

JOURNAL OF APPLIED RESEARCH Vol. 21, No 1 '2025

PLANT VARIETIES STUDYING

AND PROTECTION

PRINT ISSN 2518-1017
ONLINE ISSN 2518-7457

VARIETY STUDYING
AND VARIETY SCIENCE

PLANT PHYSIOLOGY
AND BIOCHEMISTRY

PLANT BREEDING
AND SEED PRODUCTION

GENETICS

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)

Ю. С. Данюк (відповідальний секретар)

М. З. Антонюк

Б. Барнабас (Угорщина)

Я. Бріндза (Словацька Республіка)

Р. А. Вожегова

В. Й. Войніч (Угорщина)

Н. Е. Волкова

О. В. Галаєв

Б. В. Дзюбецький

О. В. Дубровна

А. Лаздінш (Латвія)

В. М. Меженський

П. Монтеро Гарсія-Ноблехас (Іспанія)

В. В. Моргун

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
НАСІННЕЗНАВСТВА
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 № 6 від 24.04.2025)

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

Наукові редактори: Б. В. Сорочинський,
В. М. Гудзенко

Технічний редактор О. Ю. Половинчук
Літературний редактор А. І. Сидорчук
Комп'ютерне верстання А. І. Бойко

Підписано до друку 30.04.2025
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, 2025

© Селекційно-генетичний інститут –
Національний центр насіннезнавства
та сортівивчення, 2025

© Інститут фізіології рослин і генетики
НАН України, 2025

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)

Yu. Daniuk (Executive Secretary)

M. Antonyuk

B. Barnabas (Hungary)

J. Brindza (Slovak Republic)

R. Vozhehova

V. J. Vojnich (Hungary)

N. Volkova

O. Halaiev

B. Dziubetskyi

O. Dubrovna

A. Lazdiņš (Latvia)

V. Mezhenskyi

P. Montero García-Noblejas (Spain)

V. Morhun

R. Rosa (Poland)

L. Prysiazhniuk

O. Prysiazhniuk

O. Rybalka

V. Sokolov

B. Sorochynskyi

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. 6, 24.04.2025)

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 editors: B. V. Sorochynskyi,
V. M. Hudzenko
Technical editor O. Yu. Polovynchuk
Literary editor A. I. Sydorчук
Computer-aided
makeup A. I. Boyko

Signed to print 30.04.2025
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, 2025

© Plant Breeding & Genetics Institute –
National Center of Seeds and Cultivar
Investigation, 2025

© Institute of Plant Physiology and
Genetics, National Academy of Sciences
of Ukraine, 2025

ЗМІСТ

СОРТОВИВЧЕННЯ ТА СОРТОЗНАВСТВО

Орленко Н. С., Мажуга К. М., Орленко О. Б.,
Маслечкін В. В., Сидорчук А. І.

Аналіз динаміки подання заявок
до Державного реєстру сортів рослин, придатних
для поширення в Україні

4

ФІЗІОЛОГІЯ ТА БІОХІМІЯ РОСЛИН

Джуренко Н. І., Паламарчук О. П., Сокол О. В.,
Буйдін Ю. В., Машковська С. П., Дорошенко А. С.

Уміст полісахаридів у рослинах роду *Dahlia* Cav.,
інтродукованих у Національному ботанічному саду
імені М. М. Гришка

12

СЕЛЕКЦІЯ ТА НАСІННИЦТВО

Голуб Є. А., Сауляк Н. І., Васильєв О. А.,
Литвиненко М. А., Трасковецька В. А.,
Щербина З. В., Бушуляк М. А., Кірчук Є. І.

Характеристика вихідного матеріалу для селекції
пшениці озимої на групову стійкість проти збудників
листочкових хвороб

17

Гудзенко В. М., Лисенко А. А., Поліщук Т. П.,
Буняк Н. М., Кузьменко Є. А., Юрченко Т. В.,
Худолій Л. В., Коховська І. В.

Генетичні джерела врожайності та стабільності
для селекції ячменю озимого в Лісостепу України

25

Міщенко С. В., Кабанець В. М., Кириченко Г. І.,
Марченко Т. Ю., Лайко Г. М.

Комбінаційна здатність сортів і самозапиленних ліній
промислових конопель насіннево-олійного напрямку
використання в системі топкросів

39

Сіроштан А. А., Заїма О. А., Федоренко І. В.,
Федоренко М. В., Кавунець В. П., Коляденко С. С.

Особливості тривалості періоду післязбирального
дозрівання насіння пшениці м'якої (*Triticum aestivum* L.)
та твердої (*T. durum* Desf.) ярої

46

ГЕНЕТИКА

Присяжнюк Л. М., Стариченко Є. М.,
Таганцова М. М., Шитківа Ю. В., Гринів С. М.,
Стадніченко О. А.

Можливості застосування методу GAIA
для кваліфікаційної експертизи на ВОС в Україні

52

CONTENTS

VARIETY STUDYING AND VARIETY SCIENCE

Orlenko N. S., Mazhuha K. M., Orlenko O. B.,
Maslechkin V. V., Sydorochuk A. I.

Analysis of application dynamics to the State Register
of Plant Varieties Suitable for Distribution in Ukraine

PLANT PHYSIOLOGY AND BIOCHEMISTRY

Dzhurenko N. I., Palamarchuk O. P., Sokol O. V.,
Buidin Yu. V., Mashkovska S. P., Doroshenko A. S.

The content of polysaccharides in plants of the genus
Dahlia Cav. introduced in the M. M. Gryshko National
Botanical Garden

PLANT BREEDING AND SEED PRODUCTION

Holub Ye. A., Sauliak N. I., Vasyliiev A. A.,
Lytvynenko M. A., Traskovetska V. A.,
Shcherbyna Z. V., Bushulian M. A., Kirchuk Ye. I.

Characteristics of the source material for breeding
winter wheat for group resistance to leaf and stem
pathogens

Hudzenko V. M., Lysenko A. A., Polishchuk T. P.,
Buniak N. M., Kuzmenko Ye. A., Yurchenko T. V.,
Khudolii L. V., Kokhovska I. V.

Genetic sources of yield and stability for winter barley
breeding under conditions of the Ukrainian Forest-
Steppe

Mishchenko S. V., Kabanets V. M., Kyrychenko H. I.,
Marchenko T. Yu., Laiko H. M.

Combinational ability of varieties and self-pollinated
lines of industrial hemp for seed and oil use
in the topcross system

Siroshstan A. A., Zaima O. A., Fedorenko I. V.,
Fedorenko M. V., Kavunets V. P., Koliadenko S. S.

Characteristics of the post-harvest ripening period
of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) and durum wheat
(*T. durum* Desf.) seeds

GENETICS

Prysiashniuk L. M., Starychenko Ye. M.,
Tahantsova M. M., Shytikova Yu. V., Hryniv S. M.,
Stadnichenko O. A.

The possibilities of GAIA method application
for DUS examination in Ukraine

Аналіз динаміки подання заявок до Державного реєстру сортів рослин, придатних для поширення в Україні

Н. С. Орленко*, К. М. Мажуга, О. Б. Орленко,
В. В. Маслечкін, А. І. Сидорчук

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

Мета. Дослідити динаміку формування та структуру національних сортових рослинних ресурсів в умовах воєнного стану. **Методи.** У процесі досліджень використовували загальнонаукові методи, зокрема гіпотези, спостереження, пошуковий з елементами екстраполяції джерелознавчої бази даних; аналізу, порівняльного оцінювання та синтезу для формування висновків. **Результати.** Проаналізувавши впродовж 2022–2024 рр. Державний реєстр сортів рослин, придатних для поширення в Україні, встановили, що лідерами за кількістю поданих заявок серед іноземних країн були Франція (446), США (334), Німеччина (286) та Нідерланди (151). 3-поміж груп культур виділялися зернові, злакові, технічні, овочеві, олійні та прядивні. Найвищу активність продемонстрували компанії Pioneer Overseas Corporation (США), Limagrain Europe (Франція), Syngenta Crop Protection AG (Швейцарія), KWS SAAT SE & Co. KGaA (Німеччина) та Rijk Zwaan Zaadteelt en Zaadhandel B.V. (Нідерланди). **Висновок.** Попри розв'язану росією повномасштабну війну, зберігається значний інтерес іноземних компаній до реєстрації сортів в Україні. Протягом досліджуваного періоду спостерігали позитивну динаміку в чисельності заявок, поданих за спрощеною процедурою, та зростання їхньої частки в загальній кількості реєстрацій. До Державного реєстру сортів рослин, придатних для поширення в Україні, було успішно внесено всі сорти (визнані в ЄС та США), що пройшли експертизу за спрощеною системою. Це свідчить про ефективність останньої для українських аграріїв, які матимуть швидкий доступ до передових світових селекційних досягнень.

Ключові слова: ботанічний таксон; воєнний стан; реєстрація сортів рослин; спрощена система реєстрації.

Вступ

Динаміка подання заявок до Державного реєстру сортів рослин, придатних для поширення в Україні (далі – Реєстр), є одним з індикаторів стану вітчизняного аграрного сектору. Вона лишається позитивною навіть під час війни, що свідчить про стійкість та адап-

тивність агробізнесу в нашій державі. Реєстр містить як сорти, що пройшли випробування на врожайність і стійкість проти біо- та абіотичних факторів, так і ті, які були включені до нього за спрощеною процедурою відповідно до статті 12 Закону України «Про охорону прав на сорти рослин».

Руйнування інфраструктури, проблеми з логістикою, мінне забруднення земель та зміни кліматичних умов, спричинені воєнними діями [1, 2], суттєво вплинули на сільськогосподарське виробництво. Для збереження його обсягів потрібен доступ до високопродуктивних культиварів, а також наповнення Реєстру сортами, адаптованими до різних природних зон України. Це дасть змогу аграріям обирати оптимальні варіанти для вирощування, зважаючи на специфіку кожного регіону та рівень його пошкодження.

Natalia Orlenko
<http://orcid.org/0000-0003-0494-2065>
Kostiantyn Mazhuga
<https://orcid.org/0000-0002-1434-8687>
Oleksandr Orlenko
<https://orcid.org/0009-0001-3309-0757>
Vasyl Maslechkin
<https://orcid.org/0000-0002-6246-4287>
Alina Sydorчук
<https://orcid.org/0000-0001-6791-7778>



Попри війну, Україна залишається одним із провідних світових постачальників сільсько-господарської продукції, а також посідає третє місце за її експортом до держав-членів ЄС [3]. Тому критично важливими є контроль якості та сертифікація сортів, які використовують для експортноорієнтованого виробництва.

Функціонування Реєстру забезпечує відповідність міжнародним стандартам, сприяє збереженню довіри іноземних партнерів, розвитку конкурентного насінництва та охороні прав селекціонерів. Також завдяки цьому офіційному переліку українські аграрії отримують інформацію щодо світових селекційних досягнень. Моніторинг динаміки заявок на сорт дає змогу адаптуватися до нових викликів та визначити пріоритетні ботанічні таксони.

Сучасний стан і структуру національних сортових рослинних ресурсів досліджено в роботі [4]. Автори проаналізували загальну динаміку формування Реєстру та окреслили загрози, що постають перед вітчизняними аграріями.

Якщо вже визнані в ЄС та/або США сорти реєструють в Україні за спрощеною процедурою, то вітчизняні мають проходити щонайменше дворічний цикл досліджень. Ця ситуація спричиняє занепокоєння в авторів роботи [5]. Вони зазначають, що стаття 12 Закону України «Про охорону прав на сорти рослин» ставить національних заявників у нерівні конкурентні умови з іноземними та суперечить принципу недискримінаційного режиму торгівлі, закріпленому в угоді ГАТТ (Генеральна угода з тарифів і торгівлі) Світової організації торгівлі. Вчені також наголошують, що вимоги до реєстрації сортів у нашій державі, ймовірно, суперечать тим, що встановлені для Європейського Союзу статтею 6 Директиви Ради 2002/53ЄС.

Низку робіт присвячено формуванню сортових ресурсів окремих ботанічних таксонів – сої культурної, жита посівного, соняшнику та ріпаку [6–9].

У статті [10] проаналізовано кількісний склад і врожайність сортів та гібридів овочевих культур, придатних за комплексом показників для поширення в Україні, а в публікації [11] – кількісний та якісний склад сортів родини бобових.

Основним законодавчим актом, що регулює відносини у сфері охорони прав на сорти рослин, є Закон України «Про охорону прав на сорти рослин». Він визначає порядок подання заявок на отримання патенту на новий сорт, права та обов'язки заявників, а також критерії, яким повинен відповідати сорт

(новизна, відмінність, однорідність та стабільність) [12].

Цивільний кодекс України (глава 39 «Права інтелектуальної власності на об'єкти селекції») [13] забезпечує правове регулювання інтелектуальної власності на сорти рослин у межах загальної системи цивільного права. Закон України «Про насіння і садивний матеріал» [14] визначає правила сертифікації, виробництва та обігу насіння й садивного матеріалу. Постанова Кабінету Міністрів України «Про затвердження Порядку ведення Державного реєстру прав на сорти рослин» [15] регулює порядок реєстрації прав на сорти рослин та ведення відповідного реєстру.

Для деталізації законодавчих норм і забезпечення їх ефективного застосування Кабінет Міністрів України та Міністерство аграрної політики та продовольства України приймають відповідні підзаконні акти. Зокрема, Постанова Кабінету Міністрів України № 97 [16] визначає порядок проведення державних сортовипробувань, а Інструкція щодо подання заявки на сорт містить детальні вимоги до оформлення заявок.

На думку авторів, позитивна динаміка подання заявок до Державного реєстру сортів рослин, придатних для поширення в Україні, свідчить про активність селекційної роботи в нашій державі та адаптацію сільськогосподарського виробництва до викликів воєнного часу. Кількість закордонних заявок відображає інвестиційний клімат у вітчизняному аграрному секторі, а наявність спрощеної процедури реєстрації змінює організаційно-економічний механізм просування сортів іноземної селекції [17] та впливає на конкурентоспроможність [18, 19].

Мета досліджень – дослідити динаміку формування та структуру національних сортових рослинних ресурсів в умовах воєнного стану.

Матеріали та методика досліджень

Матеріалами для досліджень слугували Державний реєстр сортів рослин, придатних для поширення в Україні [20], база даних «Сорт» Українського інституту експертизи сортів рослин та бюлетень «Охорона прав на сорти рослин» (№ 1–12, 2024 р.; № 1–12, 2023 р.; № 1–6, 2022 р.) [21]. У процесі роботи використовували загальнонаукові методи, зокрема гіпотези, спостереження, пошуковий з елементами екстраполяції джерелознавчої бази даних; аналізу, порівняльного оцінювання та синтезу для формування висновків. Також було проведено графічну інтерпретацію даних.

Завдяки оцінюванню змін у структурі поданих заявок за останні три роки вдалося ви-

явити головні фактори, що впливають на динаміку реєстраційних процесів.

Результати

Аналіз загальної динаміки чисельності заявок продемонстрував, що найменше їх пода-

но у 2022 р. – 1004. Це, безумовно, спричинено агресією росії проти України. Наступними роками кількість зростала – до 1026 у 2023-му та 1163 у 2024-му (рис. 1). У довоєнний період (2012–2021 рр.) показники були вищими та становили в середньому 1430 заявок на рік.

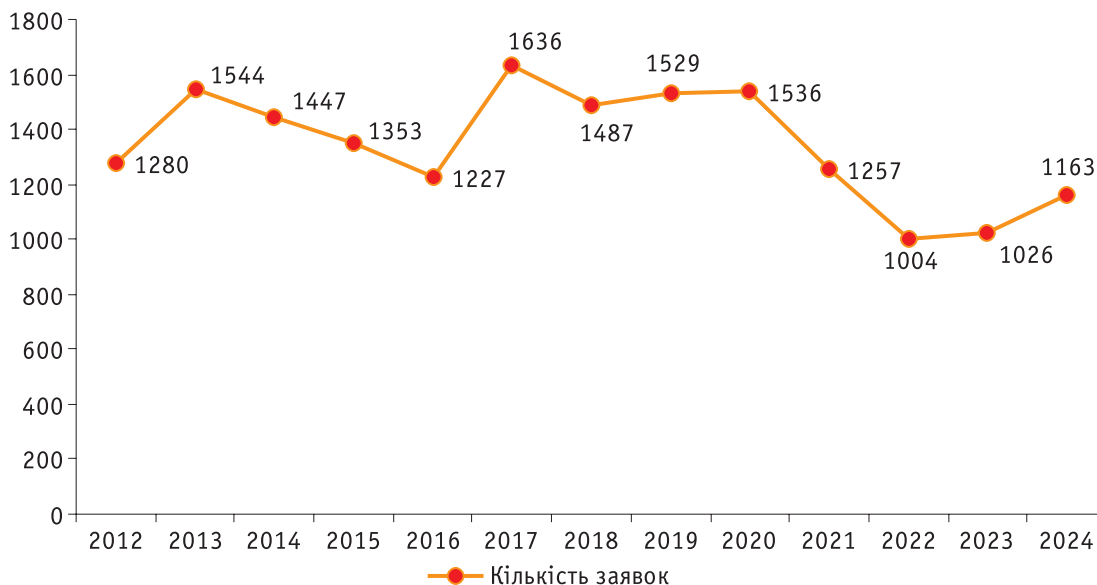


Рис. 1. Динаміка подання заявок у воєнні та довоєнні роки

Найпопулярнішими сільськогосподарськими культурами можна вважати зернові (пшеницю, ячмінь, кукурудзу) та технічні (ріпак, соняшник). На їхню реєстрацію щорічно подавали значну кількість заявок. Зокрема, на кукурудзу (звичайну + батьківський компонент) – 330 у 2022-му, 313 у 2023-му та 181 у 2024 р.; на соняшник (звичайний + батьківський компонент) – 155 у 2022-му, 180 у 2023-му та 96 у 2024 р.; на ріпак (озимий + батьківський компонент) – 70 у 2022-му, 66 у 2023-му та 77 у 2024 р.; на пшеницю м'яку (озиму) – 52 у 2022-му, 51 у 2023-му та 59 у 2024 р. Поступово нарощувало популярність і сорго – від двох заявок у 2022-му до 17 у 2024 році.

Щодо овочевих та ягідних культур, то у 2023 р. подано значно більше заявок на помідори – 35 проти 13 тогорічних. Стабільною була кількість заявок на огірки та перець (12 і 13 відповідно у 2024 р.), суницю садову (від чотирьох до дев'яти щороку) й лошину щиткову (від шести до 11 щороку). Водночас спостерігали поступове збільшення інтересу до малини – від однієї до семи заявок. Менший попит, ніж зазвичай, у 2024 р. мали такі нішеві культури, як кукурудза воскоподібна й цукровий буряк, а кріп, крес-салат і коноплі взагалі рідко траплялися у списках.

Статистичні дані, наведені на рисунку 2, свідчать про поступове зменшення кількості заявок на сільськогосподарські злакові

культури. У 2022 р. їх було 432, у 2023-му – 406, а у 2024-му – лише 292. Нестабільною динамікою відзначилися олійні та прядивні. Зокрема, у 2022 р. подано 232 заявки, у 2023-му – 257, а у 2024-му – тільки 177, що може вказувати на варіювання попиту і вплив таких ринкових факторів, як цінові тенденції та забезпеченість відповідним посівним матеріалом.

На відміну від злакових, овочеві культури демонстрували стабільний приріст. Зокрема, у 2022 р. зареєстровано 97 заявок, у 2023-му – 136, а у 2024-му – 204. Це є доказом збільшення попиту на овочеву продукцію, активного розвитку овочівництва та поширення нових високопродуктивних сортів. Позитивна динаміка подання заявок простежувалася й у категорії плодових та ягідних: 35 – у 2022 р., 60 – у 2023-му, 63 – у 2024-му. Водночас темпи зростання в цій групі трохи сповільнилися, що, можливо, спричинено частковим насиченням ринку або зниженням потреби виробників у нових сортах.

У 2022 р. було подано 23 заявки на реєстрацію декоративних і лікарських культур. 2023 року ця кількість помітно зменшилася – до шести, а 2024-го знову дещо збільшилася – до 14. Така нестабільна динаміка може бути зумовлена як законодавчими коригуваннями у сфері сертифікації, так і варіюванням попиту на ринку.

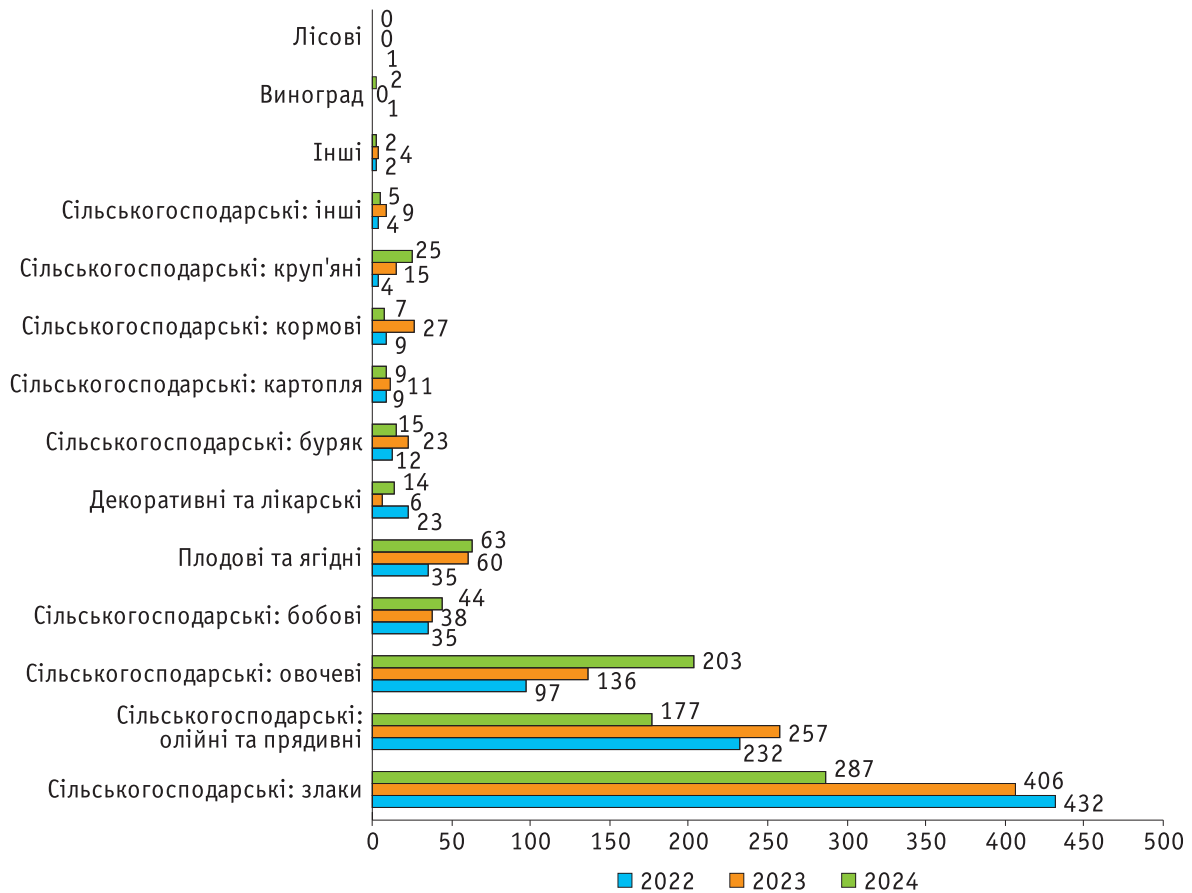


Рис. 2. Графічний аналіз кількості поданих заявок за групами культур у 2022, 2023 та 2024 рр.

Щороку одержували все менше заявок на бобові: 30 – у 2022-му, 29 – у 2023-му, 24 – у 2024 р., що пов'язано із загальним скороченням площ під цією культурою та зміною її ринкової привабливості. А от до буряку зберігався стабільний інтерес – від 12 заявок у 2022-му до 16 у 2024 році.

Наведений аналіз дав змогу виокремити певні тенденції у різних групах культур. Так, кількість заявок на овочеві, плодові та ягідні незмінно зростала, а на бобові та злакові, навпаки, зменшувалася. Водночас деякі групи – наприклад, декоративні та лікарські – мали нестабільну динаміку реєстрацій. Найменшою популярністю характеризувалися лісові культури та виноград. Це може свідчити про їхню низьку рентабельність і складність вирощування. До п'ятірки лідерів за поданими на них заявками у 2022–2024 рр. увійшли злакові, овочеві, олійні та прядивні, бобові й буряк.

У 2022 р. було подано 411 заявок та вітчизняні та 593 на іноземні сорти. З них 129 походили з Німеччини, 118 – зі США, 108 – із Франції, 59 – з Нідерландів, 31 – зі Швейцарії, 15 – з Австрії, 14 – зі Словаччини, 13 – з Чеської Республіки, 12 – з Румунії, 11 – з Туреччини, 10 – з Польщі, по вісім – з Маврикію та

Іспанії, шість – з Ізраїлю, по п'ять – з Угорщини, Республіки Сербія та Данії, по чотири – з Великобританії, Італії та Республіки Корея, три – з Канади, два – з Хорватії.

Серед 1026 заявок, що надійшли 2023 року, 630 були на сорти іноземного походження. Зокрема, з Франції – 195, зі США – 160, з Німеччини – 89, з Нідерландів – 41, зі Швейцарії – 35, з Італії – 20, з Румунії та Угорщини – по 12, з Австрії – 11, з Чеської Республіки – вісім, з Канади – шість, з Маврикію та Іспанії – по п'ять, з Данії – чотири, з Бельгії, Великобританії та Польщі – по три, з Болгарії, Австралії та Греції – по одній.

У 2024 р. було подано 442 заявки на вітчизняні та 721 на іноземні сорти. З них 163 походили з Франції, 68 – з Німеччини, по 56 – зі США та Швейцарії, 51 – з Нідерландів, 37 – з Польщі, 17 – з Австрії, по 11 – з Болгарії та Канади, сім – з Італії, по п'ять – з Туреччини та Румунії, чотири – з Бельгії, по три – з Іспанії та Китаю, по два – з Маврикію, Данії та Угорщини, по одному – з Хорватії, Республіки Сербія, Ізраїлю, Великобританії та Республіки Корея. Порівняння внеску вітчизняних та іноземних заявників наведено на рисунку 3.

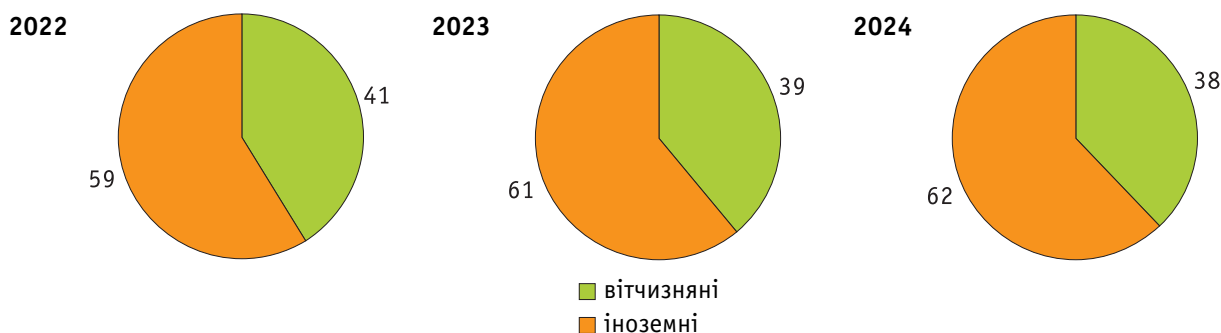


Рис. 3. Співвідношення вітчизняних та іноземних заявників, %

Лідерами за кількістю поданих заявок упродовж досліджуваного періоду були такі компанії: Pioneer Overseas Corporation (США) – 180 (50 у 2022-му, 93 у 2023-му та 37 у 2024 р.), Limagrain Europe (Франція) – 130 (44 у 2022-му, 58 у 2023-му та 28 у 2024 р.), Syngenta Crop Protection AG (Швейцарія) – 114 (27 у 2022-му, 34 у 2023-му та 53 у 2024 р.), KWS SAAT SE & Co. KGaA (Німеччина) – 111 (60 у 2022-му, 42 у 2023-му та дев'ять у 2024 р.), RIJK ZWAAN Zaadteelt en Zaadhandel B.V. (Нідерланди) – 52 (25 у 2022-му, 13 у 2023-му та 14 у 2024 р.).

