2023.26.03.05 [In Ukrainian]

34. Marukhniak, A. Ya., Datsko, A. O., & Marukhniak, H. I. (2010). Adaptability and stability of oat varieties according to grain quality indicators. *Plant Breeding and Seed Production*, 98, 106–115. [In Ukrainian]

UDC 633.11:631.5

Kyrylchuk, A. M.*, **Dutova, H. A.**, **Hryniv, S. M.**, **Orlenko, O. B.**, **Bezprozvana, I. V.**, **Kulyk, T. Ye.**, & **Makarchuk B. M.** (2024). Yield plasticity of new varieties of soft winter wheat (*Triticum aestivum* L.) in different soil and climatic conditions of Ukraine. *Plant Varieties Studying and Protection*, 20(1), 58–68. <https://doi.org/10.21498/2518-1017.20.1.2024.297224>

*Ukrainian Institute for Plant Variety Examination, 15 Horihuvatskyi Shliach St., Kyiv, 03041, Ukraine, *e-mail: angela.kyrylchuk@gmail.com*

Purpose. To determine the level of productivity of new varieties of soft winter wheat, their stability and plasticity when grown in different soil and climatic conditions of Ukraine. **Methods.** The field trial was carried out in 2022–2023 under the conditions of the research stations of the Ukrainian Institute for Plant Variety Examination (UIPVE) in the Steppe, Forest Steppe and Polissia soil-climatic zones. The peculiarities of plant growth and development, the yield formation of 34 new varieties of soft winter wheat were studied. Plasticity and stability of yield formation were calculated and analyzed according to the Ebergard – Russell method, general homeostaticity and selection value according to Khangildin V.V. and Lytvynenko N.A. In the course of the research, computational and statistical methods were used. Analysis and synthesis were used to draw conclusions. **Results.** The yield varied from 5.4 to 8.4 t/ha, depending on the soil and climate zone and the location of the trial. The variety ‘LG Optimist’ had the highest average yield (8.1 t/ha) and ‘YUSON’ the lowest (6.0 t/ha). The most favorable conditions for the study of growth and development of genotypes in 2022 were in the Forest-Steppe ($I_j = 0.9$) and Polissia ($I_j = 0.6$) zones, in 2023 – Polissia ($I_j = 0.2$); the worst in 2022 – in the Steppe ($I_j = -0.7$), in 2023 – in the Steppe ($I_j = -0.7$) and Forest-Steppe ($I_j = -0.5$) zones. In 2023, the best climatic conditions were in the Polissia zone ($I_j = 0.2$), the worst were in the points located in the Steppe ($I_j = -0.7$) and Forest

Steppe ($I_j = -0.5$) zones. The theoretical yield values of the varieties at the research points did not differ from the actual values and averaged 7.1 t/ha, ranging from 6.0 to 8.1 t/ha. High homeostaticity and low level of variation ($V \leq 10.0\%$) were found in the varieties ‘Yevraziia’ ($Hom = 15.6$), ‘Dekaster’ ($Hom = 15.2$), ‘FORSAIT’ ($Hom = 13.9$) and ‘LG Optimist’ ($Hom = 12.1$). In addition, ‘LG Optimist’ ($Sc = 6.9$) and ‘Dekaster’ ($Sc = 6.6$) had the highest breeding value. The variety ‘FORSAIT’ ($b_i = 0.2$; $S_{di}^2 = 0.24$), with an average yield of 7.4 t/ha, has a high plasticity, so it is recommended to grow it on extensive backgrounds and in unfavorable conditions. Varieties ‘Yevraziia’, ‘Nosivochka’, ‘SOLIFLOR CS’, ‘Mizynka’, ‘Troiana’, ‘LG Optimist’, ‘Biskvit’, ‘MIP Dovira’, ‘Etual’, ‘Tvorchist Odeska’, ‘Attribut’, ‘Epihrať’, ‘Dekaster’, ‘Epitet’, ‘Jannis’, ‘Pamiati Horlacha’, ‘Trembita Bilotserkivska’ and ‘Slava Unavy’ with a combined manifestation of high ecological plasticity $b_i = 1$ and stability $S_{di}^2 = 0$ in average grain yield 7.2 t/ha, according to the genotype respond well to the improvement of growing conditions and are stable, are considered the most practically valuable. **Conclusions.** New varieties of soft winter wheat, when grown in different soil and climatic conditions, fully develop their genetic potential under significant changes in environmental conditions and produce the highest yield that can be obtained under ideal conditions.