Зміни, внесені до статті 12 Закону України «Про охорону прав на сорти рослин» на підставі Закону України «Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо приведення законодавства у сфері охорони прав на сорти рослин та насінництва і розсадництва у відповідність із положеннями законодавства Європейського Союзу» (№ 3680-д), гармонізують з міжнародними стандартами національну процедуру реєстрації, спрощують її для сортів, уже визнаних в ЄС та США, а також впливають на терміни розгляду заявок. Від подання останніх до внесення сорту до Реєстру за спрощеною системою зазвичай проходить менше ніж місяць. Це, на думку авторів, значно стимулює активність заявників.

У 2022 р. до Реєстру внесено 115 іноземних сортів. Компаніями-заявниками були: SAAT-BAU LINZ eGen (сім сортів), Probstdorfer Saatzucht Ges.m.b.H & Co KG (п'ять сортів), Saatzucht Donau Ges.m.b.H. & CoKG (один сорт) – Австрія; NUSEED EUROPE LTD (чотири сорти сояшнику однорічного) – Велика Британія; Sejet Planteforaedling I/S (чотири сорти пшениці м'якої озимої) – Данія; APSOVSEMENTI S.P.A. (один сорт сої культурної) – Італія; Monsanto Vegetable IP Management B. V. (чотири сорти овочевих культур) та Pop Vriend Seeds B. V. (один сорт овочевої культури) – Нідерланди; Deutsche Saatveredelung AG (дев'ять сортів ріпаку озимого та один – пшениці м'якої озимої), Europlant Pflanzenzucht GmbH (два сорти кар-

топлі), KWS SAAT SE & Co. KGaA (два сорти ріпаку озимого та один – буряку цукрового), KWS Lochow GmbH (три сорти пшениці м'якої озимої), Norddeutsche Pflanzenzucht Hans-Georg Lembke KG (один сорт гороху посівного (зернового) та три сорти ріпаку озимого), Nordsaat Saatzucht GmbH (по одному сорту ячменю звичайного озимого, ячменю звичайного ярого та пшениці м'якої озимої), P. H. PETERSEN Saatzucht Lundsgaard GmbH (один сорт кукурудзи звичайної) та Hybro Saatzucht GmbH & Co. KG. (один сорт жита посівного озимого) – Німеччина; KUTNOWSKA HODOWLA BURAKA CUKROWEGO SP. Z.O.O. (один сорт буряку цукрового) – Польща; Biogranum D.O.O. (чотири сорти пшениці м'якої озимої та один – пшениці м'якої дворучки) – Республіка Сербія; SAATEN UNION Romania Srl (один сорт сояшнику однорічного) – Румунія; MONSANTO TECHNOLOGY LLC (по три сорти кукурудзи звичайної та ріпаку озимого) – США; May Agro Tohumculuk Sanayi ve Ticaret A.S. (один сорт сояшнику однорічного) і TEKCAN TOHUMCULUK GIDA VE TARIM URUNLERI SANAYI TICARET LIMITED SIRKETI (два сорти рису посівного) – Туреччина; KWS MOMONT RECHERCHE S.A.R.L. (три сорти пшениці м'якої озимої), Lidea France SAS (два сорти пшениці м'якої озимої), Limagrain Europe (16 сортів ріпаку озимого, шість – кукурудзи звичайної, п'ять – сояшнику однорічного), MAS SEEDS (чотири сорти кукурудзи звичайної та один сорт сояшнику однорічного), RAGT 2n (сім сортів пшениці м'якої озимої, три сорти сої культурної та один сорт ріпаку озимого) та Soltis (три сорти сояшнику однорічного) – Франція; Vyzkumne centrum SELTON, s.r.o. (один сорт пшениці м'якої озимої), MORAVOSEED CZ a.s. (п'ять сортів перцю однорічного солодкого та один – цибулі городньої) та Selgen, a.s. (один сорт пшениці м'якої озимої) – Чеська Республіка; Syngenta Crop Protection AG (один сорт сояшнику однорічного) – Швейцарія; Poljo-privredni institut osijek (Agricultural Institute Osijek) (один сорт) – Хорватія. Частка

зареєстрованих сортів становить 11,45% від загальної кількості поданих цього року заявок.

У 2023 р. до Реєстру внесено 253 іноземні сорти. Компаніями-заявниками були: SAATBAU LINZ eGen (три сорти кукурудзи, два – сої культурної, по одному – соняшнику, гарбуза звичайного та пшениці) та Saatzucht Donau Ges.m.b.H. & CoKG (два сорти пшениці та один – ячменю звичайного) – Австрія; Golden West Seed Bulgaria Ltd. (один сорт кукурудзи) – Болгарія; NUSEED EUROPE LTD. (два сорти соняшнику однорічного) – Велика Британія; AMERICAN GENETICS S.A. (один сорт кукурудзи) – Греція; Danespo A/S (п'ять сортів картоплі) – Данія; APSOVSEMENTI S.P.A. (по три сорти пшениці та сої культурної, два сорти соняшнику та один – люцерни), ESASEM SPA (чотири сорти помідора) та ISI Sementi S.h.A. (один сорт помідора) – Італія; IPR B.V. (два сорти картоплі), Vejo Zaden B.V. (один сорт капусти білоголової та два – моркви), Monsanto Holland B.V. (один сорт кавуна звичайного та три сорти помідора), Rijk Zwaan Welver GmbH (по одному сорту кабачка та салату посівного) і Hazera Seeds Ltd (один сорт капусти цвітної) – Нідерланди; Betaseed GmbH (два сорти буряку цукрового), Van Waveren Saaten GmbH (один сорт кукурудзи), Deutsche Saatveredelung AG (три сорти ріпаку озимого), KWS SAAT SE & Co. KGaA (по шість сортів кукурудзи та буряку кормового й один сорт буряку цукрового), Cluser Breeding International GmbH. (один сорт ріпаку озимого), Norddeutsche Pflanzenzucht Hans-Georg Lembke KG (по одному сорту соняшнику й сої культурної та два сорти ріпаку озимого), Nordsaat Saatzucht GmbH (один сорт пшениці), P.H. PETERSEN Saatzucht Lundsgaard GmbH (два сорти гречки їстівної), Feldsaaten Freudenberg GmbH & Co. KG (по одному сорту гречиці лугової та турнепсу й по два сорти костриці лугової та пажитниці багаторічної), Hybro Saatzucht GmbH & Co. KG. (два сорти жита посівного озимого), Strube D&S GmbH (п'ять сортів буряку цукрового) та KWS Lochow GmbH (один сорт ячменю звичайного озимого) – Німеччина; Instytut Ogrodnictwa (три сорти малини) – Польща; Заатен Уніон Румунія (один сорт соняшнику) та SOYTEK S.R.L. (три сорти гороху посівного, два – пшениці, один – сої культурної) – Румунія; BASF Agricultural Solutions Seed US LLC (чотири сорти ріпаку), Kraft Heinz Foods (чотири сорти помідора), Crookham Company (один сорт кукурудзи) та Monsanto Holland B.V. (чотири сорти кукурудзи) – США; Alfaseed Kft. (по одному сорту сорго звичайного та люцерни) та ZKI ZOLD-

SEGTERMESZTESI KUTATO INTEZET ZARTKORUEN MUKODO RESZVENYTARSA-SAG (один сорт кукурудзи й по два сорти огірка посівного та перцю однорічного) – Угорщина; SAKATA VEGETABLES EUROPE S.A.S., RAGT 2n. Germicopa Breeding SAS, Lidea France SAS., Limagrain Europe, Secobra recherches S.A.S., SAS Florimond Desprez Veuve et Fils, ID GRAIN SAS, MAS SEEDS, Soltis та INVENIO (тридцять вісім сортів кукурудзи, десять – пшениці, сім – соняшнику, шість – капусти білоголової, п'ять – ріпаку озимого, по два сорти ріпаку ярого, вівса, огірка та гарбуза мускатного й по одному сорту суниці, горошку посівного (вика) (ярий), конюшини, фацелії, гречки, ячменю, кабачка, моркви та шпинату) – Франція; Vyzkumne centrum SELTON, s.r.o. (два сорти пшениці м'якої озимої), Selgen, a.s. (два сорти пшениці м'якої озимої) та Moravoseed spol. s.r.o. (один сорт цибулі городньої) – Чеська Республіка; Syngenta Crop Protection AG (по одному сорту кабачка, капусти, перця, цибулі городньої та два сорти помідора) – Швейцарія. Частка зареєстрованих сортів становить 24,66% від загальної кількості поданих цього року заявок.

У 2024 р. до Реєстру внесено 211 іноземних сортів. Компаніями-заявниками були: SAATBAU LINZ eGen (по одному сорту пшениці м'якої ярої, ріпаку озимого, гарбуза звичайного та чотири сорти кукурудзи звичайної) – Австрія; ASUR Plant Breeding, Germicopa Breeding SAS, KWS MOMONT RECHERCHE S.A.R.L. (по одному сорту пшениці), Lidea France SAS (один сорт пшениці, чотири – ріпаку, по п'ять сортів соняшнику та сорго й дванадцять сортів кукурудзи), Limagrain Europe (п'ять сортів соняшнику та два – кукурудзи), СесикLimagrain Europe (один сорт соняшнику), MAS SEEDS (два сорти кукурудзи), RAGT 2n (один сорт соняшнику), SAKATA VEGETABLES EUROPE S.A.S. (п'ять сортів буряку столового, по два сорти капусти білоголової та помідора їстівного й по одному сорту цибулі городньої, гарбуза мускатного та гарбуза великоплідного (волоського) × гарбуз мускатний), Secobra recherches S.A.S. (один сорт пшениці м'якої дворучки) та НМ.CLAUSE (один сорт помідора їстівного) – Франція; BC Institut za oplemenjivanje I proizvodnju billja d.d. (один сорт кукурудзи звичайної) – Хорватія; Syngenta Crop Protection AG (по одному сорту дині звичайної й цибулі городньої та два сорти помідора їстівного) та Syngenta Participation AG (по одному сорту соняшнику однорічного та шпинату городнього) – Швейцарія; SESVANDERHAVE NV/SA (п'ять сортів буряку цукрового) –

Бельгія; Golden West Seed Bulgaria Ltd. (п'ять сортів кукурудзи звичайної) та PESTICID EOOD (сім сортів) – Болгарія; DLF Beet Seed ApS (два сорти буряку цукрового) – Данія; ISI Sementi S.h.A. (один сорт цибулі городньої), CORA SEEDS S.R.L. (по одному сорту баклажана, капусти цвітної, помідора їстівного та цибулі городньої) та ISI Sementi S.h.A. (два сорти люцерни) – Італія; Advanta Semillas SAIC (два сорти ріпаку озимого) – Маврикій; Bejo Zaden B.V. (один сорт петрушки та два – цибулі ріпчастої), Wing Seed B.V. (по два сорти капусти білоголової та кавуна звичайного й по одному сорту кабачка та редьки посівної), De Groot en Slot B.V. (п'ять сортів цибулі ріпчастої), De Ruiter Intellectual Property B.V. (один сорт троянди декоративної), Nunhems B. V. (по одному сорту дині звичайної, моркви, перцю солодкого, помідора їстівного та два сорти огірка посівного), RIJK ZWAAN Zaadteelt en Zaadhandel B.V. (по одному сорту буряку столового, дині звичайної, перцю солодкого, шпинату городнього та три сорти помідора їстівного), Syngenta Seeds B.V. (по одному сорту кавуна звичайного, капусти білоголової та редьки посівної) та Hazera Seeds Ltdz B.V. (по два сорти кавуна звичайного й цибулі ріпчастої та три сорти редьки посівної) – Нідерланди; Betaseed GmbH (два сорти буряку цукрового), W. von Borries-Eckendorf GmbH & Co. KG (два сорти пшениці), WeDrow Germany GmbH (один сорт павловнії), Deutsche Saatveredelung AG (два сорти ріпаку озимого), KWS SAAT SE & Co. KGaA (шість сортів ріпаку озимого), KWS Lochow GmbH (три сорти жита посівного), Norddeutsche Pflanzenzucht Hans-Georg Lembke KG (два сорти ріпаку озимого та один – гороху посівного), Nordsaat Saatzaucht GmbH (один сорт вівса посівного та два – пшениці), FarmSaat AG (сім сортів кукурудзи та три сорти сої культурної), Hybro Saatzaucht GmbH & Co. KG (три сорти жита посівного) та Strube D&S GmbH (два сорти пшениці) – Німеччина; DANKO Hodowla Roslin Sp. z.o.o. (три сорти пшениці та два – тритикале), Instytut Ogrodnictwa (шість сортів смородини), Kutnowska Hodowla Buraka Cukrowego Sp. z.o.o. (п'ять сортів буряку цукрового) та Poznanska Hodowla Roslin Sp. z.o.o. (три сорти пшениці, два – ячменю озимого, один – гороху посівного) – Польща; SUPERIOR d.o.o. (один сорт люцерни посівної) – Республіка Сербія; SOYTEK S.R.L. (один сорт соняшнику) та SC AGROSEL S.R.L. (по одному сорту кукурудзи й огірка посівного та два сорти перцю солодкого) – Румунія; BASF Agricultural Solutions Seed US LLC (один сорт ріпаку озимого), MONSANTO

TECHNOLOGY LLC (один сорт ріпаку озимого) та Шлесман Сід Компані (три сорти кукурудзи) – США; May Agro Tohumculuk Sanayi ve Ticaret A.S. (один сорт бавовнику) і TEKCAN TOHUMCULUK GIDA VE TARIM URUNLERI SANAYI TICARET LIMITED SIRKETI (два сорти пшениці та два – ячменю озимого) – Туреччина; ZKI Zoldsegetermeszteszi Kutato Intezet Zartkoruen Mukodo Reszvenytarsasag (один сорт перцю солодкого) – Угорщина.

До Реєстру також було внесено 66 іноземних сортів, поданих українськими компаніями, з них 29 – у 2022 р. (28 – від ТОВ «Кортева Агрісаєнс Україна», один – від ТОВ «ФАРМЕР.УА»), 15 – у 2023 р. (по шість – від ТОВ «Кортева Агрісаєнс Україна» та ТОВ «ФАРМЕР.УА», два – від ТОВ «Свितязь», один – від ТОВ «СП Мирталь»), 22 – у 2024 р. (19 – від ТОВ «Кортева Агрісаєнс Україна», три – від ТОВ «РВА Україна»). Вони мали австрійське, німецьке, іспанське, французьке, угорське, американське, нідерландське, польське, грузинське та румунське походження.

Висновок

Отже, війна спричинила скорочення інвестицій у селекцію та випробування нових сортів. Водночас позитивна динаміка надходження заявок до Державного реєстру сортів рослин, придатних для поширення в Україні, свідчить, що вітчизняному аграрному сектору вдалося зберегти довіру закордонних партнерів.

Лідерами серед іноземних країн за кількістю заявок були Франція, США, Німеччина та Нідерланди, з чого можна зробити висновок про бачення ними перспектив українського сільського господарства. Найчастіше для реєстрації подавали сорти зернових, злакових, технічних, овочевих, олійних і прядивних культур.

Чисельність заявок, поданих за спрощеною процедурою, зростала щороку. Так, у 2022-му їх було 155, у 2023-му – 251, а у 2024 р. – 314.

До Державного реєстру сортів рослин, придатних для поширення в Україні, успішно внесено всі сорти (визнані в ЄС та США), що пройшли експертизу за спрощеною системою. Це вказує на ефективність останньої для українських аграріїв, які матимуть швидкий доступ до передових світових селекційних досягнень.

References

- Buchyn, M. A. (2024). The Main Forms of the Influence of Military Conflicts on Climate Change: On the Example of Russian-Ukrainian War. *Humanitarian vision*, 10(1), 7–12. <https://doi.org/10.23939/shv2024.01.007> [In Ukrainian]
- Kolmaš, M. (2023). Climate Impacts of the Ukraine War. *Czech Journal of International Relations*, 58(2), 75–81. <https://doi.org/10.32422/cjir.787>

3. FAOSTAT, Selected Data Source FAO-AMIS. <http://www.fao.org/faostat/en/#home>
4. Tkachyk, S. O., Zakharchuk, O. V., Kotsiubynska, L. M., Khomenko, T. M., Skubii, O. A., Zavalniuk, O. I., Dubova, I. Y., Stefkivska, Y. L., & Lynchak, N. B. (2024). Formation of national varietal resources: status and prospects. *Plant Varieties Studying and Protection*, 20(3), 174–182. <https://doi.org/10.21498/2518-1017.20.3.2024.311812> [In Ukrainian]
5. Zakharchuk, O. V., Tkachyk, S. O., Syplyva, N. O., Holichenko, N. B., Lynchak, N. B., & Kovalchuk, Y. S. (2024). Improvement of the practice of plant variety testing in Ukraine on the basis of international experience. *Plant Varieties Studying and Protection*, 20(2), 127–134. <https://doi.org/10.21498/2518-1017.20.2.2024.304091> [In Ukrainian]
6. Vaskivska, S. V., Orlenko, N. S., Tkachyk, S. O., & Khudolii, L. V. (2018). Features of the Ukrainian soybean market. *Plant Varieties Studying and Protection*, 14(4), 422–430. <https://doi.org/10.21498/2518-1017.14.4.2018.151911> [In Ukrainian]
7. Sabluk, V. T., Kyienko, Z. B., & Dymyrov, S. H. (2018). Analysis of varietal resources of rye (*Secale cereale* L.) in the State Register of Plant Varieties of Ukraine. *Plant Varieties Studying and Protection*, 14(4), 431–439. <https://doi.org/10.21498/2518-1017.14.4.2018.151914> [In Ukrainian]
8. Gaydash, E. V., Kuzmenko, O. R., & Bielka, O. V. (2023). Main oil crops in the registry of plant varieties of Ukraine. *Scientific and Technical Bulletin of the Institute of Oilseed Crops NAAS*, 35, 115–126. <https://doi.org/10.36710/IOC-2023-35-10> [In Ukrainian]
9. Smul'ska, I. V., Topchii, O. V., Mykhailik, S. M., Starychenko, Ye. M., Kyienko, Z. B., & Dutova, H. A. (2024). Analysis of varieties of the medium ripe group of annual sunflower *Helianthus Annuus* L. entered into the state register of plant varieties suitable for propagation in Ukraine. *Věda a Perspektivy*, 2, 460–473. [https://doi.org/10.52058/2695-1592-2024-2\(33\)-460-473](https://doi.org/10.52058/2695-1592-2024-2(33)-460-473)
10. Syplyva, N., Kulyk, M., Rozhko, I., & Haidai, A. (2023). Current state of varietal resources of vegetable crops in Ukraine. *Scientific Progress & Innovations*, 26(4), 77–84. <https://doi.org/10.31210/spi2023.26.04.14> [In Ukrainian]
11. Syplyva, N. O., Kulyk, M. I., Rozhko, I. I., & Gaidai, A. O. (2024). Analysis of varietal resources of leguminous vegetable crops in Ukraine. *Agrarian Innovations*, 27, 93–108. <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2024.27.14> [In Ukrainian]
12. *On Protection of Rights to Plant Varieties: Law of Ukraine of 21.04.1993 No. 3116-XII*. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3116-12?lang=en#Text>
13. *The Civil Code of Ukraine*. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/435-15?lang=en#Text>
14. *On Seeds and Planting Stock: Law of Ukraine of 26.12.2002 No. 411-IV*. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/411-15?lang=en#Text>
15. *On Approval of the Procedure for Maintaining the State Register of Plant Varieties Suitable for Distribution in Ukraine. Resolution of September 26, 2018 No. 774*. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/774-2018-%D0%BF#Text>
16. *On approval of the Procedure for certification, issuance and cancellation of certificates for seeds and/or planting material and forms of certificates for seeds and/or planting material. Resolution of February 21, 2017 No. 97*. <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/97-2017-%D0%BF>
17. Buniak, N. M., & Danylko, I. M. (2020). Organizational and economic mechanism for promoting varieties of spire cereal crops of foreign selection on the Ukrainian markets. *Ekonomika APK*, 27(3), 25–35. <https://doi.org/10.32317/2221-1055.202003025> [In Ukrainian]
18. Buniak, N., & Danylko, I. (2019). Mechanism of foreign economic activity on the market of spiked cereals seeds. *Ekonomika APK*, 26(2), 42–47. <https://doi.org/10.32317/2221-1055.201902042> [In Ukrainian]
19. Buniak, N. M., & Danylko, I. M. (2021). The state of competition in the varieties and seed varieties markets of soft winter wheat of domestic selection. *Ekonomika APK*, 28(1), 43–52. <https://doi.org/10.32317/2221-1055.202101043> [In Ukrainian]
20. State Register of Plant Varieties Suitable for Distribution in Ukraine in 2024. Kyiv: <https://minagro.gov.ua/file-sto-rage/reyestr-sortiv-roslin>
21. Plant Variety Rights Protection. (2022–2024). <http://https://sops.gov.ua/arhiv-bulletenaj>
22. UPOV. (2023). *Guidelines for the conduct of tests for distinctness, uniformity and stability Helianthus annuus* L. Document TG/81/7. 2023-08-31. <https://www.upov.int/edocs/tgdocs/en/tg081.pdf>

UDC 631.559.2:004.652

Orlenko, N. S.*, Mazhuha, K. M., Orlenko, O. B., Maslechkin, V. V., & Sydorhuk, A. I. (2025). Analysis of application dynamics to the State Register of Plant Varieties Suitable for Distribution in Ukraine. *Plant Varieties Studying and Protection*, 21(1), 4–11. <https://doi.org/10.21498/2518-1017.21.1.2025.327495>

*Ukrainian Institute for Plant Variety Examination, 15 Horikhuvatskyi shliakh St., Kyiv, 03041, Ukraine, *e-mail: N.S.Orlenko@gmail.com*

Purpose. To study the dynamics of the formation and structure of national varietal plant resources under martial law.

Methods. General scientific methods were used throughout the research, including the formulation of hypotheses, observation and the search of the source database with elements of extrapolation, analysis, comparative evaluation and synthesis to draw conclusions. **Results.** An analysis of the State Register of Plant Varieties Suitable for Distribution in Ukraine in 2022–24 revealed that France (446), the United States (334), Germany (286) and the Netherlands (151) submitted the most applications among foreign countries. The most popular crop groups were cereals, grains, industrial crops, vegetables, oilseeds and fiber. The most active companies were Pioneer Overseas Corporation (USA), Limagrain Europe (France), Syngenta Crop Protection AG (Switzerland) and KWS SAAT SE &

Co. KGaA (Germany), and Rijk Zwaan Zaaatdeelt en Zaadhandel B.V. (the Netherlands). **Conclusion.** Despite the large-scale war unleashed by Russia, foreign companies are still showing significant interest in registering varieties in Ukraine. During the review period, a positive trend emerged in the number of applications filed under the simplified procedure, with their share of the total number of registrations increasing. The State Register of Plant Varieties Suitable for Distribution in Ukraine successfully included all varieties recognised in the EU and USA that had been examined under the simplified procedure. This demonstrates the effectiveness of the latter for Ukrainian farmers, who will have quick access to some of the world's best breeding achievements.

Keywords: botanical taxon; martial law; registration of plant varieties; simplified registration system.

Надійшла / Received 23.02.2025
Погоджено до друку / Accepted 29.03.2025

Уміст полісахаридів у рослинах роду *Dahlia* Cav., інтродукованих у Національному ботанічному саду імені М. М. Гришка

Н. І. Джуренко, О. П. Паламарчук, О. В. Сокол*,
Ю. В. Буйдін, С. П. Машковська, А. С. Дорошенко

Національний ботанічний сад імені М. М. Гришка НАН України, вул. Садово-ботанічна, 1, м. Київ, 01014, Україна,
*e-mail: sokoloksana23@ukr.net

Мета. Дослідити впродовж вегетації вміст полісахаридів у різних органах рослин сортів і гібридів роду *Dahlia* Cav., інтродукованих у Національному ботанічному саду імені М. М. Гришка. **Методи.** Кількісний вміст полісахаридів визначали ваговим методом, а глюкози, фруктози та сахарози – хроматографічним. **Результати.** Максимальним вмістом полісахаридів у коренебульбах наприкінці вегетації відзначився сорт ‘Осінь в Софіївці’ ($101,00 \pm 0,1\%$); інші мали показники від $67,90 \pm 0,1\%$ (‘Canby Centennial’) до $90,0 \pm 0,2\%$ (‘Kiki Caron’). У період зберігання ці значення зменшилися майже вдвічі в ‘Осені в Софіївці’, ‘Kiki Caron’ і Гібрида № 150 та залишилися приблизно на тому самому рівні в ‘Canby Centennial’. Розчинні цукри в коренебульбах сортових зразків жоржин представлені переважно глюкозою, фруктозою та сахарозою. Їхня сума восени наприкінці вегетаційного періоду становила від 8,0% (‘Canby Centennial’) до 11,5% (Гібрид № 150). Чотиримісячне зберігання коренебульб у прохолодному приміщенні за температури 5–8 °C і вологості 50–60% позитивно вплинуло на вміст розчинних цукрів, який збільшився в 1,3–1,8 раза [від 14,72% (‘Canby Centennial’) до 21,86% (Гібрид № 150)]. У листках Гібрида № 150 загальна кількість полісахаридів не перевищувала $6 \pm 0,02\%$ та була ще меншою в інших сортів: ‘Kiki Caron’ – $2,9 \pm 0,01\%$, ‘Осінь в Софіївці’ – $1,8 \pm 0,01\%$, ‘Canby Centennial’ – $1,6 \pm 0,01\%$. **Висновки.** За результатами досліджень можна зробити висновок, що коренебульби рослин роду *Dahlia*, здатні зберігати полісахариди навіть у зимовий період, є потенційним нетрадиційним джерелом цих біологічно активних сполук.

Ключові слова: рослини роду *Dahlia*; коренебульби; листки; полісахаридний комплекс.

Вступ

У процесі росту та розвитку рослини синтезують різноманітні біологічно активні сполуки (БАС), які впливають на організм людини та мають певну фармакологічну дію. Серед

них все більший інтерес становить група сполук первинного синтезу, допоміжних у виробництві лікарських форм, а саме: полісахариди рослинного походження. Вони, як порівняти із синтетичними речовинами, здебільшого нетоксичні, а їхні метаболіти не завдають шкоди організму. До того ж переважна кількість застосовуваних у медицині полісахаридів розчинна у воді. Оскільки ці сполуки визначають цінність фітосировини, саме з ними більшість учених пов’язує вивчення та пошук рослин з імуномодельовальними властивостями, які впливають на захисні реакції організму. У фармацевтичній промисловості вже використовують рослини, що містять полісахариди як основну групу БАС. Зокрема, подорожник великий (*Plantago major* L.) – 20% у листках, підбіл звичайний (*Tussilago farfara* L.) – приблизно 8% у листках, а також алтея лікарська

Nadiia Dzhurenko

<https://orcid.org/0000-0001-8210-445X>

Olena Palamarchuk

<https://orcid.org/0000-0002-8649-6806>

Oksana Sokol

<https://orcid.org/0000-0002-6297-7912>

Yurii Buidin

<https://orcid.org/0000-0002-9366-7167>

Svitlana Mashkovska

<https://orcid.org/0000-0001-6078-5864>

Anatolii Doroshenko

<https://orcid.org/0009-0004-4300-8392>



© The Author(s) 2025. Published by Ukrainian Institute for Plant Variety Examination.

This is an open access article distributed under the terms of the license CC BY-SA 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>), which permits use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

(*Althaea officinalis* L.) – до 35% у коренях. Як видно, досліджувані сполуки більшою мірою локалізуються в підземних органах, хоча й у наземних наявна значна їхня кількість.

Фітопрепарати, розроблені на основі полісахаридів, мають пом'якшувальну, ранозагоювальну, противиразкову, обволікальну, відхаркувальну, болезаспокійливу та послаблювальну дію [1]. Перспективним джерелом цих БАС можуть бути рослини родини *Asteraceae* Dum. (айстрових) роду *Dahlia* Cav., який, за різними даними, об'єднує від чотирьох до 36 видів, поширених переважно в гірських районах Мексики, Гватемали, Колумбії, та понад 20 тис. ще недостатньо вивчених культиварів [2, 3].

У Національному ботанічному саду імені М. М. Гришка НАН України (далі – НБС) зібрано одну з найбільших у нашій державі колекцій роду *Dahlia*, яка налічує понад 250 культиварів. Жоржина культурна (*Dahlia × cultorum* Thorsr. et Reis.) – вид, що об'єднує сорти гібридогенного походження [4]. У літературних джерелах для них використовують назву *D. variabilis* Desf. [5]. Уже в 50-х роках ХХ ст. Ф. С. Дудік провів інтродукційні дослідження рослин вказаного роду. У своїй кандидатській дисертації «Біологічні особливості, шляхи покращення та використання жоржин» [6] учений зазначив, що коренебульби жоржин зі значним вмістом вуглеводів є перспективними для використання. Згодом, на початку ХХІ ст., співробітники відділу квітничково-декоративних рослин Г. М. Музичук та А. С. Дорошенко представили первинну оцінку сучасного сортового різноманіття колекційного фонду *Dahlia* Cav. [4].

Жоржина відома своїми лікарськими властивостями, тому її здавна використовують у медицині: в Центральній Америці – для лікування СНІДу [7] та як тонізувальний напій; у Бангладеші – як народний засіб, що загоює фурункули, опіки та гнійні рани; у Китаї – для створення суміші коренебульб з іншими рослинами, як складник гіпоглікемічних зборів [8].

Аналіз інформаційних джерел дав змогу зробити висновок, що найбільш вивченими є коренебульби, які містять вуглеводи, зокрема, інулін (16–50%), пектинові речовини (0,5–4%), фенольні сполуки (до 1%), гідроксикоричні та фенолкарбонові кислоти, кумарини (умбеліферон), амінокислоти (7–15%), етерну олію (1,10–1,15%), макро- та мікроелементи, сквален (0,12%) тощо. Наземна частина жоржин накопичує фенольні сполуки (до 2%), антоціани, етерну олію, полісахариди (до 5%), вітаміни групи В, каротиноїди й то-

кофероли [9–11], а виділені з неї екстракти мають протизапальну, антиоксидантну та протигрибкову дію [12]. Завдяки дослідженню поліфенольного комплексу наземної частини сорту 'Ken's Flame' вдалося виявити його антимікробну дію (Патент на корисну модель № 117559, Україна. Спосіб одержання поліфенольного комплексу з трави жоржини сорту 'Ken's Flame' з антимікробною дією).

Як порівняти з листками та коренебульбами, квітки рослин роду *Dahlia* мають потужнішу антиоксидантну активність і вищий рівень інгібування тирозинази, а їхній фіолетовий або насичено-червоний колір свідчить про значний вміст поліфенолів [13, 14].

Коренебульби жоржин не містять карамелізаційних фруктозан, тому можуть бути (без застосування для одержання високовартісних і складних технологій) альтернативним джерелом полісахариду інуліну. Останній, згідно із сучасними дослідженнями, використовують у комплексному лікуванні онкологічних захворювань та порушення обміну речовин [15]. Також він важливий для фармацевтичної промисловості як компонент біологічно активних добавок, що є природним пробіотиком, має цукрознижувальну, гіпохолерестеринемічну й дезінтоксикаційну дію та легко засвоюється організмом людини як функціональний харчовий інгредієнт [16].

Пошук джерел полісахаридів, що є основними біологічно активними сполуками, сприятиме розширенню нетрадиційної сировинної бази для створення фітозасобів з імуномодулювальною та протидіабетичною активністю, в яких наразі існує велика потреба.

Мета досліджень – дослідити впродовж вегетації вміст полісахаридів у різних органах рослин сортів і гібридів роду *Dahlia* Cav., інтродукованих у Національному ботанічному саду імені М. М. Гришка.

Матеріали та методика досліджень

Для проведення досліджень використовували повітряно-суху сировину таких сортів і гібридів жоржин, як Гібрид № 150 (робоча назва «Полярна Зірка»), 'Canby Centennial', 'Осінь в Софіївці' та 'Kiki Caron', колекційного фонду відділу квітничково-декоративних рослин Національного ботанічного саду імені М. М. Гришка НАН України. У фазі квітнення (серпень) 2019–2021 рр. заготовляли наземну частину рослин, а наприкінці плодоношення (друга декада вересня) та після зберігання (друга – третя декада квітня) – коренебульби. Останні зберігали в підвальному приміщенні (температура повітря – 5–7 °С,

вологість – 60–70%). Досліджувані сорти було обрано за масою коренебульб, яка в середньому становила 2 кг.

Для аналізу використовували середню пробу (5 г) повітряно-сухої сировини та визначали втрату маси за висушування. Кількісний уміст полісахаридів встановлювали гравіметричним методом згідно з методикою ДФУ 2.0.3 монографії «Подорожника великого листа №» [17]. Екстракцію цих біологічно активних сполук із рослинної сировини виконували за допомогою води, яку нагрівали протягом 30 хв. Далі полісахариди осаджували трикратним об'ємом 96% етанолу. Осад відфільтровували, висушували та зважували. Уміст полісахаридів (X, %) обчислювали в перерахунку на повітряно-суху сировину.

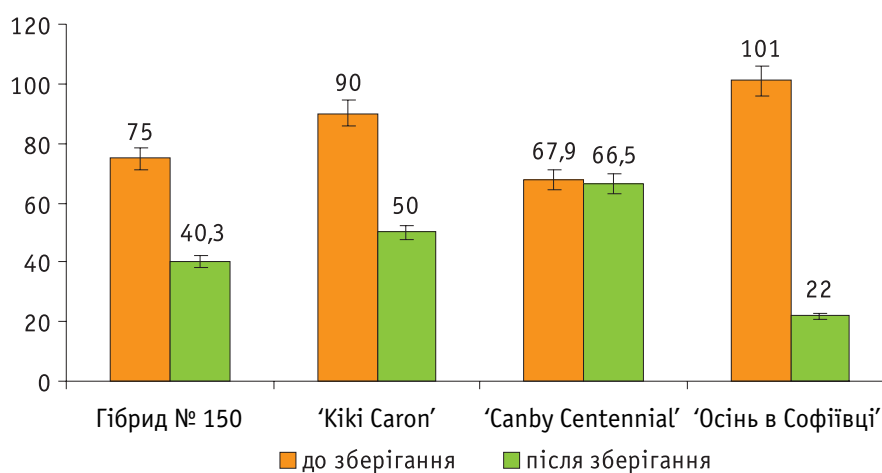


Рис. 1. Вміст полісахаридів у коренебульбах жоржин у різні періоди (%) в перерахунку на повітряно-суху масу

Через гідролітичні перетворення у процесі зберігання коренебульб частка полісахаридів значно зменшилася. Зокрема, майже вдвічі у 'Kiki Caron' і Гібрида № 150 – до $50,00 \pm 0,3\%$ та $40,30 \pm 0,4\%$ відповідно. Утім найсуттєвіше зниження інтенсивний гідроліз спричинив у сорту 'Осінь в Софіївці' – на 78,22% (рис. 1). Культивуvarу 'Canby Centennial' зміни під час зберігання майже не торкнулися – вміст полісахаридів скоротився лише на 3,2%. Отже, коренебульби досліджених рослин роду *Dahlia* містять значну кількість полісахаридів: 'Осінь в Софіївці' – $101,00 \pm 0,1\%$, 'Kiki Caron' – $90,00 \pm 0,2\%$, Гібрид № 150 – $75,00 \pm 0,1\%$, 'Canby Centennial' – $67,90 \pm 0,1\%$. Це означає, що всі вказані сорти можуть бути перспективним джерелом цих біологічно активних сполук наприкінці вегетації восени, а 'Canby Centennial' ($66,50 \pm 0,2\%$) та 'Kiki Caron' ($50,00 \pm 0,3\%$) – навіть за тривалого зберігання.

Розчинні цукри в сортових зразках жоржин представлені переважно глюкозою, фруктозою

та сахарозою (рис. 2). Їхня сума в коренебульбах восени наприкінці вегетаційного періоду становила від 8,0% у 'Canby Centennial' до 11,5% у Гібрида № 150. В інших сортів – понад 9%. Під час чотиримісячного зберігання коренебульб уміст розчинних цукрів збільшився в 1,3–1,8 раза (від 14,72% у 'Canby Centennial' до 21,86% у Гібрида № 150), що свідчить про відновлення фізіолого-біохімічних процесів.

Результати досліджень

Досліджені рослини відрізнялися за габітусом (розмірами та будовою кущів), кольором, формою листків, квіток і коренебульб, фітохімічними особливостями. Усі зазначені сорти та гібриди накопичили максимальну кількість полісахаридів у коренебульбах наприкінці вегетації (після викопування восени), коли їх закладали на зберігання. Найбільшим умістом цих БАС характеризувався сорт 'Осінь в Софіївці' ($101,00 \pm 0,1\%$), інші мали показники від $67,90 \pm 0,1\%$ ('Canby Centennial') до $90,0 \pm 0,2\%$ ('Kiki Caron').

Подібну тенденцію спостерігали й у весняний період. Тоді в коренебульбах майже всіх досліджених жоржин зросла кількість фруктози, глюкози та сахарози. Виняток через свої особливості становив лише сорт 'Осінь в Софіївці'. Уміст фруктози в ньому зменшився від $1,53 \pm 0,01\%$ до $1,28 \pm 0,15\%$, а глюкози – від $3,96 \pm 0,1\%$ до $1,64 \pm 0,05\%$.

Рослини роду *Dahlia* формують потужну наземну частину. За результатами проведених досліджень встановлено, що загальний уміст полісахаридів у листках Гібрида № 150 не перевищував $6 \pm 0,02\%$, 'Kiki Caron' –

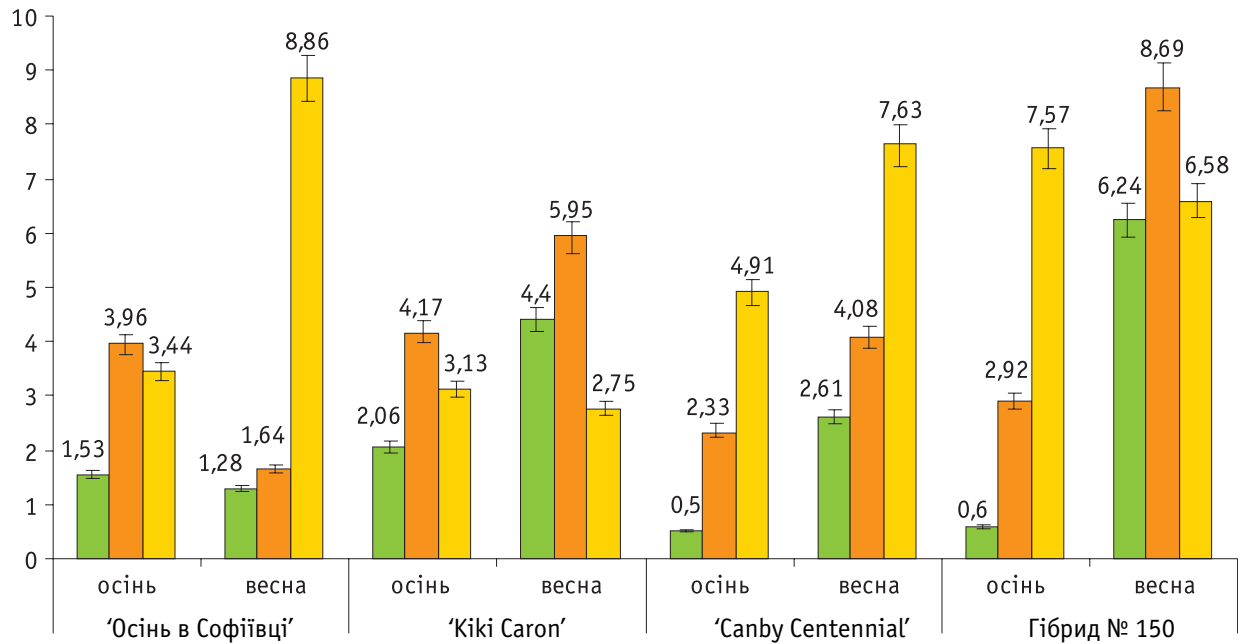


Рис. 2. Співвідношення розчинних цукрів у коренебульбах сортів жоржин, %

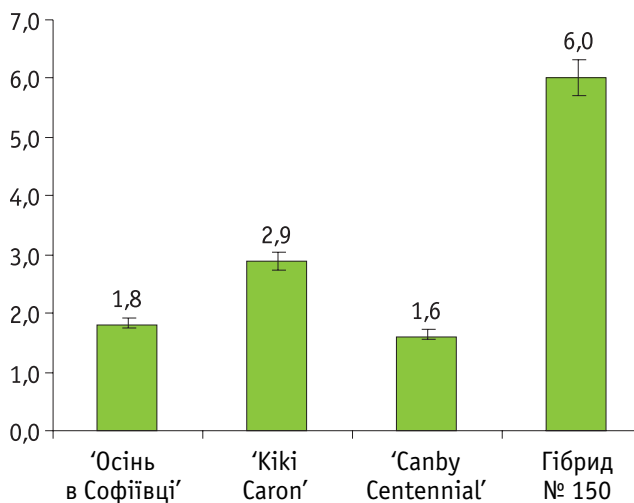


Рис. 3. Вміст полісахаридів у листках сортів жоржин (%) у перерахунку на повітряно-суху масу

2,9 ± 0,01%, 'Осінь в Софіївці' – 1,8 ± 0,01%, 'Canby Centennial' – 1,6 ± 0,01% (табл. 3).

Між сортами не виявлено суттєвих відмінностей за сумою розчинних цукрів у листках. Вона варіювала від 1,40 ± 0,10% ('Осінь в Софіївці') до 1,66 ± 0,15% (Гібрид № 150), а значну її частку становили відновлювані цукри

Таблиця 1

Частка розчинних цукрів у листках різних сортів жоржин (%) у перерахунку на повітряно-суху масу

Сорти	Сума цукрів	Відновлювальні цукри	Сахароза
'Осінь в Софіївці'	1,40 ± 0,10	0,87 ± 0,06	0,50 ± 0,01
'Кікі Карон'	1,45 ± 0,18	0,59 ± 0,03	0,82 ± 0,03
'Canby Centennial'	1,64 ± 0,21	0,84 ± 0,05	0,76 ± 0,03
Гібрид № 150	1,66 ± 0,15	1,03 ± 0,08	0,60 ± 0,05

[0,59 ± 0,03% ('Кікі Карон') – 1,03 ± 0,08% (Гібрид № 150)] та сахароза [0,50 ± 0,01% ('Осінь в Софіївці') – 0,82 ± 0,03% ('Кікі Карон')] (табл. 1).

Висновки

Установлено, що полісахариди локалізуються переважно в коренебульбах досліджуваних рослин роду *Dahlia*, демонструючи максимальне накопичення наприкінці вегетації (друга декада вересня): 'Осінь в Софіївці' – 101,00 ± 0,1%, 'Кікі Карон' – 90,00 ± 0,2%, Гібрид № 150 – 75,00 ± 0,1%, 'Canby Centennial' – 67,90 ± 0,1%. Зимове зберігання суттєво не впливає на вміст вказаних біологічно активних сполук у коренебульбах сортів 'Кікі Карон' (50,00 ± 0,3%) та 'Canby Centennial' (66,50 ± 0,2%). У наземній частині найбільшу кількість полісахаридів формує Гібрид № 150 (6 ± 0,02%).

Отже, коренебульби рослин роду *Dahlia* переважають інші досліджені об'єкти за вмістом полісахаридів, а тому є потенційним нетрадиційним джерелом цих важливих сполук.

References

- Marchyshyn, S. M., Demydiak, O. L., Dakhym, I. S., Berdei, T. S., & Kozyr, H. R. (2015). Research of polysaccharide complexes from *Asteraceae* family plants. *ScienceRise*, 10(4), 31–36. <https://doi.org/10.15587/2313-8416.2015.52002> [In Ukrainian]
- Thakur, P., Shah, A. H., Adhikari, Y., Kumar, M., & Verma, S. (2022). *Dahlia* cultivation in India and abroad: A Review. *International Journal of Plant & Soil Science*, 34(19), 240–251. <https://doi.org/10.9734/ijpss/2022/v34i1931108>
- Doroshenko, A. S., Dzhurenko, N. I., Palamarchuk, O. P., & Koval, I. V. (2012). Studies of representatives of the genus *Dahlia* Cav.

- in National Botanical Garden named after M. M. Gryshko of National Academy of Sciences Ukraine. *News Biosphere Reserve "Askania Nova"*, 14, 504–507. [In Ukrainian]
4. Muzychuk, H. M., & Doroshenko, A. S. (2004). Preliminary evaluation of varietal diversity of the *Dahlia* Cav. collection fund of the M. M. Gryshko National Botanical Garden of the NAS of Ukraine. *Visnyk of the Lviv University. Series Biology*, 36, 24–30. [In Ukrainian]
 5. Onozaki, T., & Azuma, M. (2019). Breeding for Long Vase Life in *Dahlia* (*Dahlia variabilis*) Cut Flowers. *The Horticulture Journal*, 88(4), 521–534. <https://doi.org/10.2503/hortj.utd-091>
 6. Horobets, V. F., Mashkovska, S. P., Tymchenko, O. D., Buidin, Yu. V., & Shcherbakova, T. O. (2005). Department of Floriculture and Ornamental Plants: Past and Present. *Plant Introduction*, 3, 43–51. [In Ukrainian]
 7. Berlin E. A., & Berlin, B. (2015). *Medical ethnobiology of the highland Maya of Chiapas, Mexico: the gastrointestinal diseases*. Princeton University Press.
 8. Rahman, A. H. M. (2013). An Ethno-botanical investigation on *Asteraceae* family at Rajshahi, Bangladesh. *Academia Journal of Medicinal Plants*, 1(5), 92–100.
 9. Gontova, T. M., Kichymasova, Ya. S., & Ilyinska, N. I. (2014). Studying of the vitaminous and elemental composition of the herb and tubers of *Dahlia* Ken's Flame genus. *Collection of Scientific Works of Staff Member of P. L. Shupyk NMAPE*, 23(4), 245–249. [In Ukrainian]
 10. Gontova, T. M., & Ilyinska, N. I. (2013). A study of the components composition of essential oil in tubers *Dahlia nymphaeaceae*. *Ukrainian Biopharmaceutical Journal*, 3, 49–51. [In Ukrainian]
 11. Gontova, T., Ilyinska, N., Golembiowska, O., & Mashtaler V. (2016). Study of the component composition of phenolic compounds obtained from *Dahlia* varieties Ken's Flame herb. *Der Pharma Chemica*, 8(18), 455–459.
 12. Beridze, O., & Kovalchuk, I. (2019). Evaluation of Collection Stock of Plants of the Genus *Dahlia* Cav. in the Kremenets Botanical Garden. *Notes in Current Biology*, 3, 59–64. <https://doi.org/10.29038/2617-4723-2019-387-59-64>
 13. Espejel, E. A. R., Alvarez, O. C., Muñoz, J. M. M., Mateos, M. D. R. G., León, M. T. B. C., & Damián, M. T. M. (2019). Physicochemical quality, antioxidant capacity and nutritional value of edible flowers of some wild dahlia species. *Folia Horticulturae*, 31(2), 331–342. <http://dx.doi.org/10.2478/fhort-2019-0026>
 14. Maloshtan, L., Shakina, L. Gontova, T. Romanova, S., & Yarenenko, M. (2021). The study of the cytotoxic activity of the dry extract and the anthocyanin complex of Gebu *Dahlia* variety flowers. *Ukrainian Biopharmaceutical Journal*, 1, 16–21. <https://doi.org/10.24959/ubphj.21.295> [In Ukrainian]
 15. Kelly, G. (2009). Inulin-type prebiotics-a review: part II. *Alternative Medicine Review*, 14(1), 36–55.
 16. Shoaib, M., Shehzad, A., Omar, M., Rakha, A., Raza, H., Sharif, H. R., Shakeel, A., Ansari, A., & Niazi, S. (2016). Inulin: Properties, health benefits and food applications. *Carbohydrate Polymers*, 147, 444–454. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.04.020>
 17. *State Pharmacopoeia of Ukraine* (2nd ed., Supplement 1). (2016). State Enterprise "Ukrainian Scientific Pharmacopoeial Center for Quality of Medicines". [In Ukrainian]
 18. Pochynok, Kh. N. (1976). *Determination of glucose, fructose and sucrose in plants from a single sample*. Naukova dumka. [In Ukrainian]

UDC 635.9:582.998.16:069:5

Dzhurenko, N. I., Palamarchuk, O. P., Sokol, O. V.* , Buidin, Yu. V., Mashkovska, S. P., & Doroshenko, A. S. (2025). The content of polysaccharides in plants of the genus *Dahlia* Cav. introduced in the M. M. Gryshko National Botanical Garden. *Plant Varieties Studying and Protection*, 21(1), 12–16. <https://doi.org/10.21498/2518-1017.21.1.2025.327496>

*M. M. Gryshko National Botanical Garden of the NAS of Ukraine, 1 Sadovo-Botanichna St., Kyiv, 01014, Ukraine, *e-mail: sokoloksana23@ukr.net*

Purpose. To investigate the polysaccharide content of different plant organs from varieties and hybrids of the *Dahlia* genus introduced to the M. M. Gryshko National Botanical Garden during the growing season. **Methods.** The quantitative content of polysaccharides was determined by the weight method, while glucose, fructose and sucrose were determined by the chromatographic method. **Results.** The maximum polysaccharide content in root tubers at the end of the growing season was recorded in 'Osin v Sofiivtsi' (101.00 ± 0.1%); the others had values ranging from 67.90 ± 0.1% in 'Canby Centennial' to 90.0 ± 0.2% in 'Kiki Karon'. During storage, these values decreased by almost half for 'Osin v Sofiivtsi', 'Kiki Caron' and Hybrid No. 150, while remaining at a similar level for 'Canby Centennial'. The main soluble sugars in the *Dahlia* cultivars' roots are glucose, fructose and sucrose. Their total content at the end of the

growing season in autumn ranged from 8.0% ('Canby Centennial') to 11.5% (Hybrid No. 150). Storing the root tubers for four months in a cool room at a temperature of 5–8 °C and humidity of 50–60% had a positive effect on the soluble sugar content, which increased by 1.3–1.8 times [from 14.72% ('Canby Centennial') to 21.86% (Hybrid No. 150)]. The total amount of polysaccharides in the leaves of Hybrid No. 150 did not exceed 6 ± 0.02%, and was even lower in the other varieties: 'Kiki Canon' – 2.9 ± 0.01%, 'Osin v Sofiivtsi' – 1.8 ± 0.01%, 'Canby Centennial' – 1.6 ± 0.01%. **Conclusions.** Based on the results of the study, it can be concluded that the roots of *Dahlia* plants, which can retain polysaccharides even in winter, are a potential non-traditional source of these biologically active compounds.

Keywords: plants of the genus *Dahlia*; root tubers; leaves; polysaccharide complex.

Надійшла / Received 22.01.2025
Погоджено до друку / Accepted 18.04.2025

Characteristics of the source material for breeding winter wheat for group resistance to leaf and stem pathogens

Ye. A. Holub*, N. I. Sauliak, O. A. Vasyliiev, M. A. Lytvynenko, V. A. Traskovetska, Z. V. Shcherbyna, M. A. Bushulian, Ye. I. Kirchuk

Plant Breeding and Genetic Institute – National Centre of Seed and Cultivar Investigation, 3 Ovidiopska doroha St., Odesa, 65036, Ukraine, *e-mail: eva.golub.1979@ukr.net

Purpose. Investigation of the efficiency of using introgressive lines with group resistance to leaf pathogens as source material in breeding winter wheat (*Triticum aestivum* L.) for the aforementioned trait. **Methods.** Field and laboratory (evaluation of resistance to certain races of leaf rust and powdery mildew at the juvenile growth stage in greenhouses and on light plants); PCR analysis (identification of resistance genes to these diseases in the studied material); statistical analysis; and crossbreeding analysis (study of patterns of inheritance and interaction of resistance genes). **Results.** The original breeding lines of different generations (F_4 – F_5), which were created based on the genetics of wild wheat relatives: *Aegilops cylindrica*, *Ae. variabilis*, *Triticum ventricosum*, *Tr. erebuni*, *Tr. tauschii*, *Thinopyrum elongatum*, *Triticosecale* in the PBGI – NCSCI, were studied for group resistance to local populations of leaf diseases and a set of basic agronomic traits. Six lines with effective group resistance genes (*Lr24*, *Lr68*, *Sr15*, *Sr31*, *Sr58*, *Pm38*), as well as their combinations, were identified. These lines provide the selected genotypes with a consistently high level of resistance, excellent grain quality and productivity, regardless of the severity of the infection load. Investigating the genetic basis of the group resistance trait on F_1 – F_2 hybrid material, obtained by crossing the studied lines with susceptible local varieties, revealed that its inheritance is determined by the action of two dominant complementary genes. This indicates the possibility of effectively using this material as donors of high resistance. **Conclusions.** As a result of the research, we obtained source material in the form of six lines of winter bread wheat that effectively combine a high level of group resistance to leaf pathogens and a set of basic agronomic traits in their genotype. This makes them valuable breeding material. These lines are included as parental components in the crossbreeding plans of the PBGI – NCSCI and are transferred to leading NAAS of Ukraine scientific breeding centres for use in breeding programmes.

Keywords: winter wheat; group resistance; resistance genes; leaf and stem diseases; productivity.

Introduction

Plant breeding plays a crucial role in the modern integrated system for protecting wheat against phytopathogens [1]. Developing and implementing varieties with a genetically de-

termined high level of resistance provides an opportunity to address a number of important issues facing the agricultural sector today, both in our country and abroad [2, 3]. Firstly, the economic aspect must be considered, as genetic protection against numerous pathogens and pests can prevent significant losses in grain yield and deterioration in quality [4]. Cultivating resistant varieties enables us to reduce the

Yevheniia Holub
<https://orcid.org/0000-0002-3415-4193>

Nadiia Sauliak
<https://orcid.org/0000-0001-5164-1105>

Oleksii Vasyliiev
<https://orcid.org/0000-0003-2070-565X>

Mykola Lytvynenko
<https://orcid.org/0000-0002-8605-6587>

Vita Traskovetska
<https://orcid.org/0000-0001-6529-1919>

Maryna Bushulian
<https://orcid.org/0009-0000-9314-7113>

Yevhenii Kirchuk
<https://orcid.org/0000-0003-1681-9160>



© The Author(s) 2025. Published by Ukrainian Institute for Plant Variety Examination. This is an open access article distributed under the terms of the license CC BY-SA 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>), which permits use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

amount of pesticide used to protect plants during the growing process. Developing wheat varieties with group resistance is highly relevant for pesticide-free or minimal-pesticide cultivation technologies, especially for producing clean grain for food intended for children, the sick and the elderly [5].

An analysis of the current state of research on breeding for resistance to phytopathogens has revealed a wide range of innovative developments. These include new methods for identifying sources of resistance containing a complex of genes that ensure long-term stability; modified methodologies; and original schemes enabling the combination of race-specific resistance genes and the creation of genotypes with a high level of race-nonspecific resistance and tolerance [6–8].

Research is also being conducted to improve the efficiency with which pathogen populations are monitored, including species, races, biotypes and strains, as well as changes in their virulence and aggressiveness, in order to adjust breeding programs accordingly [9, 10].

Moreover, the feasibility of incorporating resistant material from different countries is being explored, including genetic sources and donors of new, highly effective resistance genes from wheat's close and distant relatives [11, 12].

Practical experience and analysis of wheat pathogen protection systems demonstrate that resistance to a single pathogen is not a universal solution. A more significant effect is achieved by including varieties with group resistance to several pathogens in breeding programs [13, 14]. Developing such varieties is a complex, long-term process. The success of this type of breeding programs depends primarily on the availability of high-quality source material and donors of highly effective – preferably dominant – resistance genes. The aim of this study is therefore to examine the effectiveness of using introgressive lines with group resistance to leaf and stem pathogens in breeding winter bread wheat.