Keywords: *adaptability; genotype; homeostaticity; grains; potential; productivity; stability; environmental conditions.*

Надійшла / Received 15.12.2023

Погоджено до друку / Accepted 24.01.2024

Василь Мединець (1924–2014) – життя, присвячене сортознавству



У вересні 2023 р. в Україні відзначили 100-річчя від дня заснування державного сортовищепробування. Поряд з цією знаменною датою – й інша пам'ятна річниця, але вже 2024 р. – 100-ліття ветерана вітчизняного сортознавства, доктора сільськогосподарських наук, почесного професора Полтавського державного аграрного університету, багаторічного члена Державної комісії із сортовищепробування Василя Дмитровича Мединця (02.01.1924–02.04.2014). Він народився в селі Долинське Дніпропетровської області. Сім'я майбутнього вченого славилася міцним козацьким родоводом і високими національними ідеалами. Василь Дмитрович змолоду захоплювався дослідженнями рослин, що привело його до Дніпропетровського сільськогосподарського інституту (нині Дніпровський аграрно-економічний університет), де він здобув фах агронома-рільника (1946 р.).

Трудовий шлях В. Д. Мединця розпочався у 1947 р. на Харківщині. Там він узагальнив великий фактичний матеріал із визначення в умовах 11 сортоділень часу настання фаз розвитку головних польових сільськогосподарських культур. Цей показник, як довів вчений спільно з О. С. Ковалем, тісно пов'язаний із термічним фактором. Резуль-

тати вищевказаних досліджень викладено у першій монографії Василя Дмитровича, яка впродовж багатьох років була обов'язковою для використання на сортовищепробувальних ділянках України.

Згодом вчений переїхав на Полтавщину, де з 1960 до 1963 р. працював головним агрономом обласної інспектури Держкомісії з випробування та охорони сортів рослин; з 1964 до 1989 р. – начальником, а з 1991 до 2002 р. – директором Республіканської лабораторії сортової екології зимуючих культур, яка в цей час стала самостійною виробничою одиницею. За його ініціативи в Полтавській області замість 11 сортоділень, що діяли на виробничій базі колгоспів, почали працювати п'ять потужних сортовищепробувальних станцій (Карлівська, Машівська, Миргородська, Глобинська та Решетилівська) з бездоганним методичним випробуванням сортів і забезпеченням ними агропромислового комплексу області.

Початок наукової роботи В. Д. Мединця припадає на 50-ті рр. ХХ ст., коли він сформулював поняття про інтенсивні сорти пшениці м'якої та їхні ознаки, головною з яких є вихід зерна від урожаю сухої надземної маси. Також науковець зробив внесок у розвиток теорії про взаємодію органів рослин; запропонував низку практичних заходів для збільшення виходу зерна за максимальної врожайності біомаси, започаткувавши комплексний підхід до розв'язання біологічної проблеми використання вже нагромаджених пластичних речовин вегетативних органів для формування господарської продукції. В. Д. Мединець став співавтором методик державних випробувань сортів зернових культур за інтенсивної технології їх вирощування, оригінальних експрес-методів оцінювання зимостійкості та екологічної пластичності сортів зимуючих культур.

Екологічний ефект часу відновлення весняної вегетації зимуючих рослин (ЧВВВ) – головне наукове узагальнення Василя Дмитровича Мединця, ґрунтоване на даних сортовищепробування майже з усього колишнього СРСР та орієнтовно 1000 власних дослідів на пшениці озимій в умовах Полтавської області, експериментальному вивченні інших зернових, багаторічних овочевих і плодово-ягідних культур. На підставі цього узагальнення він захистив кандидатську (1963 р.) та докторську (1974 р.) дисертації.

Наукова сутність екологічного ефекту ЧВВВ полягає в біологічній реакції зимуючих рослин на відхилення параметрів фототермічних умов від середньобагаторічного рівня (норми). За ранньої вегетації складаються сприятливі умови для адаптації, регенерації та нагромадження біомаси, за пізньої – стресові й несприятливі для адаптації та утворення біомаси. Чим більше ЧВВВ відхиляється від норми, тим менше розвиток рослин залежить від змін погоди. Все це дає змогу прогнозувати врожайність зимуючих рослин, передусім – головних польових культур.