The research presented is based on scientific work carried out at the Plant Breeding and Genetic Institute – National Centre of Seed and Cultivar Investigation (PBGI – NCSCI) since the 1930s. During this period, the Institute's phytopathologists have conducted extensive research into various aspects of immunity and breeding for this trait. The department has developed immune source material, which is used in various breeding programs at the institution and at leading scientific centers within the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine (NAAS).

The aim of this study is to improve phytopathological evaluation systems and the selection of resistant genotypes at all stages of the

breeding process, in controlled and artificially infectious environments.

Materials and Methods

The research was carried out from 2019/20 to 2022/23 on the experimental fields of the Plant Breeding and Genetic Institute – National Centre of Seed and Cultivar Investigation in Odesa, Ukraine. These fields had previously been left uncultivated. This study examined these issues in both the field and the laboratory. When setting up the field trials with plots measuring 10 m², the SSFK-7 selection seeder was used. Phenological monitoring, evaluation and harvesting were carried out in accordance with the state strain testing methodology. The plots were harvested using a SAMPO-130 selection harvester.

The research material consisted of lines of winter bread wheat of various generations (F₄ – F₅) created using the genetic material of wild wheat relatives: *Aegilops cylindrica* Host., *Aegilops variabilis* var. *typica* Eig., *Triticum ventricosum* (Tausch) Ces., Pass. & Gibelli, *Triticum erebuni* Gandilyan, *Triticum tauschii* (Coss.) Schmalh., *Thinopyrum elongatum* (Host) D.R. Dewey and *Triticosecale* Wittm. & A. Camus. These lines were studied for their resistance to leaf and stem diseases at several stages. Under field conditions and a complex infection background involving a mixture of highly susceptible varieties, the adult plant resistance of the genotypes was examined. Their resistance to individual races of leaf rust and powdery mildew was assessed in greenhouse conditions and under light installations during the juvenile stage of plant development (BBCH 12–13). The racial and biotype composition, as well as the inoculation times, of the pathogens causing leaf and stem diseases are described in the monograph by O. V. Babayants and L. T. Babayants [15]. The resistance of adult plants was evaluated on a 9-point scale: 1–2 = very susceptible; 3 = highly susceptible; 4 = susceptible; 5 = moderately susceptible; 6 = moderately resistant; 7 = resistant; 8 = highly resistant; 9 = immune [16]. The identification of resistance genes to these diseases in the study material was carried out at the PBGI – NCSCI using PCR analysis according to standard methods [17].

The data was statistically processed using Excel software. The limits of the maximum random deviation of the results obtained were determined using the least significant difference (LSD) method. The results of the F₂ segregation were then checked for compliance with the hypothesis using Pearson's correlation coefficient (χ^2) [18].

The genetic analysis was performed using crossing combinations: *Erythrospermum* 57/12 /

'Vatazhok', *Er.* 57/12 / 'Viktoriia Odeska', *Er.* 43/14 / 'Luzanivka', *Er.* 70/14 / 'Odeska Napivkarlykova', *Er.* 2/14 / 'Kuialnyk', *Er.* 67/14 / 'Odeska Napivkarlykova', *Er.* 100/14 / 'Viktoriia Odeska'.

The reliability of the segregation was checked using Pearson's chi-square test (χ^2) according to the formula:

$$\chi^2 = \sum \frac{(f - F)^2}{F},$$

where: F – expected; f – observed.

The inheritance patterns and interactions of the resistance genes were determined through hybridological analysis of the F_1 – F_2 populations [19].

The protein content of bread wheat grains was determined using a SupNIR-2700 express analyzer. The sedimentation rate was determined using the SDS 30 express method of quality assessment. The flour was evaluated in

a bakery using the microbaking method with a no-steam approach. The volume of the bread was determined using 100 g of flour, and the appearance, texture, elasticity and colour of the crumb were assessed. The bread's appearance was assessed based on three criteria: the shape, surface and color of the crust [20].

We followed the State Standards of Ukraine (DSTU) 4138-2002 [21] when calculating the thousand grain weight. The grain bulk density was determined using a one-liter measuring jar (IIX-1) [22].

Results and Discussion

As part of the methodological research aimed at developing initial material for breeding winter bread wheat with group resistance to leaf and stem diseases, 27 introgressive lines with high levels of resistance to diseases were obtained through complex, stepwise crossings (Table 1).

Table 1

Resistance of introgressive lines of winter bread wheat to leaf and stem disease pathogens (2019/20–2022/23)

Breeding line	Pedigree	Disease resistance, score		
		Leaf rust	Stem rust	Powdery mildew
<i>Lutescens</i> 4/16	('Amphidipliod 4' / 'Albatros Odeskyi ² ') / (('Odeska Napivkarlykova' / <i>Aegilops cylindrica</i>) / 'Odeska Napivkarlykova') / 'Tira' / 'Amigo'	8 ± 0.50	8 ± 0.50	5 ± 0.38
<i>ErythrospERMUM</i> 9/16	(('Obrii' / <i>Triticum erebuni</i>) / 'Odeska 162') / 'Ukrainka Odeska' / (('Donetska Napivkarlykova' / <i>Aegilops variabilis</i>) / 'Ukrainka Odeska') / 'Nikoniiia'	8 ± 0.38	5 ± 0.01	9 ± 0.02
<i>ErythrospERMUM</i> 46/16	('Odeska Napivkarlykova' / <i>Aegilops cylindrica</i>) / 'Kuialnyk'	9 ± 0.38	5 ± 0.01	9 ± 0.01
<i>ErythrospERMUM</i> 47/16	(('Obrii' / <i>Triticum erebuni</i>) / 'Odeska 162') / 'Ukrainka Odeska ² ' / (('Donetska Napivkarlykova' / <i>Aegilops variabilis</i>) / 'Ukrainka Odeska') / 'Nikoniiia'	8 ± 0.50	8 ± 0.42	4 ± 0.38
<i>Lutescens</i> 48/16	('Kupava' / 'Kuialnyk')	5 ± 0.38	9 ± 0.01	5 ± 0.03
<i>ErythrospERMUM</i> 53/16	(('Obrii' / <i>Triticum erebuni</i>) / 'Odeska 162') / 'Ukrainka Odeska ² ' / (('Donetska Napivkarlykova' / <i>Aegilops variabilis</i>) / 'Ukrainka Odeska') / 'Nikoniiia'	8 ± 0.38	8 ± 0.35	5 ± 0.03
<i>Lutescens</i> 64/16	(('Kupava' / <i>Lutescens</i> 367/08) / ('Odeska Napivkarlykova' / <i>Aegilops cylindrica</i>) / 'Odeska Napivkarlykova') / 'Kiriiia'	5 ± 0.01	8 ± 0.35	4 ± 0.37
<i>ErythrospERMUM</i> 72/16	(<i>ErythrospERMUM</i> 5/253-06 / ('Kuialnyk' / MA1*)) / (('Skarbnytsia Odeska ² ' / <i>ErythrospERMUM</i> 120/06) / (('Donetska Napivkarlykova' / <i>Aegilops variabilis</i>) / 'Ukrainka Odeska') / 'Nikoniiia'	9 ± 0.02	5 ± 0.40	8 ± 0.38
<i>Lutescens</i> 112/16	(('Guebon' / 'Kuyalnyk' / <i>ErythrospERMUM</i> 317/06) / (('Odeska Napivkarlykova' / <i>Aegilops cylindrica</i>) / 'Odeska Napivkarlykova') / 'Kiriiia'	9 ± 0.38	5 ± 0.35	8 ± 0.37
<i>ErythrospERMUM</i> 114/16	(('Guebon' / 'Kuialnyk' / <i>ErythrospERMUM</i> 184/06) / ((<i>ErythrospERMUM</i> 5/55-91 / ('Odeska Napivkarlykova' / <i>Aegilops cylindrica</i>)) / 'Odeska Napivkarlykova') / <i>Lutescens</i> 23397	8 ± 0.01	5 ± 0.01	8 ± 0.02
<i>ErythrospERMUM</i> 116/16	(('Guebon' / 'Kuialnyk' / <i>ErythrospERMUM</i> 184/06) / ((<i>ErythrospERMUM</i> 5/55-91 / ('Odeska Napivkarlykova' / <i>Aegilops cylindrica</i>)) / 'Odeska Napivkarlykova') / <i>Lutescens</i> 23397	9 ± 0.36	5 ± 0.35	9 ± 0.32
<i>ErythrospERMUM</i> 120/16	(('Kniahynia Olha' / <i>ErythrospERMUM</i> 350/06) / (('Obrii' / <i>Triticum erebuni</i>) / 'Odeska 162')) / 'Ukrainka Odeska ² ' / 'Selianka'	8 ± 0.50	5 ± 0.02	4 ± 0.38
<i>ErythrospERMUM</i> 129/16	(('Kniahynia Olha' / <i>ErythrospERMUM</i> 350/06) / (('Obrii' / <i>Triticum erebuni</i>) / 'Odeska 162')) / 'Ukrainka Odeska ² ' / 'Selianka'	9 ± 0.03	8 ± 0.10	4 ± 0.02
<i>ErythrospERMUM</i> 130/16	(('Kniahynia Olha' / <i>ErythrospERMUM</i> 350/06) / (('Obrii' / <i>Triticum erebuni</i>) / 'Odeska 162')) / 'Ukrainka Odeska ² ' / 'Selianka'	8 ± 0.50	8 ± 0.37	4 ± 0.38
<i>ErythrospERMUM</i> 135/16	((('Obrii' / <i>Triticum erebuni</i>) / 'Odeska 162') / 'Odeska Napivkarlykova') / 'Antonivka' / 'Amigo'	8 ± 0.00	8 ± 0.38	5 ± 0.00

Continuation table 1

Breeding line	Pedigree	Disease resistance, score		
		Leaf rust	Stem rust	Powdery mildew
<i>ErythrospERMum</i> 142/16	(‘Vykhovanka Odeska’ / <i>ErythrospERMum</i> 137/06) / ((‘Donetska Napivkarlykova’ / <i>Aegilops variabilis</i>) / ‘Ukrainka Odeska’) / ‘Nikoniiia’	8 ± 0.50	8 ± 0.39	4 ± 0.36
<i>ErythrospERMum</i> 145/16	(‘Vykhovanka Odeska’ / (<i>ErythrospERMum</i> 5/258-06 / (‘Kuialnyk’ / MA1)))	5 ± 0.38	8 ± 0.34	8 ± 0.35
<i>Lutescens</i> 148/16	[RI17091* / Bu1*] / ‘Albatros Odeskyi’] / [F13021-12* / ‘Ukrainka Odeska’] / ((‘Donezka Napivkarlykova’ / <i>Aegilops variabilis</i>) / ‘Ukrainka Odeska’) / ‘Nikoniiia’	9 ± 0.01	4 ± 0.38	9 ± 0.03
<i>ErythrospERMum</i> 154/16	(‘ErythrospERMum 5/253-06 / (‘Kuialnyk’ / MA1)) / ((‘Skarbnytsa Odeska ² ’ / <i>ErythrospERMum</i> 120/06) / ((‘Donetska Napivkarlykova’ / <i>Aegilops variabilis</i>) / ‘Ukrainka Odeska’) / ‘Nikoniiia’	8 ± 0.02	4 ± 0.04	4 ± 0.01
<i>ErythrospERMum</i> 192/16	(<i>ErythrospERMum</i> 5/253-06 / (‘Kuialnyk’ / MA1)) / ‘Antonivka’ / ((‘Donetska Napivkarlykova’ / <i>Aegilops variabilis</i>) / ‘Ukrainka Odeska’) / ‘Nikoniiia’	8 ± 0.01	4 ± 0.03	8 ± 0.32
<i>ErythrospERMum</i> 200/16	((‘Guebon’ / ‘Kuialnyk’) / <i>ErythrospERMum</i> 184/06) / ((<i>ErythrospERMum</i> 5/55-91 / (‘Odeska Napivkarlykova’ / <i>Aegilops cylindrica</i>)) / ‘Odeska Napivkarlykova’) / <i>Lutescens</i> 23397	8 ± 0.37	5 ± 0.01	8 ± 0.38
<i>ErythrospERMum</i> 200/16	((‘Kupava’ / <i>ErythrospERMum</i> 367/08) / ((‘Odeska Napivkarlykova’ / <i>Aegilops cylindrica</i>) / ‘Odeska Napivkarlykova’) / ‘Kiriia’	4 ± 0.02	8 ± 0.39	4 ± 0.38
<i>ErythrospERMum</i> 57/12	((‘Volynska Napivintensyvena’ / <i>ErythrospERMum</i> 186/06) / ((‘Donetska Napivkarlykova’ / <i>Aegilops variabilis</i>) / ‘Ukrainka Odeska’) / ‘Nikoniiia’	8 ± 0.38	9 ± 0.01	9 ± 0.41
<i>ErythrospERMum</i> 2/14	(‘Amphidipliod 4’ / ‘Albatros ² ’) / ((‘Odeska Napivkarlykova’ / <i>Aegilops cylindrica</i>) / ‘Odeska Napivkarlykova’) / ‘Tira’ / ‘Amigo’	9 ± 0.01	8 ± 0.37	8 ± 0.38
<i>ErythrospERMum</i> 43/14	((‘Kupava’ / <i>ErythrospERMum</i> 367/08) / ((‘Odeska Napivkarlykova’ / <i>Aegilops cylindrica</i>) / ‘Odeska Napivkarlykova’) / ‘Kiriia’	9 ± 0.37	8 ± 0.36	9 ± 0.35
<i>ErythrospERMum</i> 67/14	((‘Raduza’ / <i>ErythrospERMum</i> 138/06) / ((‘Donetska Napivkarlykova’ / <i>Aegilops variabilis</i>) / ‘Ukrainka Odeska’) / ‘Nikoniiia’	9 ± 0.38	8 ± 0.37	9 ± 0.35
<i>ErythrospERMum</i> 100/14	((‘Odeska Napivkarlykova’ / <i>Aegilops cylindrica</i>) / (Bt 12,13*) / ‘Poshana’ / ‘Kiriia’ / ((‘Donetska Napivkarlykova’ / <i>Aegilops variabilis</i>) / ‘Ukrainka Odeska’) / ‘Nikoniiia’	8 ± 0.38	8 ± 0.01	8 ± 0.00
<i>ErythrospERMum</i> 70/19	((<i>ErythrospERMum</i> 5/176-06 / (‘Kuialnyk’ / MA1)) / (<i>ErythrospERMum</i> 156/06 / ((‘Donetska Napivkarlykova’ / <i>Aegilops variabilis</i>) / ‘Ukrainka Odeska’) / ‘Nikoniiia’ / ((<i>ErythrospERMum</i> 5/55-91 / ‘Odeska Napivkarlykova’) / <i>Lutescens</i> 23397 / ((‘Donetska Napivkarlykova’ / <i>Aegilops variabilis</i>) / ‘Ukrainka Odeska’) / ‘Nikoniiia’	9 ± 0.37	8 ± 0.40	8 ± 0.38
‘Odeska Napivkarlykova’	<i>ErythrospERMum</i> 903/74 / (‘Krasnodarskyi Karlyk 1’ / ‘Odeska 51’)	2 ± 0.01	1 ± 0.01	2 ± 0.38

Note. RI17091, Bu1, F13021-12, MA1, Bt 12,13 – original names of collection specimens; ‘Albatros Odeskyi²’, ‘Ukrainka Odeska²’ – second backcross.

Analysis of this material revealed that wheat genotypes exhibited varying levels of resistance to local races of rust (leaf and stem) and powdery mildew. These levels ranged from moderately susceptible (4–5 points) to highly resistant (8–9 points) (Figure).

Indeed, the largest proportion (33%) of the material under study consisted of genotypes that exhibited high resistance to leaf rust and powdery mildew pathogens under complex infection conditions. Twenty-six per cent of the lines (*Er.* 4/16, *Er.* 47/16, *Er.* 53/16, *Er.* 129/16, *Er.* 130/16, *Er.* 135/16) exhibited high resistance to rust species (scores of 8–9), but were affected by powdery mildew (scores of 4–5). Group resistance to all the studied leaf and stem diseases was observed in 22% of the lines (*Er.* 57/12, *Er.* 43/14, *Er.* 2/14, *Er.* 70/19, *Er.* 67/14, *Er.* 15/14). During extended testing under artificial infection conditions, these lines demonstrated resistance

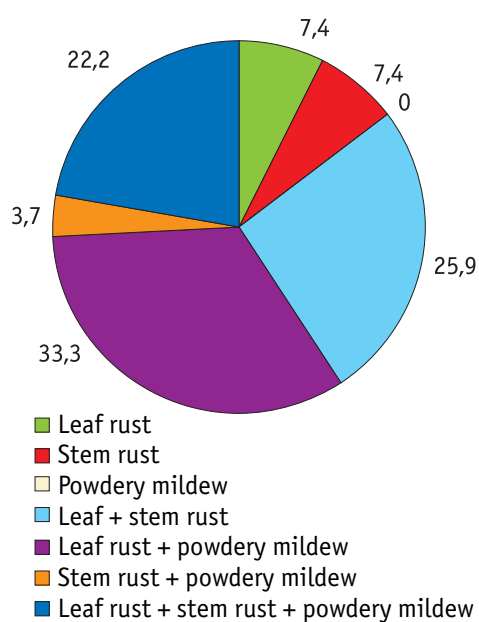


Fig. Percentage of genotypes resistant to individual pathogens and their groups (2019/20–2022/23)

to the studied pathogens at a level of 8–9 points, and they may therefore be valuable sources of effective *Lr*-, *Sr*-, and *Pm*-genes for breeding (Table 2).

Table 2

Assessment of the resistance of selected wheat lines to major disease pathogens (2020/21–2022/23)

Line Name	Leaf rust	Stem rust	Powdery mildew
<i>ErythrospERMum</i> 57/12	8 ± 0.35	8 ± 0.39	8 ± 0.39
<i>ErythrospERMum</i> 43/14	8 ± 0.01	8 ± 0.35	8 ± 0.41
<i>ErythrospERMum</i> 67/14	8 ± 0.02	9 ± 0.37	6 ± 0.40
<i>ErythrospERMum</i> 2/14	8 ± 0.38	8 ± 0.40	8 ± 0.38
<i>ErythrospERMum</i> 15/14	8 ± 0.36	9 ± 0.01	7 ± 0.38
<i>ErythrospERMum</i> 70/19	8 ± 0.32	8 ± 0.02	8 ± 0.01
'Kuialnyk' – Standard	5 ± 0.01	5 ± 0.02	5 ± 0.01

It should be noted that the consistently high level of resistance to leaf and stem diseases in the selected genotypes was due to the presence of a complex of active genes controlling this trait, which were derived from the wild relatives of wheat. The presence of these genes was confirmed by PCR analysis (Table 3).

Notably, a significant proportion of the examined lines were found to be sources of the highly effective resistance genes *Lr24* and *Sr24*, which originate from *Thinopyrum elongatum*. Additionally, genes *Lr26 + Lr34*, *Lr26 + Lr21*, *Sr31*, *Pm17*, and *Sr^{Amigo}* were identified in *Triticosecale* and *Triticum erebuni*. The most effective genes were *Lr24*, *Lr68*, *Sr15*, *Sr31*, *Sr58* and *Pm38*, as well as their combinations. The

Table 3

Identification of effective resistance genes and their groups in the genotypes of introgressive lines selected during the study (2021–2023)

Breeding line	% Homogenies	Genes
<i>ErythrospERMum</i> 57/12	1 (≈ 90%)	<i>Lr21 + Lr24 + Lr^{Amigo}, Sr24 + Sr^{Amigo}, Pm17</i>
<i>ErythrospERMum</i> 43/14	1 (≈ 90%)	<i>Lr21 + Lr24 + Lr68 + Lr^{Amigo}, Sr24 + Sr^{Amigo}, Pm17</i>
<i>ErythrospERMum</i> 67/14	1 (≈ 90%)	<i>Lr10 + Lr26 + Lr34 + Lr68, Sr31 + Sr58, Pm3 + Pm8 + Pm38</i>
<i>ErythrospERMum</i> 2/14	1 (≈ 90%)	<i>Lr10 + Lr20 + Lr21 + Lr26 + Lr68, Sr15 + Sr31, Pm1 + Pm3 + Pm8; Yr9</i>
<i>ErythrospERMum</i> 15/14	1 (> 80%)	<i>Lr10 + Lr24 + Lr68, Sr24, Pm3</i>
<i>ErythrospERMum</i> 70/19	1 (≈ 90%)	<i>Lr10 + Lr20 + Lr26 + Lr34 + Lr68, Sr15 + Sr31 + Sr58, Pm1 + Pm3 + Pm38; Yr9 + Yr18, Bdv1</i>

presence of these genes in the genotypes of the studied lines ensured a consistently high level of resistance to the investigated diseases under artificially created, complex infection conditions throughout the entire growing season.

The study examined the impact of introgressive lines on enhancing the genetically determined level of group resistance to leaf and stem diseases in winter wheat. This was conducted using hybrid material derived from straightforward crosses of parental components that exhibited varying levels of the trait under investigation (Table 4). The resistance of the F_1 hybrids and F_2 populations to these diseases was evaluated in the laboratory for resistance to brown rust and powdery mildew, and in the field for resistance to stem rust, against the infectious background of local races of the studied pathogens.

Through hybrid analysis, we established the inheritance pattern of the trait, the types of gene interaction and the degree of phenotypic dominance.

Analysis of the first generation of hybrids revealed a high level of resistance to leaf and stem pathogens among the studied crossing combinations. This suggests that resistance is controlled by dominant *Lr*-, *Sr*-, and *Pm*-genes.

In the second generation of populations, crossing lines with susceptible varieties such as 'Vatazhok', 'Zysk', 'Odeska Napivkarlykova' and 'Victoria Odeska' produced a reliable cor-

respondence ($\chi^2 = 0-1.33$) between the number of resistant and susceptible plants and the theoretically expected ratio of 9:7. This indicates the action of two dominant complementary *Lr*-, *Sr*-, and *Pm*-genes.

Thus, by utilizing resistance genes from the wild relatives of wheat through interspecific crossbreeding, it is possible to obtain source material for selecting winter bread wheat with complex resistance to the aforementioned pathogens featuring effective resistance genes that control this trait.

A balanced combination of the genetically determined level of resistance to major leaf- and stem-pathogens and a complex of valuable agricultural traits is an important element in creating new breeding material. These traits form the basis for the competitiveness of new varieties.

Therefore, one of the tasks set during the study of the selected genotypes was to determine the genetic productivity level and baking properties of the grain and flour.

The average yield indicators of the introgressive material are presented in Table 5.

The analysis of average yield revealed that the selected lines, based on their group resistance to leaf pathogens, can be effective sources of high productivity, regardless of the infection load during the cultivation period. Under conditions of natural infection, the average productivity of the aforementioned genotypes ranged from 6.0 to

Table 4

The nature of inheritance of resistance to leaf-stem diseases in hybrid F₁-F₂ populations involving introgressive lines with effective resistance genes (2020/21–2021/22)

	F ₁ Characteristics			Ratio of Resistant and Susceptible Phenotypes in the F ₂ Population						χ ²		
				Actual			Theoretical					
	Leaf rust	Stem rust	Powdery mildew	Leaf rust	Stem rust	Powdery mildew	Leaf rust	Stem rust	Powdery mildew	Leaf rust	Stem rust	Powdery mildew
<i>ErythrospERMum</i> 57/12 / 'Vatazhok'	R	R	0	89:61	91:59	50:35	9:7	9:7	9:7	0.58	1.19	0.23
<i>ErythrospERMum</i> 57/12 / 'Viktoriiia Odeska'	R	R	R	87:63	87:63	309:217	9:7	9:7	9:7	0.19	0.19	1.33
<i>ErythrospERMum</i> 43/14 / 'Luzanivka'	R	R	VR	90:60	90:60	86:64	9:7	9:7	9:7	0.86	0.86	0.07
<i>ErythrospERMum</i> 70/14 / 'Odeska Napivkarlykova'	R	R	0	86:62	89:59	74:52	9:7	9:7	9:7	0.21	0.91	0.32
<i>ErythrospERMum</i> 2/14 / 'Kuialnyk'	R	R	MR	87:63	88:62	87:63	9:7	9:7	9:7	0.19	0.36	0.14
<i>ErythrospERMum</i> 67/14 / 'Odeska Napivkarlykova'	R	R	0	85:58	89:62	74:52	9:7	9:7	9:7	0.2	0.8	0.32
<i>ErythrospERMum</i> 100/14 / 'Viktoriiia Odeska'	R	R	0	83:60	90:61	56:37	9:7	9:7	9:7	0.2	0.9	0.2

Note. Reaction type: 0 – very high resistance, VR – very resistance, R – resistance, MR – moderate resistance.

Table 5

Yield of lines with group resistance to leaf-stem diseases under different infection backgrounds (2020/21–2022/23)

Breeding line	Yield					
	Natural infectious background			Artificial infectious background		
	t/ha	± up to St		t/ha	± up to St	
		t/ha	%		t/ha	t/ha
<i>ErythrospERMum</i> 57/12	7.41	0.46	6.20	6.51	1.93	29.61
<i>ErythrospERMum</i> 43/14	6.28	-0.66	-10.51	6.22	1.64	26.40
<i>ErythrospERMum</i> 67/14	7.62	0.66	8.70	7.49	2.91	38.91
<i>ErythrospERMum</i> 2/14	6.22	-0.72	-11.60	6.03	1.45	24.01
<i>ErythrospERMum</i> 15/14	6.01	-0.94	-15.72	5.40	0.82	15.20
<i>ErythrospERMum</i> 70/19	6.36	-0.58	-9.10	5.34	0.76	14.20
'Kuialnyk' – Standard	6.94	–	–	4.58	–	–
LSD _{0.05}	0.33	–	–	0.24	–	–

7.6 t/ha, deviating slightly from the standard 'Kuialnyk' (6.9 t/ha), either increasing or decreasing this indicator. Specifically, some lines showed a significant yield increase of 0.5–0.7 t/ha (lines *Er.* 57/12 and *Er.* 43/14), while four of the genotypes studied (*Er.* 96/14, *Er.* 67/14, *Er.* 2/14 and *Er.* 15/14) produced yields 0.5–0.9 t/ha lower than the standard. The *Er.* 70/19 had a productivity level equal to the standard (6.9 t/ha).

Under conditions of artificial epiphytotic outbreaks of the pathogens of the aforementioned diseases, the yield of the standard variety 'Kuialnyk' decreased significantly from 6.9 t/ha to 4.6 t/ha (see Table 5), resulting in a 34% overall loss in gross harvest. In contrast, despite the presence of infection pressure, the lines with group resistance almost did not reduce their productivity level, with the yield increase compared to the standard varying from 0.7 t/ha (13.2%) to 2.9 t/ha (38.7%). These data convincingly de-

monstrate that introducing introgressive lines into winter wheat breeding programmes with a focus on group resistance to leaf phytopathogens can significantly stabilise the yield of high-quality grain, regardless of growing conditions.

Analysis of the main quality indicators showed that, in the absence of high infection pressure, the selected lines can produce grain of a quality comparable to that of strong, valuable wheat. In particular, the specific weight and mass of 1000 seeds of the presented material corresponded to the 1st class wheat standard (DSTU 3768:2019 "Wheat. Specifications" [24]). The *Er.* 43/14 and *Er.* 70/19 were particularly valuable in this respect, with specific weights of 800 g/l and 1000-seed weight of 43.7 g and 41.9 g, respectively (Table 6).

A significant proportion of the genotypes studied in terms of their baking properties were of a high quality, with values that varied within

Table 6

**Baking properties of grain and flour in winter wheat lines selected during the research
(2020/21–2022/23)**

Line name	Weight of grain in 1 litre, g/l	1000-grain weight, g	Protein content %	SDS 30, ml	Bread volume, ml	Overall bread score, points
<i>ErythrospERMum</i> 57/12	782 ± 0.67	36.9 ± 0.04	10.5 ± 0.22	82 ± 0.45	1260 ± 0.67	4.3 ± 0.04
<i>ErythrospERMum</i> 43/14	800 ± 1.32	43.7 ± 0.08	11.9 ± 0.04	89 ± 0.43	1400 ± 0.69	4.9 ± 0.07
<i>ErythrospERMum</i> 67/14	777 ± 1.67	36.8 ± 0.09	10.4 ± 0.08	78 ± 0.67	1180 ± 0.42	3.6 ± 0.11
<i>ErythrospERMum</i> 2/14	777 ± 0.42	36.2 ± 0.04	10.6 ± 0.04	87 ± 0.69	1340 ± 0.68	4.2 ± 0.06
<i>ErythrospERMum</i> 15/14	782 ± 1.56	40.0 ± 0.06	10.6 ± 0.12	68 ± 0.67	1040 ± 0.87	3.2 ± 0.10
<i>ErythrospERMum</i> 70/19	800 ± 0.67	41.9 ± 0.07	10.8 ± 0.09	77 ± 0.89	1120 ± 0.67	3.4 ± 0.13
'Kuialnyk' – Standard	785 ± 1.32	40.2 ± 0.11	11.5 ± 0.10	81 ± 0.67	1350 ± 0.44	4.6 ± 0.12

relatively narrow limits (protein content: 10.4–10.8%; sedimentation: 77–87 ml; bread volume: 1040–1340 ml; total baking score: 3.2–4.3 points). The exception was line *Er.* 43/14, which stood out due to its high protein content (11.9%) and its excellent baking properties: bread volume (1400 ml) and total baking score (4.9 points). This increases its breeding value as a genetic source.

Conclusions

The introgressive lines with group resistance to diseases that were created can be effective donors for selecting winter bread wheat for this trait. This source material exhibits a high level of resistance due to the action of genes (*Lr24*, *Lr68*, *Sr15*, *Sr31*, *Sr58* and *Pm38*), which control this trait and were transferred to the wheat genotype from the wild relatives *Thinopyrum elongatum*, *Triticosecale*, and *Tr. erebuni*. The presence of these genes was identified using PCR analysis.

The study of the patterns of inheritance of group resistance in F_1 – F_2 hybrid material, obtained by crossing the studied lines *ErythrospERMum* 57/12, *Er.* 43/14, *Er.* 2/14, *Er.* 15/14, and *Er.* 70/19 with susceptible varieties of local breeding, showed the dominant nature of inheritance of this trait, which is determined by the action of two complementary genes.

The experimental lines are characterized by consistently high productivity, with yields 13.2–37.8% higher than the standards regardless of the infection load level. Due to the presence of genes from wild wheat relatives in the genotypes of the lines, this material's baking properties met the standard requirements for valuable wheat. This is the case except for the *Er.* 43/14, which is equivalent to high-quality wheat in terms of grain and flour quality, with a protein content of 11.9%, a bread volume of 1400 ml and an overall baking score of 4.9 points.

The resulting source material combines a high level of group resistance to leaf-stem pathogens with a range of economically valuable traits, making it valuable breeding material. These lines have been included as parental compo-

nents in the crossbreeding plans of the PBGI – NCSCI and transferred to leading scientific breeding centers within the NAAS system of Ukraine for use in breeding programs.

References

- Morgun, V. V., & Topchii, T. V. (2018). The importance of resistant varieties of winter wheat, the study of sources and donors of resistance to pests and main pathogen. *Plant Physiology and Genetics*, 50(3), 218–240. <https://doi.org/10.15407/frg2018.03.218> [In Ukrainian]
- Ronald, P. (2011). Plant genetics, sustainable agriculture and global food security. *Genetics*, 188(1), 11–20. <https://doi.org/10.1534/genetics.111.128553>
- Chai, Y., Senay, S., Horvath, D., & Pardey, P. (2022). Multi-peril pathogen risks to global wheat production: A probabilistic loss and investment assessment. *Frontiers in Plant Science*, 13, Article 1034600. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1034600>
- Cottier, T. (1998). The protection of genetic resources and traditional knowledge: Towards more specific rights and obligations in world trade law. *Journal of International Economic Law*, 1(4), 555–584. <https://doi.org/10.1093/jiel/1.4.555>
- Nelson, R., Wiesner-Hanks, T., Wissner, R., & Balint-Kurti, P. (2017). Navigating complexity to breed disease-resistant crops. *Nature Reviews Genetics*, 19(1), 21–33. <https://doi.org/10.1038/nrg.2017.82>
- Spring, O., Gomez-Zeledon, J., Hadziabdic, D., Trigiano, R. N., Thines, M., & Lebeda, A. (2018). Biological characteristics and assessment of virulence diversity in pathosystems of economically important biotrophic oomycetes. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 37(6), 439–495. <https://doi.org/10.1080/07352689.2018.1530848>
- Chaukura, N., Gwenzi, W., Bunhu, T., Ruziwa, D. T., & Pumure, I. (2016). Potential uses and value-added products derived from waste polystyrene in developing countries: A review. *Resources, Conservation and Recycling*, 107, 157–165. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2015.10.031>
- Figuerola, M., Hammond-Kosack, K. E., & Solomon, P. S. (2018). A review of wheat diseases – A field perspective. *Molecular Plant Pathology*, 19(6), 1523–1536. <https://doi.org/10.1111/mpp.12618>
- Kaur, S., Samota, M. K., Choudhary, M., Choudhary, M., Pandey, A. K., Sharma, A., & Thakur, J. (2022). How do plants defend themselves against pathogens-biochemical mechanisms and genetic interventions. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 28(2), 485–504. <https://doi.org/10.1007/s12298-022-01146-y>
- Finkch, M. R. (2008). Integration of breeding and technology into diversification strategies for disease control in modern agriculture. In D. B. Collinge, L. Munk, & B. M. Cooke (Eds.), *Sustainable Disease Management in a European Context* (pp. 399–409). Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-8780-6_19
- Hovmöller, M. S., Patpour, M., Rodríguez-Algaba, J., Thach, T., Justesen, A. F., & Hansen, J. G. (2021). *GRRR report of yellow and stem rust genotyping and race analyses 2020*. Aarhus University.

- https://agro.au.dk/fileadmin/www.grcc.au.dk/International_Services/Pathotype_YR_results/GRRCA_annual_report_2020.pdf
12. Gjedrem, T., Robinson, N., & Rye, M. (2012). The importance of selective breeding in aquaculture to meet future demands for animal protein: A review. *Aquaculture*, 350–353, 117–129. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2012.04.008>
 13. Mourad, A. M. I., Sallam, A., Belamkar, V., Wegulo, S., Bowden, R., Jin, Y., Mahdy, E., Bakheit, B., El-Wafaa, A. A., Poland, J., & Baenziger, P. S. (2018). Genome-wide association study for identification and validation of novel SNP markers for *Sr6* stem rust resistance gene in bread wheat. *Frontiers in Plant Science*, 9, Article 380. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00380>
 14. Wu, X., Bian, Q., Gao, Y., Ni, X., Sun, Y., Xuan, Y., Cao, Y., & Li, T. (2021). Evaluation of resistance to powdery mildew and identification of resistance genes in wheat cultivars. *PeerJ*, 9, Article e10425. <https://doi.org/10.7717/peerj.10425>
 15. Babayants, O. V., & Babayants, L. T. (2014). *Fundamentals of breeding and methodology of wheat resistance to pathogens*. VMV. [In Ukrainian]
 16. Vezzulli, S., Gramaje, D., Tello, J., Gambino, G., Bettinelli, P., Pirrello, C., Schwandner, A., Barba, P., Angelini, E., Anfora, G., Mazzoni, V., Pozzebon, A., Palomares-Rius, J. E., Martinez-Diz, M. P., Toffolatti, S. L., De Lorenzis, G., De Paoli, E., Perrone, I., D'Inca, E., ... Reisch, B. I. (2022). Genomic designing for biotic stress-resistant grapevine. In C. Kole (Ed.), *Genomic Designing for Biotic Stress Resistant Pulse Crops* (pp. 87–255). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-91802-6_4
 17. Lagudah, E. S., McFadden, H., Singh, R. P., Huerta-Espino, J., Bariana, H. S., & Spielmeier, W. (2006). Molecular genetic characterization of the *Lr34/Yr18* slow rusting resistance gene region in wheat. *Theoretical and Applied Genetics*, 114(1), 21–30. <https://doi.org/10.1007/s00122-006-0406-z>
 18. Litun, P. P., Kyrychenko, V. V., Petrenkova, V. P., & Kolomatska, V. P. (2009). *Systems analysis in field crop breeding*. Mahda LTD. [In Ukrainian]
 19. Lisovyi, M. P. (2001). Genetics of Plant Resistance to Pathogens: Historical Development and Research Prospects. In V. V. Morhun (Ed.), *Genetics and Breeding in Ukraine at the Turn of the Millennium* (Vol. 2, pp. 263–279). Lohos. [In Ukrainian]
 20. Rybalka, O. I., Chervonis, M. V., Parfentiev, M. H., & Akselrud, D. V. (2006). *Method for indirect assessment of our "strength" – SDS-30 sedimentation* (Patent of Ukraine No. 17023). <https://uapatents.com/3-17023-sposib-nepriamo-ocinki-sili-boroshna-sedimentaciya-sds30.html> [In Ukrainian]
 21. Derzhspozhyvstandart of Ukraine. (2003). *Seeds of agricultural plants. Methods for seed testing: State Standard of Ukraine (DSTU) 4138:2002*. [In Ukrainian]
 22. Derzhspozhyvstandart of Ukraine. (2019). *Wheat. Specifications: State Standard of Ukraine (DSTU) 3768:2019*. [In Ukrainian]

УДК 633.11:575:58.0352

Голуб Є. А.*, Сауляк Н. І., Васильєв О. А., Литвиненко М. А., Трасковецька В. А., Щербина З. В., Бушулян М. А., Кірчук Є. І. Характеристика вихідного матеріалу для селекції пшениці озимої на групову стійкість проти збудників листостеблових хвороб. *Plant Varieties Studying and Protection*. 2025. Т. 21, № 1. С. 17–24. <https://doi.org/10.21498/2518-1017.21.1.2025.327497>

Селекційно-генетичний інститут – Національний центр насіннезнавства та сортовивчення, вул. Овідіопольська дорога, 3, м. Одеса, 65036, Україна, *e-mail: eva.golub.1979@ukr.net

Мета. Дослідити ефективність використання інтрогресивних ліній як вихідного матеріалу з груповою стійкістю проти листкових патогенів у процесі селекції пшениці озимої (*Triticum aestivum* L.) за вказаною ознакою. **Методи.** Польовий, лабораторний (оцінювання стійкості проти окремих рас листової іржі та борошнистої роси на ювенільному етапі росту в тепличних умовах і під світловими конструкціями), ПЛР-аналіз (ідентифікація генів стійкості проти вказаних хвороб у досліджуваному матеріалі), статистичний, аналізуювальне схрещування (вивчення закономірностей успадкування та взаємодії генів стійкості). **Результати.** Оригінальні селекційні лінії різних поколінь (F_4 – F_5), створені на генетичній основі дикорослих родичів пшениці *Aegilops cylindrica*, *Ae. variabilis*, *Triticum ventricosum*, *Tr. erebuni*, *Tr. tauschii*, *Thinopyrum elongatum*, *Triticosecale*, досліджено в СГІ – НЦНС за основними агрономічними ознаками та ознакою групової стійкості проти локальних популяцій листостеблових хвороб. Шість ліній, що містять ефективні гени групової стійкості (*Lr24*, *Lr68*, *Sr15*, *Sr31*, *Sr58*, *Pm38*) та їхні комбінації, виявилися стабільно стійкими проти листостеблових патогенів, про-

демонструвавши високу якість зерна та продуктивність незалежно від рівня інфекційного навантаження. Генетичну основу групової стійкості розглянуто на F_1 – F_2 гібридному матеріалі, отриманому внаслідок схрещування досліджуваних ліній зі сприйнятливими місцевими сортами. Установлено, що характер успадкування вказаної ознаки визначається дією двох домінантних комплементарних генів, що свідчить про можливість застосування цього матеріалу як донора високої стійкості. **Висновки.** За результатами досліджень одержано вихідний матеріал – шість ліній пшениці озимої, що ефективно поєднують у генотипі високий рівень групової стійкості проти листкових патогенів і набір основних агрономічних ознак, а тому є цінним генетичним матеріалом. Ці лінії (як батьківські компоненти) включено до планів схрещування СГІ – НЦНС та передано до провідних наукових селекційних центрів НААН України для використання у селекційних програмах.

Ключові слова: пшениця озима; групово стійкість; гени стійкості; хвороби листя та стебла; продуктивність.

Надійшла / Received 23.02.2025
Погоджено до друку / Accepted 28.03.2025

Генетичні джерела врожайності та стабільності для селекції ячменю озимого в Лісостепу України

В. М. Гудзенко^{1,2*}, А. А. Лисенко³, Т. П. Поліщук⁴, Н. М. Буняк¹,
Є. А. Кузьменко⁴, Т. В. Юрченко⁴, Л. В. Худолій², І. В. Коховська²

¹Носівська селекційно-дослідна станція Миронівського інституту пшениці імені В. М. Ремесла НААН України, вул. Миру, 1, с. Дослідне, Носівський р-н, Чернігівська обл., 17131, Україна, *e-mail: barley22@ukr.net

²Український інститут експертизи сортів рослин, вул. Горіхуватський шлях, 15, м. Київ, 03041, Україна

³ТОВ «Київ-Атлантик Україна», вул. Степова, 8, м. Миронівка, Обухівський р-н, Київська обл., 08800, Україна

⁴Миронівський інститут пшениці імені В. М. Ремесла НААН України, вул. Центральна, 68, с. Центральне, Обухівський р-н, Київська обл., 08853, Україна

Мета. Установити особливості рівня прояву й варіабельності врожайності колекційних зразків ячменю озимого та виділити генетичні джерела для селекції в умовах Лісостепу України. **Методи.** Дослідження проводили в умовах Миронівського інституту пшениці імені В. М. Ремесла НААН у 2018/19, 2020/21 та 2021/22 рр. Матеріалом для досліджень слугували 74 колекційні зразки ячменю ярого різного походження. Використовуючи статистичні параметри адаптивності та графічні моделі AMMI і GGE biplot, визначали взаємодію «генотип – рік» і здійснювали характеристику зразків. Останні групували кластерним аналізом. Рівень достовірності в досліді та зв'язок між параметрами адаптивності встановлювали за допомогою дисперсійного та кореляційного аналізів відповідно. **Результати.** Виявлено суттєву варіабельність врожайності як між роками досліджень (від 436 г/м² у 2018/19 р. до 621 г/м² у 2021/22 р.), так і між зразками в межах року (2018/19 р. – від 625 до 171 г/м², 2020/21 р. – від 738 до 138 г/м², 2021/22 р. – від 855 до 374 г/м²). Відповідно до AMMI моделі встановлено статистично високі частки внеску в загальну фенотипову варіацію всіх її джерел: року (41,72%), генотипу (37,30%) та взаємодії «генотип – рік» (21,15%). Дві перші головні компоненти вказаної моделі охоплювали 100% варіації «генотип – рік», тоді як у GGE biplot – 85,14%. Виокремлено 12 колекційних зразків відмітного за походженням ячменю озимого [‘Merlo’ (FRA), ‘МІР 12-11’ (UKR), ‘Titus’ (DEU), ‘Академічний’ (UKR), ‘МІР 12-9’ (UKR), ‘Снігова королева’ (UKR), ‘Novosadski 525’ (SRB), ‘Novosadski 737’ (SRB), ‘Matador’ (FRA), ‘Radical / Pervenets’ (SYR), ‘Scarpia’ (DEU), ‘Manitum’ (FRA)], які мали достовірно вищу, ніж у стандарту ‘Жерар’ (UKR), урожайність (587–685 г/м² проти 534 г/м²). Однак за рівнем прояву останньої навіть серед них спостерігали різні особливості реакції на умови окремих років. Це знайшло своє відображення в різних значеннях статистичних параметрів адаптивності та графічному розподілі зразків у координатах головних компонент AMMI та GGE biplot моделей. На основі лімітів варіювання врожайності та статистичних параметрів адаптивності виділені зразки розподілили на п'ять відмітних кластерів. **Висновки.** Комбінування між собою як батьківських компонентів схрещування високопродуктивних зразків, що належать до різних кластерів, доповнене еколого-географічним принципом, матиме вагоме практичне значення для створення вихідного матеріалу на підвищення врожайності та адаптивності в умовах Лісостепу України.

Ключові слова: *Hordeum vulgare* L.; статистичний параметр адаптивності; AMMI; GGE biplot; кореляція; кластерний аналіз.

Вступ

Ячмінь (*Hordeum vulgare* L.) є однією з основних сільськогосподарських культур світу, а тому його всебічному дослідженню та поліпшенню приділено значну увагу [1]. Ячмінь озимий, як порівняти з ярим, в умовах

достатнього рівня перезимівлі має суттєво вищий потенціал урожайності та характеризується меншою її варіабельністю [2]. Тож у зонах земної кулі, де за гідротермічним режимом можливо вирощувати сорти цього типу розвитку культури, останніми роками спостерігають тенденцію до збільшення площ саме осінньої сівби [3, 4]. Нині в більшості об-

Volodymyr Hudzenko

<https://orcid.org/0000-0002-9738-1203>

Anna Lysenko

<https://orcid.org/0000-0002-2575-5720>

Tetiana Polishchuk

<https://orcid.org/0000-0001-9358-9181>

Nataliia Buniak

<https://orcid.org/0000-0002-5089-2399>

Yevhenii Kuzmenko

<https://orcid.org/0000-0002-6256-1482>

Tetiana Yurchenko

<https://orcid.org/0000-0003-0164-4003>

Liudmyla Khudolii

<https://orcid.org/0000-0002-9586-7592>

Iryna Kokhovska

<https://orcid.org/0000-0002-0491-3996>



© The Author(s) 2025. Published by Ukrainian Institute for Plant Variety Examination. This is an open access article distributed under the terms of the license CC BY-SA 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>), which permits use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ластей нашої держави посіви ячменю озимого досить добре переносять зимовий період. Це пов'язано із суттєвим потеплінням останнього. Для створення сортів, адаптованих до умов Лісостепу України, в Миронівському інституті пшениці імені В. М. Ремесла НААН із 1970-х років проводять активну селекційну роботу [5].

Селекція ячменю, як і решти важливих сільськогосподарських культур, є одним із головних рушіїв суттєвого збільшення врожайності та валових зборів [6–8]. Запорука цього – підвищення генетичного потенціалу нових сортів [9] та їхньої генетичної стійкості проти основних біо- та абіотичних чинників [10–12]. Для озимого типу розвитку культури – це зимостійкість, генетичні та фізіологічні аспекти, які сприяють її формуванню [13–15], а також (як і для ячменю ярого) такі ознаки, як толерантність до дефіциту вологи й підвищених температур [16–18], стійкість проти вилягання [19] та низки збудників хвороб [20–22].

Зосереджені в генбанках генетичні колекції є джерелами різноманітних ознак, необхідних для селекційного поліпшення створюваних сортів [23–25]. Один із найбільших генбанків світу сформовано в Україні. Він налічує понад 154 тисячі зразків 544 культур 1802 видів рослин. Завдяки відданій праці менеджменту та науковців Національного центру генетичних ресурсів рослин (м. Харків) і низки установ-співвиконавців програми «Генетичні ресурси рослин», це – без перебільшення – національне та світове наукове надбання вдалося зберегти, продовжити формувати та систематично вивчати навіть попри розв'язану росією брутальну війну [26]. У глобальному масштабі особливої актуальності в практичній селекції та молекулярно-генетичних дослідженнях генетичні ресурси набули за стрімких кліматичних змін останніх років [27, 28]. Відповідно, формування, збереження та всебічне вивчення колекційних зразків розглядають як основу для подальшого поступу в селекції та подолання викликів, які постають перед нею [29–31].

З господарського погляду, основною (узагальнювальною) ознакою, безумовно, є врожайність. Саме тому їй [32] та її складникам – продуктивній кущистості [33], масі 1000 зерен [34], елементам продуктивності колоса [35] – приділено значну увагу в наукових дослідженнях.

З метою ефективного оцінювання сортів, селекційних ліній, колекційних зразків не лише за середніми значеннями фенотипового прояву врожайності, але і їхніх диференціацій за особливостями рівня прояву цієї озна-

ки в різних умовах (різних географічних локацій, років, строків сівби тощо) широко використовують як різноманітні статистичні параметри адаптивності, так і графічні моделі – GGE biplot, АММІ тощо. Зокрема, високу ефективність і практичну цінність таких досліджень доведено не тільки для ячменю [36–38], а й для низки найрізноманітніших культур у різних країнах світу: рису [39], сорго [40, 41], кінських бобів [42], земляного горіха бамбара [43], батату [44], соняшнику [45], гірчиці індійської [46], каяну [47], кунжуту індійського [48], нуту [49].

Мета досліджень – установити особливості рівня прояву й варіабельності врожайності колекційних зразків ячменю озимого та виділити генетичні джерела для селекції в умовах Лісостепу України.

Матеріали та методика досліджень

Дослідження проводили в умовах Миронівського інституту пшениці імені В. М. Ремесла НААН (МІП) у 2018/19, 2020/21 і 2021/22 рр. Географічна локація: широта – 49°64', довгота – 31°08', висота над рівнем моря – 153 м. Ґрунт – чорнозем глибокий малогумусний, слабковилугований. Глибина гумусового горизонту досягає 40 см. Уміст гумусу – 3,8%, лужногідролізованого азоту – 60 мг, фосфору – 221 мг, обмінного калію – 96 мг на 1 кг ґрунту. Кислотність (рН сольове) – 5,9. Питома вага твердої фази ґрунту становить 2,67 г/см³. Об'ємна маса ґрунту за профілем не перевищує 1,29 г/см³, орного шару – 1,27 см³.

Матеріалом для дослідження слугували 74 зразки ячменю озимого, що походять із семи країн: України – 44, Франції – 11, Німеччини – шість, Сирії – п'ять, Сербії – чотири, Чехії – два, а також один із Великобританії. Їх відібрали після попереднього оцінювання у 2017/18 р. з нових надходжень від Національного центру генетичних ресурсів рослин України та зі зразків колекції МІП, для яких проводили процедуру поновлення схожості. Критерієм відбору був комплекс цінних господарських ознак – урожайності, рівня перезимівлі, стійкості проти вилягання та збудників хвороб.

Сівбу проводили сівалкою СКС-6-10Ц у першій п'ятиденці жовтня. Облікова площа ділянки становила 1 м². Повторність – триразова з повною рендомізацією. Стандарт – ячмінь озимий 'Жерар' – розміщували через 20 номерів.

Для всебічного оцінювання зразків проаналізували рівень прояву врожайності та особливості її варіювання, використавши низку

статистичних параметрів і графічних моделей. Згідно з оригінальними роботами розраховували й аналізували коефіцієнт екологічної пластичності (b_i) та варіансу стабільності (S_{di}^2) [50], ековаленсу (W_i) [51], показник переваги сорту (P_i) [52], а також непараметричні показники стабільності [$S_i^{(1)}$ і $S_i^{(2)}$] [53]. За В. В. Хангільдіним і М. А. Литвиненком (цит. за [54]) визначали показники гомеостатичності (Hom) та селекційної цінності (Sc). Графічні візуалізації АММІ та GGE biplot виконували у програмі GEA-R, version 4.1 (СІММУТ, Мексика) [55], а їхню інтерпретацію здійснювали відповідно до оригінальних повідомлень [56–58]. Статичний і кластерний аналіз проводили за допомогою комп'ютерної програми Statistica 12 (TIBCO, США). Щоб схарактери-

зувати зв'язки, використовували таку градацію коефіцієнта кореляції: $r < 0,3$ – зв'язок слабкий, $r = 0,3–0,5$ – помірний, $r = 0,5–0,7$ – середній, $r = 0,7–0,9$ – сильний, $r > 0,9$ – дуже сильний, наближений до функціонального.

Дані розташованої у безпосередній близькості до дослідних полів агрометеостанції «Миронівка» щодо гідротермічного режиму років досліджень подано в таблиці 1. Можна простежити значне варіювання показників середньомісячної температури повітря та кількості опадів як відносно середнього багаторічного значення, так і між дослідженими роками, що суттєво вплинуло на рівень формування врожайності ячменю озимого та своєю чергою сприяло диференціації зразків за цією ознакою.

Таблиця 1

Гідротермічний режим вегетаційних років досліджень зразків ячменю озимого

Веgetаційний рік	Місяць											
	VIII	IX	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII
	Температура повітря, °C											
2021/22 р.	20,5	13,2	7,6	4,8	-1,1	-1,2	1,7	2,3	8,4	14,6	20,7	20,4
2020/21 р.	21,1	18,6	13,2	3,8	-0,3	-2,3	-4,6	2,3	7,7	14,5	20,2	23,3
2018/19 р.	22,0	16,6	10,6	0,1	-1,9	-4,8	0,4	4,8	10,4	17,3	22,6	19,7
Середнє багаторічне	19,4	14,3	8,2	2,2	-2,3	-4,7	-3,7	1,2	9,0	15,3	18,4	20,2
	Кількість опадів, мм											
2021/22 р.	88,1	18,7	17,8	25,5	63,3	22,8	9,2	10,1	86,0	29,3	41,7	55,1
2020/21 р.	7,8	21,3	38,4	27,5	38,3	56,6	61,3	28,3	47,2	87,0	100,4	111,2
2018/19 р.	14,9	85,0	28,3	22,1	71,7	39,4	25,2	27,2	23,4	50,9	86,8	50,0
Середнє багаторічне	61,0	50,4	35,8	39,7	40,6	35,8	30,7	32,7	41,5	51,7	78,8	79,3

Одним із загальних трендів було переважання середньої температури повітря в усі роки досліджень (2018/19 р. – 9,8 °C, 2020/21 р. – 9,8 °C, 2021/22 р. – 9,3 °C) над усередненим багаторічним значенням (8,1 °C). Таку саму тенденцію спостерігали й у межах окремих місяців, за винятком жовтня, квітня і травня у 2021/22 р., листопада, грудня та липня у 2018/19 р., лютого, квітня і травня у 2020/21 р.

Загальна кількість опадів була вищою за середню багаторічну (578,1 мм) лише у 2020/21 р. – 625,3 мм. Натомість у 2018/19 і 2021/22 рр. вона становила 524,9 і 467,6 мм відповідно. Таку саму закономірність спостерігали і в період від часу відновлення вегетації до завершення наливу зерна та його дозрівання (березень – червень): середнє багаторічне – 204,7 мм, 2018/19 р. – 188,3 мм, 2020/21 р. – 262,9 мм, 2021/22 р. – 167,1 мм.

Детальніше аналізуючи погодні умови весняного періоду, з апроксимацією на рівень урожайності, наведений далі у результатах досліджень, слід зауважити, що ймовірним чинником, який сприяв формуванню значних урожаїв у 2021/22 р., була вдвічі більша, ніж середня багаторічна, кількість опадів. Такі погодні умови спостерігали під час ета-

пів куціння та стеблуння ячменю озимого. Водночас показники температури повітря у лютому та березні відчутно переважали багаторічні значення, а у квітні, навпаки, – дещо поступалися їм. Це дало змогу створити передумови для формування підвищеної врожайності відповідно до елементів її структури – продуктивної кущистості та кількості колосків у колосі. Надлишкові опади у травні та червні 2020/21 р. призвели до значного вилягання рослин, що негативно позначилось на врожайності зразків. Своєю чергою суттєво вища за середню багаторічну температура повітря з березня до червня 2018/19 р. спричинила пришвидшене проходження етапів розвитку ячменю і, відповідно, негативно вплинула на закладення потенційної продуктивності на рівні основних структурних елементів. Додатковим чинником у цьому аспекті була вдвічі менша за усереднену багаторічну кількість опадів у квітні вказаного вегетаційного року. Достатнє зволоження, але, як зазначено раніше, на тлі підвищених температур травня – червня (етапи формування та наливу зерен), не змогло повністю компенсувати попередньо не закладений достатній продуктивний потенціал. Водночас,

що вказано далі, досліджені колекційні зразки в зазначені роки досить сильно різнилися між собою за рівнем урожайності. А тому можна стверджувати як про їхній різний потенціал продуктивності, так і щодо відмітностей за компенсаторними ефектами.