З огляду на висновки, що врожайними для пшениці озимої є роки з ранньою вегетацією, які майже не залежать від суворої зими, а також, що великі пересіви озимини в Полтавській області відбувалися лише в роки з пізньою весняною вегетацією й ніколи – з ранньою, В. М. Мединець запропонував важливі прикладні розробки. А саме: способи оцінювання зимостійкості сортів озимих культур і багаторічних трав, а також ранньовесняної діагностики перезимівлі посівів пшениці озимої; метод прогнозування врожайності останньої; стратегію підсіву та пересіву ушкоджених посівів залежно від ЧВВВ.

Завдяки низці досліджень із підживлення азотом пшениці озимої, а також застосування на її посівах ретардантів вченому вдалося виявити цікаві закономірності щодо раннього та пізнього ЧВВВ, розв'язати деякі питання стосовно зимостійкості рослин, їхнього вилягання та формування якості зерна. Його розробку з ощадної технології диференційованого догляду озимих культур і багаторічних трав у 1983 р. було офіційно впроваджено в нашій державі як складник інтенсивної технології виробництва пшениці озимої, що суттєво вплинуло на врожайність цієї культури.

Напрацювання В. Д. Мединця з ЧВВВ використовують в ентомології, дендрології, генетиці та селекції, їх позитивно оцінюють українські та іноземні науковці й виробники.

Інтелектуальне надбання, в якому Василь Дмитрович, продовжуючи дослідження академіка В. О. Поггенполя, поєднав напрацювання з агрометеорології, кліматології та фенології в єдине узагальнення теоретичного та прикладного аспектів, увійшло до українських та іноземних підручників з рослинництва, програмування врожайності та фізіології рослин, а також висувалося на здобуття Державної премії України в галузі науки і техніки.

Професори Полтавського державного аграрного університету М. М. Чекалін і В. М. Тищенко запропонували спосіб добору генотипів

пшениці м'якої за їхньою реакцією на ЧВВВ. Беручи активну участь у цій роботі, В. Д. Мединець передрік появу сортів з високою чутливістю до фотоперіоду та подовженим періодом яровизації як складниками зимостійкості (полтавські культивари 'Вільшана', 'Оржиця', 'Сагайдак', 'Царичанка').

З-під пера патріарха сортовипробування вийшло п'ять монографій і приблизно 200 публікацій. Його відзначено низкою урядових і відомчих нагород. Окрім цього, 1976 р. Василь Дмитрович заснував і очолив Дендрарій Держсортмережі та Полтавського відділення Українського ботанічного товариства в селі Огуївка Полтавського району. Там, на площі 19 га, він разом зі своїми однодумцями зібрав понад 350 видів, форм і сортів деревно-чагарникових рослин. «З часом це буде унікальне зібрання рослин, дуже потрібне для України», – говорив науковець про своє дітище та мріяв, що у майбутньому воно стане природним музеєм-сховищем селекційних сортів лісових декоративних культур, які проходять у ньому державну експертизу. В 1979 р. на базі дендрарію вперше в Україні організували випробування сортів тополь, верб і садового жасмину.

Якщо тривалий час вчені лише спостерігали за наслідками несподівано раннього або дуже пізнього пробудження різних видів дерев і кущів, то В. Д. Мединець з 1978 р. почав розробляти програму вивчення реакції колекціонованих ним декоративних рослин на ЧВВВ. Остання, як встановив науковець, суттєво впливала на зав'язування плодів. Результати проведених дослідів мали важливе значення для дендрології, а надто – лісівництва.

Життєві інтереси вченого полягали у вивченні всесвітньої історії, написанні віршів під літературним псевдонімом Василь із Полтави. Ще у 2014 р. наукова спільнота України ухвалила, на жаль, поки нереалізоване рішення про присвоєння його імені Дендрарію Держсортмережі.

56 років, присвячених сортовипробуванню рослин, комплексний підхід до наукової діяльності, ґрунтований на системних дослідженнях і глибокому аналізі, організаторські таланти, неперевершена аналітика величезного обсягу цифрового матеріалу, встановлений екологічний ефект ЧВВВ – все це зробило Василя Дмитровича Мединця знаковою для нашої держави постаттю, чий праці назавжди увійшли до інтелектуального фонду здобутків національної аграрної науки, уславивши українську систему сортознавства.

В. М. Самородов, О. В. Халимон