Результати досліджень

Рівень прояву врожайності зразків

Найвищий рівень урожайності в середньому для всіх досліджених зразків зафіксовано в умовах 2021/22 р. – 621 г/м² [із варіюванням від 855 г/м² у G55 'Novosadski 737' (SRB) до 374 г/м² у G71 '(IR 08287)' (SYR)] (табл. 2), а найнижчий відмічено в досліді 2018/19 р. – 436 г/м² [від 625 г/м² у G58 'Merlo' (FRA) до 171 г/м² у G5 'Лі 562' (UKR)]. У 2020/21 р., як порівняти з 2018/19 р., зразки сформували дещо більшу врожайність – 473 г/м². Її максимальні значення в цей період (так само як і у 2018/2019 р.) продемонстрував G58 'Merlo' (FRA) – 738 г/м², а мінімальними (як і в умовах 2021/2022 р.) відзначився G71 '(IR 08287)' (SYR) – 138 г/м². Ці ж два зразки характеризувалися найвищим і найнижчим значеннями лімітів варіювання ознаки в середньому за три роки досліджень: G58 'Merlo' (FRA) – 685 г/м², G71 '(IR 08287)' (SYR) – 245 г/м². Середня врожайність усього досліді становила 510 г/м².

Стандарт G1 'Жерар' (UKR) (534 г/м²) у середньому за роки досліджень перевищували 22 зразки, 12 з них – достовірно (НІР_{0,05} – 50 г/м²). Крім G58 'Merlo' (FRA), у спадному порядку це G51 'Titus' (DEU) – 656 г/м², G55 'Novosadski 737' (SRB) – 641, G17 'Академічний' (UKR) – 637, G40 'МІП 12-11' (UKR) – 630, G18 'Снігова королева' (UKR) – 606, G66 'Manitum' (FRA) – 605, G38 'МІП 12-9' (UKR) – 603, G53 'Novosadski 525' (SRB) – 602, G70 'Radical / Pervenets' (SYR) – 596, G49 'Scarpia' (DEU) – 594, G62 'Matador' (FRA) – 587 г/м². Відповідно в межах похибки перевагу над G1 'Жерар' (UKR) мали десять зразків: G57 'Luran' (CZE), G2 'Трудівник' (UKR), G33 'МІП 12-7' (UKR), G60 'Baraka' (FRA), G56 'Okal' (CZE), G34 'МІП 4790' (UKR), G23 'МІП 4867' (UKR), G64 'Cindy' (FRA), G48 'Augusta' (DEU), G45 'МІП 13/1' (UKR) (565–542 г/м²).

Характеристика колекційних зразків за статистичними параметрами адаптивності

Ліпший, ніж у G1 'Жерар' (UKR) (C_v = 23,23%), коефіцієнт варіації мали 38 зразків, утім лише вісім з них достовірно переважали вказаний стандарт за врожайністю. А саме: G38 'МІП 12-9' (UKR) (C_v = 6,98%), G58 'Merlo' (FRA) (C_v = 8,26%), G53 'Novosadski 525' (SRB)

(C_v = 11,89%), G18 'Снігова королева' (UKR) (C_v = 13,47%), G51 'Titus' (DEU) (C_v = 14,39%), G17 'Академічний' (UKR) (C_v = 15,29%), G49 'Scarpia' (DEU) (C_v = 15,76%), G40 'МІП 12-11' (UKR) (C_v = 16,70%). Ще шість зразків – G33 'МІП 12-7' (UKR), G60 'Baraka' (FRA), G23 'МІП 4867' (UKR), G64 'Cindy' (FRA), G34 'МІП 4790' (UKR), G57 'Luran' (CZE) – поступалися стандарту за коефіцієнтом варіації (C_v = 9,83–19,86%) та мали більшу, ніж у нього, врожайність, проте в межах похибки.

Відповідно до коефіцієнта регресії (b_i) установлено варіювання значень вказаного параметра для вивчених зразків – від b_i = –0,09 до 2,04. Поєднання наближеної до оптимальної для цього набору зразків реакції на умови років досліджень (b_i = 1,07), низького числового (ліпшого) значення варіанси стабільності (σ_i² = 0,11) та достовірного перевищення стандарту за врожайністю виявлено у G40 'МІП 12-11' (UKR). Максимальний коефіцієнт регресії, тобто найсильнішу реакцію на зміну умов середовища, зафіксовано у G55 'Novosadski 737' (SRB) – b_i = 2,40. Це пов'язано з найбільшим серед досліджених зразків розмахом варіювання врожайності (418 г/м²) за роками: від 437 г/м² у 2018/19 р. до 855 г/м² у 2021/22 р.

Водночас вище зазначено, що він був урожайнішим, ніж стандарт, як у середньому за три роки, так і в розрізі окремих років. Загалом, зразки, які достовірно переважали G1 'Жерар' (UKR) за врожайністю, мали різні характеристики за вказаним параметром. Зокрема, найменшим числовим значенням (найслабшою реакцією на зміну умов середовища) з цієї групи, на протипагу G55 'Novosadski 737', відзначився G58 'Merlo' (FRA) (b_i = 0,16). Решту відносно можна диференціювати так: G38 'МІП 12-9' (UKR), G51 'Titus' (DEU), G53 'Novosadski 525' (SRB), G49 'Scarpia' (DEU) (b_i = 0,42–0,64); G18 'Снігова королева' (UKR), G17 'Академічний' (UKR) (b_i = 0,81–0,90); G62 'Matador' (FRA), G70 'Radical / Pervenets' (SYR), G66 'Manitum' (FRA) (b_i = 1,44–1,58). Подібно можливо розподілити й зразки, що мали перевагу над стандартом, але в межах похибки: G34 'МІП 4790' (UKR), G60 'Baraka' (FRA), G64 'Cindy' (FRA), G33 'МІП 12-7' (UKR), G23 'МІП 4867' (b_i = 0,13–0,58); G57 'Luran' (CZE) (b_i = 1,14); G48 'Augusta' (DEU), G45 'МІП 13/1' (UKR), G56 'Okal' (CZE), G2 'Трудівник' (UKR) (b_i = 1,48–1,76). Абсолютні мінімальні значення коефіцієнта регресії були у G54 'Novosadski 529' (SRB) (b_i = –0,09), G52 'Novosadski 519' (SRB) (b_i = –0,01), G67 'Sumo' (FRA) (b_i = 0,06). Середня за три роки врожайність цих зразків у

Таблиця 2

Характеристика колекційних зразків ячменю озимого за врожайністю та статистичними параметрами

Шифр	Зразок	Країна	Урожайність, г/м ²		Mean	Статистичні параметри									
			2018/19 р. (E19)	2020/21 р. (E21)		2021/22 р. (E22)	Cv	b _i	σ ² _i	W _i	P _i	S _i ⁽¹⁾	S _i ⁽²⁾	Hom _i	S _c
G1	'Жерар' – стандарт	UKR	441	487	675	23,23	1,27	6,30	13,60	215,43	4,67	57,50	229,82	348,80	
G2	'Трудівник'	UKR	462	466	767	31,02	1,76	66,21	130,17	180,76	14,33	336,50	182,08	339,78	
G3	'Задор'	UKR	439	386	558	19,09	0,79	21,80	43,76	411,93	8,33	162,50	241,42	318,94	
G4	'Л 122'	UKR	446	391	629	25,52	1,16	27,88	55,59	340,25	13,83	161,62	191,38	303,46	
G5	'Л 562'	UKR	171	375	432	42,14	1,12	70,70	138,92	863,24	7,00	37,00	77,29	128,76	
G6	'Л 13/2'	UKR	356	414	643	32,27	1,55	29,11	57,99	371,43	10,00	249,12	145,92	260,44	
G7	'Л 4/2'	UKR	307	368	462	20,60	0,78	7,02	15,00	654,86	3,67	10,50	183,72	251,51	
G8	'Л 2/2'	UKR	508	353	662	30,37	1,18	108,39	212,26	331,86	32,67	806,62	167,17	271,10	
G9	'Л 4п1/2'	UKR	390	463	637	25,60	1,29	9,18	19,21	297,62	6,33	100,50	193,90	303,76	
G10	'Л 2/1'	UKR	431	504	572	14,08	0,68	15,68	31,85	288,16	12,83	191,62	356,70	378,05	
G11	'Л 4п1/1'	UKR	415	263	511	39,6	0,85	91,09	178,58	646,71	9,33	165,50	125,82	204,24	
G12	'Л п5/11'	UKR	393	253	466	29,20	0,69	81,92	160,76	734,47	6,67	114,50	126,93	201,19	
G13	'Л 17/7'	UKR	516	425	598	16,90	0,65	46,97	92,74	293,00	13,83	458,62	303,66	364,47	
G14	'Л п4/1'	UKR	363	427	552	21,51	0,97	1,53	4,31	428,86	6,83	35,12	207,86	293,78	
G15	'Абориген'	UKR	366	378	623	31,77	1,46	25,11	50,20	417,11	7,33	89,50	143,49	268,07	
G16	'Метелиця'	UKR	430	206	456	48,57	1,45	226,57	442,22	638,61	19,83	305,62	85,27	140,31	
G17	'Академічний'	UKR	608	558	746	15,29	0,90	18,75	37,83	74,00	9,33	69,50	417,19	476,94	
G18	'Снігова королева'	UKR	528	600	691	13,47	0,81	7,57	16,07	92,22	2,00	9,50	450,09	463,46	
G19	'Буревій'	UKR	417	461	633	22,70	1,17	2,02	5,28	282,11	2,50	14,25	221,97	331,70	
G20	'Зимовий'	UKR	385	482	699	30,81	1,63	41,80	82,68	246,34	14,50	473,62	169,36	287,45	
G21	'Достойний'	UKR	334	455	692	36,89	1,84	75,76	148,76	319,22	19,33	843,12	133,86	238,30	
G22	'МІР 4787'	UKR	510	390	680	27,65	1,21	76,46	150,12	275,37	27,83	582,62	190,40	302,08	
G23	'МІР 4867'	UKR	563	461	629	15,37	0,58	57,84	113,89	220,11	12,50	462,62	358,51	403,58	
G24	'МІР 4773'	UKR	352	353	541	26,18	1,09	4,37	9,83	534,81	3,67	11,12	158,86	270,59	
G25	'МІР 4660'	UKR	473	436	676	24,44	1,24	23,67	47,40	244,45	15,67	190,50	216,04	340,78	
G26	'МІР 4580'	UKR	350	385	565	26,60	1,17	2,49	6,18	474,43	2,67	16,00	162,98	268,32	
G27	'МІР 12-1'	UKR	562	425	577	16,06	0,35	101,36	198,57	298,05	16,00	723,00	325,03	384,39	
G28	'МІР 12-2'	UKR	406	366	660	33,47	1,55	54,67	107,72	374,39	20,83	488,12	142,62	264,33	
G29	'МІР 12-3'	UKR	444	521	572	12,62	0,59	23,90	47,84	266,73	13,50	252,25	406,48	397,46	
G30	'МІР 12-4'	UKR	476	455	544	9,50	0,43	34,61	68,69	331,51	12,33	342,62	517,33	411,02	
G31	'МІР 12-5'	UKR	335	535	642	30,90	1,39	72,34	142,10	285,25	20,00	624,00	162,92	262,85	
G32	'МІР 12-6'	UKR	363	565	653	28,26	1,29	71,05	139,60	232,69	18,17	511,62	186,50	292,69	
G33	'МІР 12-7'	UKR	527	537	628	9,83	0,56	18,58	37,49	169,00	11,33	301,00	574,02	473,78	
G34	'МІР 4790'	UKR	458	660	546	18,29	0,13	179,17	349,98	215,79	28,67	812,50	303,34	384,62	
G35	'МІР 4723'	UKR	471	414	582	17,51	0,75	24,96	49,92	339,23	11,33	252,62	279,16	347,45	
G36	'МІР 4654'	UKR	385	470	630	25,13	1,25	9,47	19,77	300,35	7,50	95,12	196,81	302,34	
G37	'МІР 12-8'	UKR	416	496	631	21,11	1,09	4,17	9,46	253,52	7,00	49,00	243,76	339,40	
G38	'МІР 12-9'	UKR	564	598	648	6,98	0,42	33,56	66,65	110,74	9,00	192,50	862,29	525,00	
G39	'МІР 12-10'	UKR	464	472	631	18,00	0,95	1,52	4,29	245,07	3,67	31,00	290,08	383,94	
G40	'МІР 12-11'	UKR	546	597	748	16,70	1,07	0,11	1,56	62,74	4,00	13,00	277,34	459,79	
G41	'МІР 12-12'	UKR	489	420	632	21,06	0,96	28,71	57,21	282,55	16,33	272,50	341,34	341,34	
G42	'МІР 12-13'	UKR	325	580	634	32,15	1,30	121,54	237,85	272,59	26,00	831,00	159,67	263,28	
G43	'МІР 12-14'	UKR	460	373	619	25,72	1,08	43,47	85,93	359,84	17,33	274,50	188,26	292,06	
G44	'МІР 12-15'	UKR	405	419	584	21,25	1,01	0,85	2,98	372,61	2,67	5,50	220,95	325,37	
G45	'МІР 13/1'	UKR	412	502	711	28,30	1,55	32,27	64,14	203,26	12,67	362,50	191,39	314,13	

Продовження таблиці 2

Шифр	Зразок	Країна	Урожайність, г/м ²		Статистичні параметри										
			2018/19 р. (E19)	2020/21 р. (E21)	2021/22 р. (E22)	Mean	Cv	b _i	σ ² _i	W _i	P _i	S _i ⁽¹⁾	S _i ⁽²⁾	Hom _i	Sc _i
G46	'Naomie'	DEU	417	490	651	519	23,02	1,21	5,71	12,44	244,43	5,17	65,12	225,64	332,81
G47	'Highlight'	DEU	396	216	458	357	35,18	0,70	121,32	237,42	803,90	7,00	147,00	101,41	168,52
G48	'Augusta'	DEU	339	608	685	544	33,39	1,48	143,46	280,50	213,12	22,00	1039,00	162,89	269,17
G49	'Scarpa'	DEU	486	647	650	544	15,76	0,64	62,10	122,18	116,53	14,17	164,62	376,95	444,44
G50	'Maybrit'	DEU	368	504	646	506	27,46	1,35	30,50	60,69	273,91	11,33	265,50	184,34	288,49
G51	'Titus'	DEU	548	720	700	656	14,39	0,55	80,77	158,51	50,44	4,00	16,00	455,26	498,64
G52	'Novosadski 519'	SRB	491	521	500	504	3,09	-0,01	101,90	199,62	318,36	16,00	690,12	1620,92	474,51
G53	'Novosadski 525'	SRB	521	628	657	602	11,89	0,58	35,81	71,03	103,77	7,33	104,50	505,77	477,18
G54	'Novosadski 529'	SRB	518	564	517	533	5,02	-0,09	123,73	242,11	260,38	18,00	876,00	1061,02	488,67
G55	'Novosadski 737'	SRB	437	630	855	641	32,62	2,04	142,98	279,58	78,35	12,33	412,50	196,46	327,79
G56	'Okal'	CZE	428	502	740	557	29,30	1,66	43,05	85,11	179,38	11,00	279,00	190,15	321,99
G57	'Luran'	CZE	478	525	692	565	19,86	1,14	1,41	4,08	156,02	3,33	33,50	284,46	390,46
G58	'Merlo'	FRA	625	738	691	685	8,26	0,16	98,71	193,43	44,83	4,67	65,50	828,62	580,19
G59	'Panda'	FRA	358	456	681	498	33,15	1,67	47,61	93,98	301,70	14,67	487,00	150,31	262,29
G60	'Baraka'	FRA	497	595	593	562	9,99	0,37	57,56	113,35	175,65	13,67	380,50	562,50	469,25
G61	'Diapason'	FRA	384	532	680	532	27,79	1,42	41,11	81,33	218,80	12,50	429,12	191,45	300,57
G62	'Matador'	FRA	465	552	744	587	24,29	1,44	21,62	43,42	121,16	6,67	101,50	241,53	366,85
G63	'Poulaine'	FRA	486	430	658	524	22,62	1,10	25,51	50,98	255,36	16,50	207,62	231,98	342,98
G64	'Cindy'	FRA	440	629	581	550	17,87	0,45	107,79	211,09	202,81	25,33	545,50	307,21	384,19
G65	'Classica'	FRA	406	435	607	483	22,49	1,11	0,80	2,89	335,36	0,67	1,25	214,67	322,91
G66	'Manitum'	FRA	426	624	765	605	28,11	1,58	83,47	163,77	101,16	13,00	450,50	215,29	337,27
G67	'Sumo'	FRA	516	506	524	515	1,72	0,06	86,47	169,61	292,60	17,17	713,12	2996,44	497,84
G68	'Glenan'	FRA	516	409	659	528	23,80	1,03	56,11	110,51	264,84	25,33	506,50	221,87	327,34
G69	'Carrey'	GBR	345	423	484	417	16,66	0,65	19,08	38,47	525,82	10,33	82,50	250,12	297,50
G70	'Radical / Pervenets'	SYR	461	578	749	596	24,30	1,44	28,95	57,67	106,10	8,67	170,50	245,50	367,12
G71	'(TR 08287)'	SYR	224	138	374	245	48,69	1,03	40,54	80,22	1253,29	0,33	0,50	50,41	90,70
G72	'(20604) *'	SYR	511	461	576	516	11,14	0,47	39,37	77,96	279,71	13,00	388,62	463,54	413,20
G73	'(20618) *'	SYR	355	442	539	446	20,62	0,89	8,02	16,94	433,62	12,00	108,00	216,22	293,78
G74	'(20625) *'	SYR	342	372	499	405	20,60	0,85	1,56	4,37	567,17	1,67	2,50	196,48	277,43
	Mean		436	473	621	510	22,82	1,00	49,45	97,57	312,59	11,81	285,45	327,88	337,02
	Max		625	738	855	685	48,69	2,04	226,57	442,22	1253,29	32,67	1039,00	2996,44	580,19
	Min		171	138	374	245	1,72	-0,09	0,11	1,56	44,83	0,33	0,50	50,41	90,70
	R (max-min)		455	600	481	439	46,97	2,13	226,46	440,66	1208,46	32,34	1038,50	294,603	489,49
	НІР _{0,05}		40	57	53	50	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Примітка. Mean, Max, Min – середнє, максимальне та мінімальне значення врожайності, відповідно, г/м²; R (max–min) – розмах варіювання, г/м²; Cv – коефіцієнт варіації, %; b_i – коефіцієнт регресії; σ²_i – варіанса стабільності; W_i – евокаленса; P_i – показник переваги сорту; S_i⁽¹⁾ і S_i⁽²⁾ – непараметричні показники стабільності; Hom_i – показник гомеостатичності; Sc_i – селекційна цінність.

межах похибки виявилася нижчою, ніж у стандарту (504–533 г/м²). Характерний для них мінімальний розмах варіювання врожайності за роками [лише 18–47 г/м² проти 235 г/м² у G1 ‘Жерар’ (UKR)] власне й зумовив такі значення цього показника.

Серед зразків із достовірно вищою, ніж у стандарту, врожайністю тільки один – G40 ‘МИР 12-11’ (UKR) – виділено за варіансою стабільності (σ^2) та ековаленсою (W_i). Він мав найліпші абсолютні значення цих параметрів у досліді ($\sigma^2_i = 0,11$, $W_i = 1,56$). Варто звернути увагу й на G57 ‘Luran’ (CZE), що також мав перевагу над G1 ‘Жерар’ (UKR) за показниками варіанси стабільності та ековаленси ($\sigma^2_i = 1,41$, $W_i = 4,08$), але не виявив достовірного перевищення за врожайністю. Інші десять зразків за вказаними параметрами були стабільнішими від стандарту ($\sigma^2_i = 6,30$, $W_i = 13,60$), проте поступалися йому за середньою врожайністю.

За числовим значенням показника переваги сорту P_i ліпшими, ніж G1 ‘Жерар’ (UKR) ($P_i = 215,43$), були всі зразки з достовірним перевищенням за врожайністю, а також вісім із десяти зразків, що характеризувалися перевищенням у межах похибки. Серед останніх виключення становили G34 ‘МИР 4790’ (UKR) і G23 ‘МИР 4867’, але й вони суттєво не поступалися стандарту. Отже, вказаний параметр досить сильно орієнтований на середню врожайність. Єдиною різницею можна вважати незначну зміну рангів (черговості) зразків, якщо їх аналізувати паралельно у спадному порядку за середньою врожайністю та цим показником.

За першим непараметричним індексом стабільності $S_i^{(1)}$ ліпшими, ніж G1 ‘Жерар’ (UKR) [$S_i^{(1)} = 4,67$], були 14 зразків. З них достовірно перевищували стандарт за врожайністю G18 ‘Снігова королева’ (UKR) [$S_i^{(1)} = 2,00$], G51 ‘Titus’ (DEU) [$S_i^{(1)} = 4,00$], G40 ‘МИР 12-11’ (UKR) [$S_i^{(1)} = 4,00$] та G58 ‘Merlo’ (FRA) [$S_i^{(1)} = 4,67$], недостовірно – G57 ‘Luran’ (CZE) [$S_i^{(1)} = 3,33$]. Окрім G58 ‘Merlo’ (FRA), усі вказані зразки (загалом 16) і за другим непараметричним показником стабільності $S_i^{(2)}$ були ліпшими, ніж G1 ‘Жерар’ (UKR) [$S_i^{(2)} = 57,50$].

За показником гомеостатичності (Hom_i) перевагу над стандартом ($Hom_i = 229,82$) мали 32 зразки. Десять з них достовірно перевищували його за врожайністю: G38 ‘МИР 12-9’ (UKR), G58 ‘Merlo’ (FRA), G53 ‘Novosadski 525’ (SRB), G51 ‘Titus’ (DEU), G18 ‘Снігова королева’ (UKR), G17 ‘Академічний’ (UKR), G40 ‘МИР 12-11’ (UKR), G49 ‘Scarpia’ (DEU), G70 ‘Radical / Pervenets’ (SYR), G62 ‘Matador’ (FRA) ($Hom_i = 862,29$ – $241,53$), а ще шість – у

межах $Hom_{0,05}$: G33 ‘МИР 12-7’ (UKR), G60 ‘Baraka’ (FRA), G23 ‘МИР 4867’ (UKR), G64 ‘Cindy’ (FRA), G34 ‘МИР 4790’ (UKR), G57 ‘Luran’ (CZE) ($Hom_i = 574,02$ – $284,46$). Максимальне значення цього параметра продемонстрували зразки, що раніше були нами характеризовані як такі, що мають найменші числові значення коефіцієнта регресії (b_i), але в дещо іншій послідовності, у спадному порядку: G67 ‘Sumo’ (FRA) ($Hom_i = 2996,44$), G52 ‘Novosadski 519’ (SRB) ($Hom_i = 1620,92$), G54 ‘Novosadski 529’ (SRB) ($Hom_i = 1061,02$).

За показником селекційної цінності (Sc_i) ліпшими, ніж G1 ‘Жерар’ (UKR) ($Sc_i = 348,80$), виявилися 26 зразків. Десять із них переважали стандарт за врожайністю на достовірному рівні: G58 ‘Merlo’ (FRA) ($Sc_i = 580,19$), G38 ‘МИР 12-9’ (UKR) ($Sc_i = 525,00$), G51 ‘Titus’ (DEU) ($Sc_i = 498,64$), G53 ‘Novosadski 525’ (SRB) ($Sc_i = 477,18$), G17 ‘Академічний’ (UKR) ($Sc_i = 476,94$), G18 ‘Снігова королева’ (UKR) ($Sc_i = 463,46$), G40 ‘МИР 12-11’ (UKR) ($Sc_i = 459,79$), G49 ‘Scarpia’ (DEU) ($Sc_i = 444,44$), G70 ‘Radical / Pervenets’ (SYR) ($Sc_i = 367,12$), G62 ‘Matador’ (FRA) ($Sc_i = 366,85$), шість – на статистично недостовірному рівні: G33 ‘МИР 12-7’ (UKR), G60 ‘Baraka’ (FRA), G23 ‘МИР 4867’ (UKR), G57 ‘Luran’ (CZE), G34 ‘МИР 4790’ (UKR), G64 ‘Cindy’ (FRA) ($Sc_i = 473,78$ – $384,19$). Ще десять зразків поступалися G1 ‘Жерар’ (UKR) за врожайністю, але в межах похибки (492–533 г/м²): G67 ‘Sumo’ (FRA), G54 ‘Novosadski 529’ (SRB), G52 ‘Novosadski 519’ (SRB), G72 ‘(20604)*’ (SYR), G30 ‘МИР 12-4’ (UKR), G29 ‘МИР 12-3’ (UKR), G27 ‘МИР 12-1’ (UKR), G39 ‘МИР 12-10’ (UKR), G10 ‘Л 2/1’ (UKR), G13 ‘Л 17/7’ (UKR) ($Sc_i = 497,84$ – $364,47$).

Отже, найліпші значення всіх без винятку параметрів, як порівняти з G1 ‘Жерар’ (UKR), серед зразків, що достовірно перевищували стандарт за врожайністю, мав G40 ‘МИР 12-11’ (UKR), з-поміж групи зразків із переважанням за врожайністю в межах похибки – G57 ‘Luran’ (CZE).

Кореляція між параметрами адаптивності

Завдяки кореляційному аналізу виявлено, що середнє значення врожайності (Mean) майже на одному рівні досить сильно співвідносилось з її максимальним (Max) та мінімальним (Min) проявом – $r = 0,85$ і $0,88$ відповідно (табл. 3). Між Max і Min встановлено середній позитивний зв'язок – $r = 0,56$. Це свідчить про наявність у вказаній вибірці групи зразків, що поєднували як високі значення Max, так і Min за роки досліджень. Виділення таких зразків має важливе практичне значення. Дуже сильний негативний

зв'язок встановлено між Mean та показником переваги сорту (P_i) – $r = -0,96$, помірний негативний – між Mean та коефіцієнтом варіації (Cv) – $r = -0,49$. Слабку кореляцію із середнім рівнем урожайності мали параметри b_i , σ_i^2 , W_i , $S_i^{(1)}$, $S_i^{(2)}$ ($r = -0,04$ – $0,24$), а сильну – показник селекційної цінності (Sc_i) ($r = 0,79$). Помірний зв'язок із Max простежували лише в показників Sc_i та b_i – $r = 0,38$ і $0,47$ відповідно. Решта параметрів не були пов'язані з максимальним рівнем урожайності ($r = -0,11$ – $0,20$). Дуже сильну кореляцію з Min виявлено для Sc_i ($r = 0,97$), сильну негативну – для Cv ($r = -0,80$), помірну – для Hom_i ($r = 0,48$), помірну негативну – для b_i ($r = -0,38$).

Характеризуючи кореляційні зв'язки між окремими параметрами адаптивності, варто

насамперед звернути увагу на функціональну залежність між σ_i^2 і W_i ($r = 1,00$). Це означає, що у процесі аналізу даних достатньо визначити лише один із них. Сильну позитивну кореляцію виявлено між парами b_i і Cv ($r = 0,77$), $S_i^{(1)}$ і $S_i^{(2)}$ ($r = 0,85$); сильну негативну – Sc_i і Cv ($r = -0,89$), P_i і Sc_i ($r = -0,76$); середню – P_i і Cv ($r = 0,51$), σ_i^2 і $S_i^{(1)}$ ($r = 0,62$), σ_i^2 і $S_i^{(2)}$ ($r = 0,67$), Sc_i і Hom_i ($r = 0,60$); середню негативну – Hom_i і Cv ($r = -0,65$), b_i і Hom_i ($r = -0,58$), b_i і Sc_i ($r = -0,57$). У решти комбінацій параметрів зв'язки були слабкими. Наведені залежності слід урахувувати, приймаючи відповідні рішення щодо визначення оптимальних реакцій зразків за тими чи іншими параметрами, з огляду на мету їх подальшого використання у селекційному процесі.

Таблиця 3

Кореляційний аналіз урожайності та статистичних параметрів адаптивності

Показники	Mean	Max	Min	Cv	b_i	σ_i^2	W_i	P_i	$S_i^{(1)}$	$S_i^{(2)}$	Hom_i
Max	0,85										
Min	0,88	0,56									
Cv	-0,49	0,00	-0,80								
b_i	-0,04	0,47	-0,38	0,77							
σ_i^2	0,05	0,07	-0,18	0,23	-0,11						
W_i	0,05	0,07	-0,18	0,23	-0,11	1,00					
P_i	-0,96	-0,83	-0,86	0,51	-0,02	0,06	0,06				
$S_i^{(1)}$	0,15	0,20	-0,04	0,09	0,01	0,62	0,62	-0,19			
$S_i^{(2)}$	0,18	0,17	0,01	0,01	-0,04	0,67	0,67	-0,21	0,85		
Hom_i	0,24	-0,11	0,48	-0,65	-0,58	0,14	0,14	-0,22	0,08	0,25	
Sc_i	0,79	0,38	0,97	-0,89	-0,57	-0,11	-0,11	-0,76	-0,04	0,04	0,60

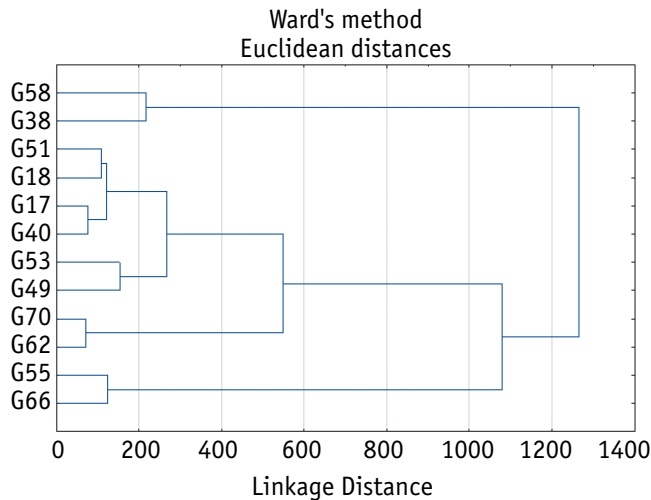
Примітка. Mean, Max, Min – середнє, максимальне та мінімальне значення врожайності відповідно, г/м²; Cv – коефіцієнт варіації, %; b_i – коефіцієнт регресії; σ_i^2 – варіанса стабільності; W_i – ековаленса; P_i – показник переваги сорту; $S_i^{(1)}$ і $S_i^{(2)}$ – непараметричні показники стабільності; Hom_i – показник гомеостатчності; Sc_i – селекційна цінність.

Кластерний аналіз на основі параметрів адаптивності

Щоб узагальнити результати аналізу за статистичними параметрами, було проведено кластеризацію 12 зразків із достовірно вищою, ніж у стандарту, врожайністю (рис. 1). Критеріями для кластеризації були рівень прояву врожайності та розглянуті вище статистичні параметри. З розрахунків виключили лише ековаленсу (W_i), оскільки, як зазначено раніше, вона мала функціональну відповідність ($r = 1,00$) із варіансою стабільності (σ^2). Можна спостерігати формування п'яти достатньо відмінних кластерів. Перший утворили зразки G58 'Merlo' (FRA) і G38 'МІР 12-9' (UKR), що були найвіддаленішими від інших; другий – G55 'Novosadski 737' (SRB) і G66 'Manitum' (FRA); третій – G70 'Radical / Pervenets' (SYR) і G62 'Matador' (FRA); четвертий – G53 'Novosadski 525' (SRB) і G49 'Scarpia' (DEU); п'ятий – G51 'Titus' (DEU), G18 'Снігова королева' (UKR), G17 'Академічний' (UKR), G40

'МІР 12-11' (UKR). Два останні кластери, як порівняти з трьома першими, були відносно ближчими один до одного. Результати цього аналізу підтверджують описані вище закономірності. Останні вказують на те, що навіть у межах групи зразків із достовірно вищою, ніж у стандарту, врожайністю виявлено відмінності за особливостями її рівня прояву в різні роки. Це знайшло своє відображення у значеннях показників окреслених статистичних параметрів адаптивності, а відтак і формування різних кластерів. З огляду на отримані результати, комбінування між собою як батьківських компонентів схрещування високопродуктивних зразків, що належать до різних кластерів, може мати вагоме практичне значення для створення вихідного матеріалу на підвищення врожайності та адаптивності в умовах Лісостепу України. Ще один практичний аспект, який дає підстави сподіватися на ефективне використання зазначених зразків у селекції, – їхня відмінність за країнами по-

ходження. Тому можливий комбінований підхід щодо добору батьківських компонентів: (1) за різною реакцією на умови років досліджень та (2) різних за походженням (еколого-географічний принцип).



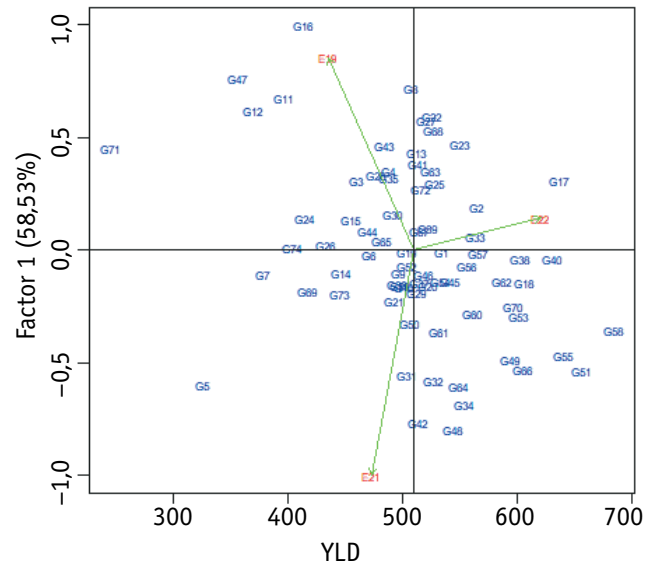
Примітка. G58 'Merlo' (FRA), G38 'МІР 12-9' (UKR), G51 'Titus' (DEU), G18 'Снігова королева' (UKR), G17 'Академічний' (UKR), G40 'МІР 12-11' (UKR), G53 'Novosadski 525' (SRB), G49 'Scarpia' (DEU), G70 'Radical / Pervenets' (SYR), G62 'Matador' (FRA), G55 'Novosadski 737' (SRB), G66 'Manitum' (FRA).

Рис. 1. Кластерний аналіз (метод Варда) колекційних зразків ячменю озимого за рівнем прояву врожайності та статистичними параметрами адаптивності (2018/19, 2020/21, 2021/22 рр.)

АММІ аналіз

Виявлено достовірно високі частки внеску в дисперсію усіх трьох джерел варіації: умов року – 41,72%, генотипу – 37,20%, а також їхньої взаємодії – 21,15% (табл. 4). Отримані результати підтверджують наведене вище. А саме: попри певну перевагу частки впливу умов років досліджень, у наявній вибірці є зразки із суттєво різною реакцією за врожайністю на однакові умови. Тому можливо виокремити особини, які цікавлять селекціонера у процесі розв'язання різних селекційних завдань. Перші дві головні компоненти пояснювали 100% варіації взаємодії «генотип – рік»: Factor 1 – 58,53%, Factor 2 – 41,47%.

Відповідно до АММІ1 biplot (рис. 2), по осі врожайності (YLD) з-поміж інших зразків варто виділити G58 'Merlo' (FRA), G51 'Titus' (DEU), G55 'Novosadski 737' (SRB), G17 'Академічний' (UKR) і G40 'МІР 12-11' (UKR).



Примітка. Позначення років досліджень та зразків відповідно до наведених у таблиці 2.

Рис. 2. АММІ1 biplot – розподіл генотипів і середовищ у координатах: середня врожайність (YLD) – перша головна компонента (Factor 1) (2018/19, 2020/21, 2021/22 рр.)

Серед них дещо меншу середню врожайність мав G40 'МІР 12-11' (UKR), але він розташовувався найближче до нульової позначки відносно осі першої головної компоненти (Factor 1). Зразки G58 'Merlo' (FRA), G51 'Titus' (DEU) і G55 'Novosadski 737' (SRB) були сильніше зміщені по від'ємній осі, а G17 – по додатній.

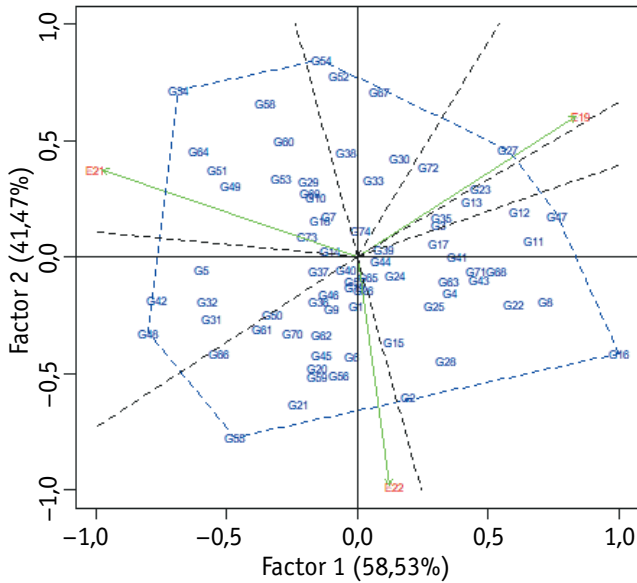
Специфічна реакція на умови років чітко простежується за аналізу АММІ2 biplot (рис. 3). Найбільш вираженою вона була у зразків, що потрапили до секторів, розділених пунктирними лініями, в яких також опинилися вектори років досліджень (E19, E21, E22).

Наприклад, на вершині полігону, у секторі з вектором E21 розташовувався зразок G34

Таблиця 4

Дисперсійний аналіз АММІ моделі (тест Голоба) (2018/19, 2020/21, 2021/22 рр.)

Джерело варіації	Сума квадратів	Ступінь свободи	Середній квадрат	F-критерій	Частка внеску в дисперсію, %
Рік	4272360,73	2	2136180,37	2142,13	41,72
Генотип	3802476,90	73	52088,72	52,23	37,30
Взаємодія «генотип – рік»	2166064,82	146	14836,06	14,88	21,15
Головна компонента 1	1267719,23	74	17131,34	17,56	58,53
Головна компонента 2	898345,59	72	12477,02	12,79	41,47
Головна компонента 3	0,00	70	0,00	0,00	0,00
Залишки	442766,00	444	997,22	–	0,00



Примітка. Позначення років досліджень та зразків відповідно до наведених у таблиці 2.

Рис. 3. AMMI2 biplot – розподіл сортів і середовищ у координатах першої (Factor 1) та другої (Factor 2) головних компонент (2018/19, 2020/21, 2021/22 рр.)

‘МИР 4790’ (UKR), який мав найсильнішу специфічну реакцію на умови 2020/21 р. До цього сектору «впали» також G58 ‘Merlo’ (FRA) та G51 ‘Titus’ (DEU). Зразок G55 ‘Novosadski 737’ (SRB) потрапив на вершину кута полігону, в сектор із вектором року E22, що свідчить про його сильну реакцію на умови 2021/22 р. Схарактеризований вище G40 ‘МИР 12-11’ (UKR) опинився максимально близько до центра biplot. Отже, його реакція на умови років досліджень була оптимальною, відповідно до значень обох головних компонент.

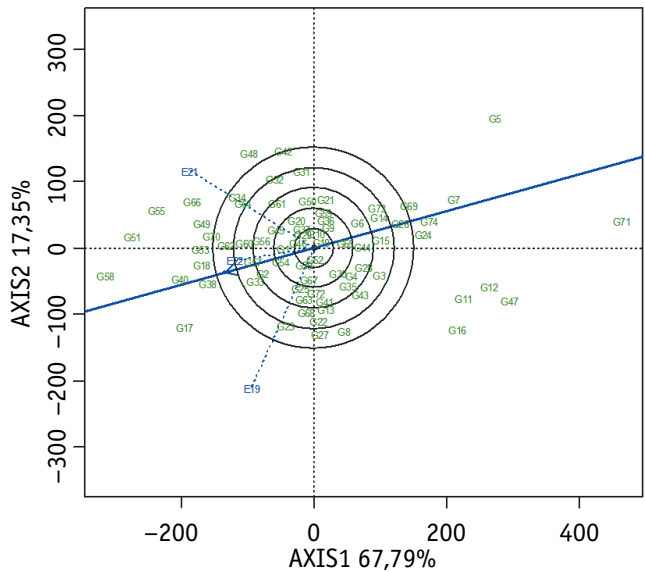
GGE biplot аналіз

Згідно з GGE biplot моделлю, перша (AXIS1) та друга (AXIS2) головні компоненти пояснювали 85,14% варіювання взаємодії «генотип – рік» – 67,79 та 17,35% відповідно. Це досить високий показник, але нижчий, як порівняти з AMMI аналізом. GGE biplot диференціувальної здатності та репрезентативності років досліджень (рис. 4) указує, що найвіддаленішими одне від одного за особливостями прояву врожайності зразків були умови 2018/19 (E19) і 2020/21 рр. (E21), які водночас мали сильнішу диференціальну здатність, порівнюючи з 2021/22 р. (E22). Останній був найближчим до середнього для середовищ вектору та розрахункового розташування оптимального середовища на ньому, позначеного вершиною стрілки.

Відповідно до GGE biplot «котрий-де-переміг» (рис. 5), в одному секторі опинилися два роки досліджень – E21 (2020/21) та E22

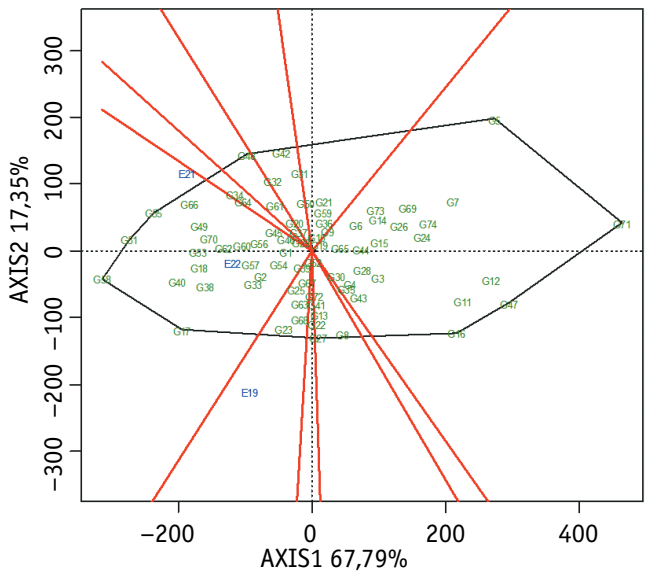
(2021/22). На вершинах та лінії ломаної полігональної фігури розташувалися зразки G58 ‘Merlo’ (FRA), G51 ‘Titus’ (DEU), G55 ‘Novosadski 737’ (SRB) та G17 ‘Академічний’ (UKR). Проте останній був ближче до розмежувальної лінії із сектором, де містився 2018/19 р. (E19). Зразок G40 ‘МИР 12-11’ (UKR), як і низка інших, також опинився у цьому секторі, в середині полігону.

GGE biplot середньозваженої середовищної координації зразків за врожайністю та



Примітка. Позначення років досліджень та зразків відповідно до наведених у таблиці 2.

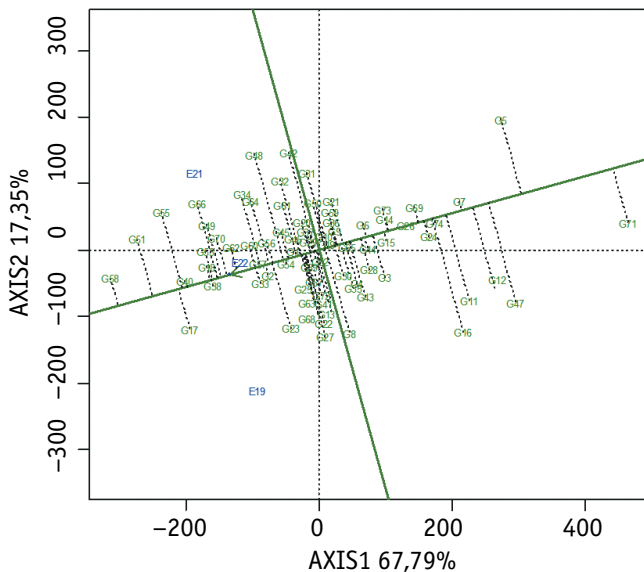
Рис. 4. GGE biplot диференціувальної здатності та репрезентативності років досліджень (2018/19, 2020/21, 2021/22 рр.)



Примітка. Позначення років досліджень та зразків відповідно до наведених у таблиці 2.

Рис. 5. GGE biplot «котрий-де-переміг» (2018/19, 2020/21, 2021/22 рр.)

стабільністю чітко демонструє п'ятірку лідерів: G58 'Merlo' (FRA), G51 'Titus' (DEU), G55 'Novosadski 737' (SRB), G17 'Академічний' (UKR) та G40 'МИР 12-11' (UKR) (рис. 6). На умови 2020/21 р. (E21) сильніше реагували перші три зразки, а 2018/19 р. (E19) – G17 'Академічний' (UKR). Водночас п'ятий зразок G40 'МИР 12-11' (UKR) мав оптимальну реакцію на умови різних років, а відтак переважав чотири інших за стабільністю. Це видно з його розташування майже на середньому для середовищ векторі. Абсолютні найгірші значення врожайності виразно простежуються у G71 'IR 08287' (SYR).

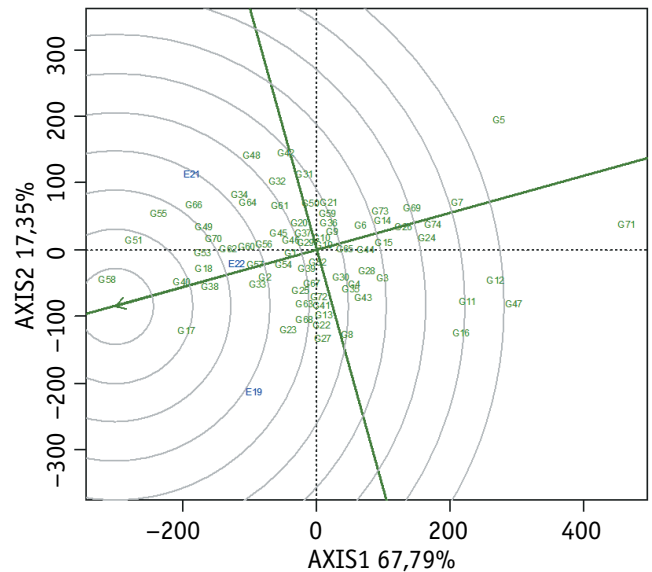


Примітка. Позначення років досліджень та зразків відповідно до наведених у таблиці 2.

Рис. 6. GGE biplot середньозваженої середовищної координації зразків за врожайністю та стабільністю (2018/19, 2020/21, 2021/22 рр.)

GGE biplot ранжуванням зразків відносно математично розрахованого «ідеального генотипу» виявлено, що найближчим до нього був G58 'Merlo' (FRA), розташований у центрі центричних кіл (рис. 7). До наступного кола потрапили зразки G40 'МИР 12-11' (UKR), G51 'Titus' (DEU), G17 'Академічний' (UKR), а до третього «впали» G38 'МИР 12-9' (UKR), G18 'Снігова королева' (UKR), G53 'Novosadski 525' (SRB), G55 'Novosadski 737' (SRB).

Тобто до перших трьох кіл належали лише ті зразки, що достовірно перевищували G1 'Жерар' (UKR) за середньою врожайністю відповідно до $HP_{0,05}$. До четвертого – зразки як з достовірною різницею зі стандартом [G62 'Matador' (FRA), G70 'Radical / Pervenets' (SYR), G49 'Scarpia' (DEU), G66 'Manitum' (FRA)], так і з переважанням над ним у межах рівня достовірності [G57 'Luran' (CZE),



Примітка. Позначення років досліджень та зразків відповідно до наведених у таблиці 2.

Рис. 7. GGE biplot ранжування зразків відносно до «ідеального генотипу» (2018/19, 2020/21, 2021/22 рр.)

G60 'Baraka' (FRA), G33 'МИР 12-7' (UKR), G2 'Трудівник' (UKR)]. Сам G1 'Жерар' (UKR) розташувався у п'ятому колі разом зі зразками, які мали недостовірно вищу [G56 'Okal' (CZE), G34 'МИР 4790' (UKR), G23 'МИР 4867' (UKR), G64 'Cindy' (FRA), G48 'Augusta' (DEU), G45 'МИР 13/1' (UKR)] або нижчу, ніж у нього, врожайність.

Висновки

Виокремлено 12 колекційних зразків відмітного за походженням ячменю озимого, які мають підвищений рівень урожайності та є цінними генетичними джерелами для використання в селекції в умовах Лісостепу України. Зокрема, 'Merlo' (FRA), 'МИР 12-11' (UKR), 'Titus' (DEU), 'Академічний' (UKR), 'МИР 12-9' (UKR), 'Снігова королева' (UKR), 'Novosadski 525' (SRB), 'Novosadski 737' (SRB), 'Matador' (FRA), 'Radical / Pervenets' (SYR), 'Scarpia' (DEU), 'Manitum' (FRA). Втім навіть у виділеній групі зразки відрізнялися особливостями реакції за рівнем прояву врожайності на різноманітні умови років досліджень. Це було схарактеризовано як статистичними параметрами та кластерним аналізом, так і візуалізаціями графічних моделей АММІ та GGE biplot. Отже, комбінування між собою як батьківських компонентів схрещування вказаних високопродуктивних зразків, що належать до відмітних кластерів, сформованих на основі особливостей рівня прояву врожайності в різні роки, і, відповідно, різних значень статистичних параметрів адаптивності, доповнене

еколого-географічним принципом, матиме вагоме практичне значення для створення вихідного матеріалу на підвищення врожайності та адаптивності в умовах Лісостепу України.

References

- Jiang, C., Kan, J., Gao, G., Dockter, C., Li, C., Wu, W., Yang, P., & Stein, N. (2025). Barley2035: A decadal vision for barley research and breeding. *Molecular Plant*, 18(2), 195–218. <https://doi.org/10.1016/j.molp.2024.12.009>
- Yigit, A., & Chmielewski, F.-M. (2024). A deeper insight into the yield formation of winter and spring barley in relation to weather and climate variability. *Agronomy*, 14(7), Article 1503. <https://doi.org/10.3390/agronomy14071503>
- Mittermayer, M., Maidl, F.-X., Donauer, J., Kimmelman, S., Liebl, J., & Hülsbergen, K.-J. (2025). Optimizing nitrogen use efficiency and yield in winter barley: a three-year study of fertilization systems in southern Germany. *Applied Sciences*, 15(1), Article 391. <https://doi.org/10.3390/app15010391>
- Heil, K., Gerl, S., & Schmidhalter, U. (2021). Sensitivity of winter barley yield to climate variability in a Pleistocene loess area. *Climate*, 9(7), Article 112. <https://doi.org/10.3390/cli9070112>
- Hudzenko, V. M. (2018). Yield and stability of Myronivka winter barley varieties. *Plant Breeding and Seed Production*, 113, 55–77. <https://doi.org/10.30835/2413-7510.2018.134358> [In Ukrainian]
- Laidig, F., Piepho, H. P., Rentel, D., Drobek, T., & Meyer, U. (2017). Breeding progress, genotypic and environmental variation and correlation of quality traits in malting barley in German official variety trials between 1983 and 2015. *Theoretical and Applied Genetics*, 130(11), 2411–2429. <https://doi.org/10.1007/s00122-017-2967-4>
- Laidig, F., Feike, T., Klocke, B., Macholdt, J., Miedaner, T., Rentel, D., & Piepho, H. P. (2021). Long-term breeding progress of yield, yield-related, and disease resistance traits in five cereal crops of German variety trials. *Theoretical and Applied Genetics*, 134(12), 3805–3827. <https://doi.org/10.1007/s00122-021-03929-5>
- Kyrychenko, V. V., Vasko, N. I., Leonov, O. Yu., Shchypak, H. V., Suvorova, K. Yu., & Morhun, O. V. (2022). Current strategy of cereal breeding. *Plant Breeding and Seed Production*, 122, 100–112. <https://doi.org/10.30835/2413-7510.2022.271759>
- Rodrigues, O., Minella, E., & Costenaro, E. R. (2020). Genetic improvement of barley (*Hordeum vulgare* L.) in Brazil: yield increase and associated traits. *Agricultural Sciences*, 11(04), 425–438. <https://doi.org/10.4236/as.2020.114025>
- Rodrigues, O., Minella, E., Costenaro, E. R., Scariotto, S., & Marchese, J. A. (2022). Improvement in Brazilian barley breeding: changes in developmental phases and ecophysiological traits. *Frontiers in Plant Science*, 13, Article 1032243. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1032243>
- Laidig, F., Feike, T., Hadasch, S., Rentel, D., Klocke, B., Miedaner, T., & Piepho, H. P. (2021). Breeding progress of disease resistance and impact of disease severity under natural infections in winter wheat variety trials. *Theoretical and Applied Genetics*, 134(5), 1281–1302. <https://doi.org/10.1007/s00122-020-03728-4>
- Zetzsche, H., Friedt, W., & Ordon, F. (2020). Breeding progress for pathogen resistance is a second major driver for yield increase in German winter wheat at contrasting N levels. *Scientific Reports*, 10(1), Article 20374. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-77200-0>
- Muñoz-Amatriain, M., Hernandez, J., Herb, D., Baenziger, P. S., Bochar, A. M., Capettini, F., Casas, A., Cuesta-Marcos, A., Einfeldt, C., Fisk, S., Genty, A., Helgerson, L., Herz, M., Hu, G., Igarua, E., Karsai, I., Nakamura, T., Sato, K., Smith, K., ... Hayes, P. (2020). Perspectives on low temperature tolerance and vernalization sensitivity in barley: prospects for facultative growth habit. *Frontiers in Plant Science*, 11, Article 585927. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.585927>
- Wójcik-Jagła, M., Daszkowska-Golec, A., Fiust, A., Kopec, P., & Rapacz, M. (2021). Identification of the genetic basis of response to de-acclimation in winter barley. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(3), Article 1057. <https://doi.org/10.3390/ijms22031057>
- Wójcik-Jagła, M., & Rapacz, M. (2023). Freezing tolerance and tolerance to de-acclimation of European accessions of winter and facultative barley. *Scientific Reports*, 13(1), Article 19931. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-47318-y>
- Thabet, S. G., Moursi, Y. S., Karam, M. A., Börner, A., & Alqudah, A. M. (2020). Natural variation uncovers candidate genes for barley spikelet number and grain yield under drought stress. *Genes*, 11(5), Article 533. <https://doi.org/10.3390/genes11050533>
- Slawin, C., Ajayi, O., & Mahalingam, R. (2024). Association mapping unravels the genetic basis for drought related traits in different developmental stages of barley. *Scientific Reports*, 14(1), Article 25121. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-73618-y>
- Sapkota, S., Mndolwa, E., Hu, G., Fiedler, J., Nandety, S. R., Carlson, C. H., & Klos, K. E. (2025). Association mapping of drought stress response for yield and quality traits in barley. *Crop Science*, 65(1), Article e21431. <https://doi.org/10.1002/csc2.21431>
- Bai, Y., Zhao, X., Yao, X., Yao, Y., Li, X., Hou, L., An, L., Wu, K., & Wang, Z. (2023). Comparative transcriptome analysis of major lodging resistant factors in hullless barley. *Frontiers in Plant Science*, 14, Article 1230792. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1230792>
- Guo, J., Zhao, C., Gupta, S., Platz, G., Snyman, L., & Zhou, M. (2024). Genome-wide association mapping for seedling and adult resistance to powdery mildew in barley. *Theoretical and Applied Genetics*, 137(3), Article 50. <https://doi.org/10.1007/s00122-024-04550-y>
- Backes, A., Guerriero, G., Ait Barka, E., & Jacquard, C. (2021). *Pyrenophora teres*: taxonomy, morphology, interaction with barley, and mode of control. *Frontiers Plant Science*, 12, Article 614951. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.614951>
- Basak, P., Gurjar, M. S., Kumar, T. P. J., Kashyap, N., Singh, D., Jha, S. K., & Saharan, M. S. (2024). Transcriptome analysis of *Bipolaris sorokiniana* – *Hordeum vulgare* provides insights into mechanisms of host-pathogen interaction. *Frontiers in Microbiology*, 15, Article 1360571. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2024.1360571>
- Salgotra, R. K., & Chauhan, B. S. (2023). Genetic diversity, conservation, and utilization of plant genetic resources. *Genes*, 14(1), Article 174. <https://doi.org/10.3390/genes14010174>
- Dempewolf, H., Krishnana, S., & Guarino, L. (2023). Our shared global responsibility: safeguarding crop diversity for future generations. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 120(14), Article e2205768119. <https://doi.org/10.1073/pnas.2205768119>
- Ebert, A. W., Engels, J. M. M., Schafleitner, R., van Hintum, T., & Mwila, G. (2023). Critical review of the increasing complexity of access and benefit-sharing policies of genetic resources for genebank curators and plant breeders – a public and private sector perspective. *Plants*, 12(16), Article 2992. <https://doi.org/10.3390/plants12162992>
- Riabchun, V. K., Kuzmyshyna, N. V., & Bohuslavskyi, R. L. (2022). State of national plant genebank of Ukraine in wartime of 2022. *Plant Genetic Resources*, 30, 1–21. <https://doi.org/10.36814/pgr.2022.30.01> [In Ukrainian]
- Galluzzi, G., Seyoum, A., Halewood, M., Noriega, I. L., & Welch, E. W. (2020). The role of genetic resources in breeding for climate change: the case of public breeding programmes in eighteen developing countries. *Plants*, 9(9), Article 1129. <https://doi.org/10.3390/plants9091129>
- Cortés, A. J., & López-Hernández, F. (2021). Harnessing crop wild diversity for climate change adaptation. *Genes*, 12(5), Article 783. <https://doi.org/10.3390/genes12050783>

29. Monteiro, V. A., Amabile, R. F., Spehar, C. R., Faleiro, F. G., Vieira, E. A., Peixoto, J. R., Junior, W. Q. R., & Montalvão, A. P. L. (2020). Genetic diversity among 435 barley accessions based in morpho-agronomical characteristics under irrigation in the Brazilian savannah. *Australian Journal of Crop Science*, *14*(9), 1385–1393. <https://doi.org/10.21475/ajcs.20.14.09.p2281>
30. Czembor, J. H. (2023). Barley genetic resources: advancing conservation and applications for breeding. *Agronomy*, *13*(12), Article 2901. <https://doi.org/10.3390/agronomy13122901>
31. Bernád, V., Al-Tamimi, N., Langan, P., Gillespie, G., Dempsey, T., Henchy, J., Harty, M., Ramsay, L., Houston, K., Macaulay, M., Shaw, P. D., Raubach, S., McDonnell, K. P., Russell, J., Waugh, R., Khodaeiaminjan, M., & Negrão, S. (2024). Unlocking the genetic diversity and population structure of the newly introduced two-row spring European HerItage barley collection (ExHI-BiT). *Frontiers in Plant Science*, *15*, Article 1268847. <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1268847>
32. Kostrzewska, M. K., & Jastrzebska, M. (2024). Exploiting the yield potential of spring barley in Poland: the roles of crop rotation, cultivar, and plant protection. *Agriculture*, *14*(8), Article 1355. <https://doi.org/10.3390/agriculture14081355>
33. Bai, Y., Zhao, X., Yao, X., Yao, Y., An, L., Li, X., Wang, Y., Gao, X., Jia, Y., Guan, L., Li, M., Wu, K., & Wang, Z. (2021). Genome wide association study of plant height and tiller number in hulless barley. *PLoS One*, *16*(12), Article e0260723. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0260723>
34. Gasparis, S., & Miłoszewski, M. M. (2023). Genetic basis of grain size and weight in rice, wheat, and barley. *International Journal of Molecular Sciences*, *24*(23), Article 16921. <https://doi.org/10.3390/ijms242316921>
35. Thirulogachandar, V., & Schnurbusch, T. (2021). 'Spikelet stop' determines the maximum yield potential stage in barley. *Journal of Experimental Botany*, *72*(22), 7743–7753. <https://doi.org/10.1093/jxb/erab342>
36. Lenartowicz, T., Bujak, H., Przystalski, M., Piecuch, K., Jnczyk, K., & Feledyn-Szewczyk, B. (2024). Yield stability and adaptability of spring barley (*Hordeum vulgare*) varieties in Polish organic field trials. *Agronomy*, *14*(9), Article 1963. <https://doi.org/10.3390/agronomy14091963>
37. Kulheri, A., Rajput, S. S., Punia, S. S., & Jakhar, K. (2024). Stability analysis in six-row barley genotypes for grain yield in multi-environmental trials using Eberhart and Russel (1966). *International Journal of Environment and Climate Change*, *14*(7), 10–15. <https://doi.org/10.9734/ijec/2024/v14i74247>
38. Elakhdar, A., El-Naggar, A. A., El-Wakeel, S., & Ahmed, A. H. (2025). Integrating univariate and multivariate stability indices for breeding climate-resilient barley cultivars. *BMC Plant Biology*, *25*(1), Article 76. <https://doi.org/10.1186/s12870-024-05530-6>
39. Anshori, M. F., Musa, Y., Farid, M., Jayadi, M., Padjung, R., Kaimuddin, K., Huang, Y. C., Casimero, M., Bogayong, I., Suwarno, W. B., Sembiring, H., Purwoko, B. S., Nur, A., Wahyuni, W., Wasonga, D. O., & Seleiman, M. F. (2024). A comprehensive multivariate approach for G×E interaction analysis in early maturing rice varieties. *Frontiers in Plant Science*, *15*, Article 1462981. <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1462981>
40. Wang, R., Wang, H., Huang, S., Zhao, Y., Chen, E., Li, F., Qin, L., Yang, Y., Guan, Y., Liu, B., & Zhang, H. (2023). Assessment of yield performances for grain sorghum varieties by AMMI and GGE biplot analyses. *Frontiers in Plant Science*, *14*, Article 1261323. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1261323>
41. Demelash, H. (2024). Genotype by environment interaction, AMMI, GGE biplot, and mega environment analysis of elite *Sorghum bicolor* (L.) Moench genotypes in humid lowland areas of Ethiopia. *Heliyon*, *10*(5), Article e26528. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e26528>
42. Wondaferew, D., Mullualem, D., Bitewlgn, W., Kassa, Z., Abebaw, Y., Ali, H., Kebede, K., & Astatkie, T. (2024). Cultivating sustainable futures: multi-environment evaluation and seed yield stability of faba bean (*Vicia faba* L.) genotypes by using different stability parameters in Ethiopia. *BMC Plant Biology*, *24*(1), Article 1108. <https://doi.org/10.1186/s12870-024-05829-4>
43. Esan, V. I., Oke, G. O., Ogunbode, T. O., & Obisesan, I. A. (2023). AMMI and GGE biplot analyses of Bambara groundnut [*Vigna subterranea* (L.) Verdc.] for agronomic performances under three environmental conditions. *Frontiers in Plant Science*, *13*, Article 997429. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.997429>
44. Mekonnen, B., & Gurmu, F. (2024). Evaluation of the performance and stability of early maturing orange-fleshed sweet potato genotypes in selected areas in Ethiopia. *PLoS ONE*, *19*(10), Article e0310273. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0310273>
45. Nagrale, S. C., Sakhare, S. B., Nichal, S. S., Yadirwar, P. V., Tayade, N. R., & Verma, L. K. (2023). Stability and G×E interaction study in sunflower (*Helianthus annuus* L.) for diverse environments. *Electronic Journal of Plant Breeding*, *14*(2), 601–607. <https://doi.org/10.37992/2023.1402.077>
46. Sadhu, S., Chakraborty, M., Roy, S. K., Mondal, A., & Dey, S. (2024). Stability analysis on elite genotypes of Indian Mustard (*Brassica juncea* L.) in Terai agro-climatic region. *Electronic Journal of Plant Breeding*, *15*(3), 660–670. <https://doi.org/10.37992/2024.1503.084>
47. Bomma, N., Shruthi, H. B., Soregaon, C. D., Gaddameedi, A., Suma, K., Pranati, J., Chandappa, L. H., Patil, D. K., Kumar, N., Sandeep, S., Vemula, A., & Gangashetty, P. I. (2024). Multi-environment testing for G×E interactions and identification of high-yielding, stable, medium-duration pigeonpea genotypes employing AMMI, GGE biplot, and YREM analyses. *Frontiers in Plant Science*, *15*, Article 1396826. <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1396826>
48. Azon, C. F., Fassinou Hotegni, V. N., Sogbohossou, D. E. O., Gnanglè, L. S., Bodjrenou, G., Adjê, C. O., Dossa, K., Agbangla, C., Quenum, F. J. B., & Achigan-Dako, E. G. (2023). Genotype × environment interaction and stability analysis for seed yield and yield components in sesame (*Sesamum indicum* L.) in Benin Republic using AMMI, GGE biplot and MTSI. *Heliyon*, *9*(11), Article e21656. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e21656>
49. Jayalakshmi, V., Laxuman, C., Patil, M. D., Ramadevi, S., & Reddy, A. L. (2024). Stability analysis for yield and yield related traits in advance breeding lines of chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Electronic Journal of Plant Breeding*, *15*(1), 132–137. <https://doi.org/10.37992/2024.1501.022>
50. Eberhart, S. A., & Russel, W. A. (1966). Stability parameters for comparing varieties. *Crop Science*, *6*(1), 36–40. <https://doi.org/10.2135/cropsci1966.0011183X000600010011x>
51. Wricke, G. (1962). Über eine Methode zur Erfassung der ökologischen Streubreite in Feldversuchen. *Zeitschrift für Pflanzenzüchtung*, *47*, 92–96.
52. Lin, C. S., & Binns, M. R. (1988). A superiority measure of cultivar performance for cultivar × location data. *Canadian Journal of Plant Science*, *68*(1), 193–198. <https://doi.org/10.4141/cjps88-018>
53. Huehn, M. (1990). Nonparametric measures of phenotypic stability. Part 1: Theory. *Euphytica*, *47*(3), 189–194. <https://doi.org/10.1007/BF00024241>
54. Hudzenko, V. M., Buniak, N. M., Tsentylo, L. V., Demydov, O. A., Fedorenko, I. V., Fedorenko, M. V., Ishchenko, V. A., Kozelets, H. M., Khudolii, L. V., Lashuk, S. O., & Syplyva, N. O. (2022). Evaluation of grain yield performance and its stability in various spring barley accessions under condition of different agroclimatic zones of Ukraine. *Biosystems Diversity*, *30*(4), 406–422. <https://doi.org/10.15421/012240>
55. Frutos, E., Galindo, M. P., & Leiva, V. (2014). An interactive biplot implementation in R for modeling genotype-by-environment interaction. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, *28*(7), 1629–1641. <https://doi.org/10.1007/s00477-013-0821-z>
56. Yan, W., & Tinker, N. A. (2006). Biplot analysis of multi-environment trial data: principles and applications. *Canadian Journal*

- of *Plant Science*, 86(3), 623–645. <https://doi.org/10.4141/P05-169>
57. Yan, W., Kang, M. S., Ma, B., Woods, S., & Cornelius, P. L. (2007). GGE biplot vs. AMMI analysis of genotype-by-environment data. *Crop Science*, 47(2), 641–653. <https://doi.org/10.2135/cropsci2006.06.0374>
58. Gauch, H. G., Piepo, H.-P., & Annicchiarico, P. (2008). Statistical analysis of yield trials by AMMI and GGE: Further consideration. *Crop Science*, 48(3), 866–889. <https://doi.org/10.2135/cropsci2007.09.0513>

UDC 633.16:631.527:581.1(477.41/.42)

Hudzenko, V. M.^{1,2*}, Lysenko, A. A.³, Polishchuk, T. P.⁴, Buniak, N. M.¹, Kuzmenko, Ye. A.⁴, Yurchenko, T. V.⁴, Khudolij, L. V.², & Kokhovska, I. V.² (2025). Genetic sources of yield and stability for winter barley breeding under conditions of the Ukrainian Forest-Steppe. *Plant Varieties Studying and Protection*, 21(1), 25–38. <https://doi.org/10.21498/2518-1017.21.1.2025.327499>

¹Nosivka Plant Breeding and Experimental Station of the V. M. Remeslo Myronivka Institute of Wheat of the NAAS of Ukraine, 1 Myru St., Doslidne village, Nosivka district, Chernihiv region, 17131, Ukraine, *e-mail: barley22@ukr.net

²Ukrainian Institute for Plant Variety Examination, 15 Horikhuvatskyi Shliakh St., Kyiv, 03041, Ukraine

³“Kyiv-Atlantic Ukraine” LLC, 8 Stepova St., Myronivka, Obukhiv district, Kyiv region, 08800, Ukraine

⁴The V. M. Remeslo Myronivka Institute of Wheat of the NAAS of Ukraine, 68 Tsentralna St., Tsentralne village, Obukhiv district, Kyiv region, 08853, Ukraine

Purpose. To determine the peculiarities of the level of manifestation and yield variability of winter barley accessions, and to identify genetic sources for breeding in the Ukrainian Forest-Steppe. **Methods.** The research was conducted at the V. M. Remeslo Myronivka Institute of Wheat of NAAS in 2018/19, 2020/21 and 2021/22. A total of 74 spring barley samples of different origins were used for the research. The interaction “genotype × year” was determined and the accessions characterized using the statistical parameters of adaptability and graphical models AMMI and GGE biplot. The latter were then grouped using cluster analysis. Analysis of variance and correlation analyses were used to determine the level of reliability in the experiment and the relationship between the adaptability parameters, respectively. **Results.** Significant variability in yield was found both between years of the study (from 436 g/m² in 2018/19 to 621 g/m² in 2021/22) and between accessions within a year (2018/19 – from 625 to 171 g/m², 2020/21 – from 738 to 138 g/m², 2021/22 – from 855 to 374 g/m²). According to the AMMI model, statistically high shares of contribution to the total phenotypic variation were found for all its sources: year (41.72%), genotype (37.30%), and “genotype × year” interaction (21.15%). The first two principal components of this model covered 100% of the “geno-

type × year” variation, while the GGE biplot covered 85.14%. There were 12 accessions of winter barley of different origin [‘Merlo’ (FRA), ‘MIR 12-11’ (UKR), ‘Titus’ (DEU), ‘Akademichnyi’ (UKR), ‘MIR 12-9’ (UKR), ‘Snihova koroleva’ (UKR), ‘Novosadski 525’ (SRB), ‘Novosadski 737’ (SRB), ‘Matador’ (FRA), ‘Radical / Pervenets’ (SYR), ‘Scarpia’ (DEU), ‘Manitum’ (FRA)], which had significantly higher yields than the standard ‘Zherar’ (UKR) (587–685 g/m² vs. 534 g/m²). However, even among them, the level of the latter showed different reactions to the conditions of particular years. This was reflected in different values of statistical parameters of adaptability and graphical distribution of accessions in the coordinates of the principal components of the AMMI and GGE biplot models. Based on the yield variation limits and statistical parameters of adaptability, the selected accessions were divided into five distinct clusters. **Conclusions.** The combination of high-yielding accessions from different clusters as the parental components of crosses, in accordance with ecological and geographical principles, will be of great practical importance in creating source material to increase winter barley yields and adaptability in Ukrainian Forest-Steppe region.

Keywords: *Hordeum vulgare* L.; statistical parameter of adaptability; AMMI; GGE biplot; correlation; cluster analysis.

Надійшла / Received 04.03.2025
Погоджено до друку / Accepted 28.03.2025

Combinational ability of varieties and self-pollinated lines of industrial hemp for seed and oil use in the topcross system

S. V. Mishchenko^{1,2*}, V. M. Kabanets², H. I. Kyrychenko²,
T. Yu. Marchenko^{3,4}, H. M. Laiko²

¹Oleksandr Dovzhenko Hlukhiv National Pedagogical University, 24 Kyivska St., Hlukhiv, Sumy region, 41400, Ukraine, *e-mail: serhii-mishchenko@ukr.net

²Institute of Bast Crops, NAAS of Ukraine, 45 Tereshchenkiv St., Hlukhiv, Sumy region, 41400, Ukraine

³Institute of Climate-Smart Agriculture, NAAS of Ukraine, 24 Maiatska Doroha St., Khlivodarske, Odesa district, Odesa region, 67667, Ukraine

⁴Odesa State Agrarian University, 99 Kanatna St., Odesa, 65039, Ukraine

Purpose. To determine the peculiarities of total combining ability (TCA) and variances specific combining ability (SCA) effects of maternal components and test varieties of intervarietal and linear-varietal hybrids of monoecious hemp on the basis of seed productivity and oil content, to determine the predominance of additive or non-additive gene effects and to identify components with the highest breeding value, to give a forecast of the effectiveness of selection in hybrid populations. **Methods.** Combining ability was determined in the system of complete topcrosses. The varieties 'YUSO 31', 'Demetra', 'Artemida', 'Aphrodita', 'Harmoniia', 'Hlesiia', 'Hlukhivski 33', 'Hlukhivski 51' and their self-pollinated lines of the fourth generation were used as maternal forms, which were crossed with three test varieties 'Hliana', 'Aphina' and 'Mykolaichyk' (48 hybrid variants in total). The results of measurements were interpreted by arithmetic mean, F-test (R. A. Fisher), least significant difference and ranked. **Results.** The study of hemp varieties and their self-pollinated lines by the parameters of combining ability as maternal components of crosses showed significant differentiation by the effects of TCA (from -22.60 to 21.40 by inflorescence length, from -10.35 to 15.15 by seed weight, from -3.91 to 3.23 by thousand seed weight, from -2.40 to 3.76 by oil content) and SCA variances (6.72–233.23; 3.25–78.29; 0.01–0.10 and 0.01–2.10, respectively). The highest SCA was observed in the maternal forms of 'Aphrodita', I₄ 'Aphrodita', I₄ 'Demetra' and I₄ 'Hlukhivski 51' and the tester variety 'Aphina'. A comparison of the effects of TCA and SCA variances revealed that the 'Aphrodita' variety and its self-pollinated line I₄ were the best crossing components. **Conclusions.** In the analysed crosses, the additive effects of genes prevail in terms of thousand-seed weight and oil content, indicating the feasibility of selecting for phenotype. In contrast, non-additive effects prevail in terms of inflorescence length and seed weight, indicating the need for genotype selection. To increase seed productivity and oil content through combination breeding, it is advisable to use linear-varietal crosses where the maternal components have either high TCA and high SCA or medium TCA and high SCA.

Keywords: *Cannabis sativa* L.; breeding; hybrid; total and specific combining ability, productivity; heterosis; additive effects of genes; non-additive effects of genes.

Introduction

Industrial hemp (*Cannabis sativa* L.) is a valuable traditional fibre crop. It is usually cultivated until it reaches technical maturity in order to maximize the yield of high-quality

stems and fiber. Two-sided cultivation (until biological maturity) using a sparse sowing method with 45 cm row spacing was usually employed to produce seed material for propagation within the seed production system. Seeds for food purposes were rarely used. In recent decades, however, there has been a significant increase in the cost of natural fiber production and a lack of processing plants, resulting in a decrease in production. At the same time, there has been a rapid increase in demand for hemp seeds as a source of valuable oil containing an optimal ratio of fatty acids, proteins, vitamins, and other nutrients [1–3].

A comprehensive study of the biologically active substances in hemp seeds of the domestic variety 'Hlesiia', hemp oil and cake [4], showed

Serhii Mishchenko

<https://orcid.org/0000-0002-1979-4002>

Victor Kabanets

<https://orcid.org/0009-0002-3412-8857>

Hanna Kyrychenko

<https://orcid.org/0000-0003-3609-3141>

Tetiana Marchenko

<https://orcid.org/0000-0001-6994-3443>

Hanna Laiko

<https://orcid.org/0000-0002-7100-8558>



© The Author(s) 2025. Published by Ukrainian Institute for Plant Variety Examination.

This is an open access article distributed under the terms of the license CC BY-SA 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>), which permits use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

the presence of several valuable macro- and micronutrients in the raw materials under study, which can be arranged in descending order of content as follows: Ca, Mg, Si, Fe, Al, Mn, Zn, Sr, B, Cu, Ba, Cr, Ni, Se, Co, Mo, Cd, Be and I. Sixteen amino acids were identified, seven of which are essential (leucine, valine, threonine, lysine, methionine, isoleucine and phenylalanine), as well as two amino acids that are essential for children (histidine and arginine) [4]. The main fatty acids found in all samples were linoleic, oleic and linolenic acids. The samples also had a high content of α - and γ -tocopherol. The seeds and cake contained 32.8–34.6% protein.

Thus, breeding aimed at improving seed productivity and increasing oil content is becoming increasingly important for harvesting oil and obtaining competitive raw materials for use in functional food products [5]. At the same time, however, researchers note that there is limited scientific justification for the choice of breeding methods for industrial hemp seed and oil production [5]. Recently, advanced hemp breeding methods using genomics have emerged, including marker-assisted breeding, transgenesis, and genome editing [6], as well as somaclonal variation, mutagenesis, and polyploidisation *in vitro* [7]. However, the difficulty of cultivating cannabis *in vitro* for breeding purposes lies in the lack of direct correlation between *in vitro* and *in vivo* growth and development parameters, indicating that the performance of cannabis plants *in vitro* is not predictive of *in vivo* performance [8]. Classical methods of selection and hybridization remain the main approaches in breeding this crop, and including self-pollinated lines in crosses produces promising results [5].

Breeding hemp, a cross-pollinated plant species, has its own specific characteristics and is complicated by the search for parental components that ensure high productivity (heterosis) for one or more traits in successive generations. Inbred (self-pollinated) lines are often used as the basis for creating hybrids. Inbred lines used in crosses are subject to continuous improvement through selection or other methods [9]. The main feature of inbreeding that interests breeders is the reduction or loss of heterozygosity. Cross-pollinated crops that are heterozygous generally have greater adaptability to environmental factors than homozygous crops. However, self-pollination and the transition to homozygosity are accompanied by inbreeding depression, which disappears as a result of crosses.

In addition, it has been experimentally confirmed that some hemp traits (particularly bio-

chemical traits) are more strongly influenced by environmental factors than others. Therefore, establishing their genetic control and the patterns by which genotypes are implemented in phenotypes in relation to environmental influences, as well as testing the crop under different environmental conditions, is an integral part of breeding programs to create new varieties [10]. Assessing the variance of breeding traits due to environmental factors and “genotype \times environment” interactions has helped identify traits that are almost entirely genetically determined, such as the length of the growing season and the accumulation of tetrahydrocannabinol and cannabidiol. Traits that are strongly influenced by environmental factors and “genotype \times environment” interactions include seed yield, plant height and water consumption [10]. The level of oil accumulation in hemp seeds and their fatty acid composition mainly depend on the genotype (variety) and air temperature after the flowering phase of the plants [11–13]. These quantitative traits are usually more variable than qualitative ones since hereditary differences are determined by many genes (polygenic) with a significant impact on trait development and different types of interaction between them. Quantitative traits are also highly dependent on external factors (environmental conditions).

The above features confirm the importance of studying the combinational ability of crossing components and identifying additive and non-additive genes. This allows us to develop strategies and tactics for attracting source forms based on selection by phenotype (manifested in specific environmental conditions) or genotype, with the aim of creating highly productive hybrids. When selecting parental pairs to create hybrids, it is necessary to predict not only the possibility of heterosis, but also ensure the hybrid inherits the desired traits and properties for economic value. The main requirement for the parental forms is that they have a high combining ability. The combinational value of any parental form can be expressed in two ways: as the average heterosis value for all hybrid combinations, or as the value for a particular cross. The former characterizes total combining ability (TCA) and is mainly determined by the additive effects of a given parental form's genes, while the latter characterizes specific combining ability (SCA) and is mainly determined by the non-additive effects of genes [14].

The aim of the research is to establish the peculiarities of the effects of TCA and SCA variances of maternal components, and to test varieties of intervarietal and linear-varietal hy-

brids of monoecious hemp based on seed productivity and oil content. The research also aims to determine the prevalence of additive or non-additive gene effects, identify components with the highest breeding value and forecast the effectiveness of selections in hybrid populations.

Research materials and methods

The research was conducted from 2021 to 2024 at the Institute of Bast Crops of the NAAS of Ukraine in Hlukhiv, Sumy Region (geographical coordinates: 51°39' N and 33°59' E). The effects of TCA and SCA variances were determined using the complete topcross system according to the methodology of P. P. Litun and M. V. Proskurnin [14]. The following varieties of domestic breeding were used as maternal forms: 'YUSO 31', 'Demetra', 'Artemida', 'Aphrodita', 'Harmonia', 'Hlesia', 'Hlukhivski 33' and 'Hlukhivski 51', as well as their self-pollinated lines of the fourth generation (I_4). These were crossed in isolated nurseries with three test varieties, 'Hliana' (tester 1), 'Aphina' (tester 2) and 'Mykolaichyk' (tester 3), which had different levels of hybridization combining ability. The male flowers on the maternal plants were sterilised using the gametocides 2-chloroethylphosphonic acid (0.6% aqueous solution) and/or dibutyl phthalate (2% aqueous suspension) as they appeared.

The F_1 offspring were cultivated in an evaluation nursery with a plant nutrition area of 30×5 cm (1 m² plot area, six replications) and analyzed for the primary breeding traits that determine the suitability of the material for creating seed-oil varieties for economic use: inflorescence length and weight of a thousand seeds (indirect traits), as well as seed weight per plant and oil content in seeds (direct traits). The oil content of the seeds was determined in six replicates using a Soxhlet extractor with an organic solvent (diethyl ether) and by measuring the weight of the degreased residue.

During the years of research, weather conditions were characterized by variability and deviations from long-term averages, which had a positive or negative impact on the successful growth and development of hemp. Conditions in 2022 were generally favorable for high yields of this crop, whereas in 2023 they were only partially favorable. The average daily air temperature in 2024 was significantly higher than the long-term average (18.2 °C during the growing season, compared to 16.0 °C), particularly in June, July and August when the hemp flowered and formed seeds. However, there was insufficient precipitation (221 mm in 2023 and

190 mm in 2024 compared to a long-term average of 317 mm). Sufficient atmospheric moisture was observed in April, June and July in these years. August was particularly dry. These conditions enabled a comprehensive evaluation of the hybrids in terms of their breeding trait expression in changing agroecological conditions.

Results and discussion

Topcross intervarietal and linear-varietal hybrids in F_1 were characterized by variability in breeding traits that determine high seed productivity and oil content. Inflorescence length ranged from 50 cm (I_4 'Hlukhivski 33' / 'Hliana') to 172 cm (I_4 'Demetra' / 'Aphina'), seed weight per plant from 4.9 g (I_4 'Harmonia' / 'Mykolaichyk') to 64.6 g (I_4 'Aphrodita' / 'Aphina'), and weight of a thousand seeds from 14.0 g (I_4 'Harmonia' / 'Hliana') to 22.1 g (I_4 'Aphrodita' / 'Aphina'), and oil content in seeds ranged from 30.5% ('Artemida' / 'Hliana' and I_4 'Artemis' / 'Hliana') to 43.5% ('Demetra' / 'Aphina'). In terms of the level of trait manifestation, first generation hybrids usually exceeded the original parental forms. Based on analysis of variance using the F-test (R. A. Fisher), significant influences of the sources of variance of the hybrids, the maternal forms and the test varieties on the variability of the quantitative breeding traits of hemp plants were established. This provided grounds for establishing the TCA and SCA of the studied maternal components (varieties and their self-pollinated lines) and the testers.

In accordance with the average deviation from the overall average of all hybrids obtained through crosses involving a particular tester, the value of each maternal form was determined by the effects of TCA in the first generation, which differed significantly in three-tester crosses.

Significant (at the 0.05 level) positive effects of TCA were found in the following maternal components:

– 'Demetra' ($g_i = 14.06$), I_4 'Demetra' (21.40), 'Aphrodita' (12.06), I_4 'Aphrodita' (10.40), 'Harmonia' (9.06) and I_4 'Hlukhivski 51' (20.06) for inflorescence length;

– I_4 'Artemida' ($g_i = 5.11$), 'Aphrodita' (13.75), I_4 'Aphrodita' (15.15) and I_4 'Hlesia' (9.61) for the trait of seed weight per plant;

– I_4 'Demetra' ($g_i = 2.39$), I_4 'Artemida' (1.03), 'Aphrodita' (1.53), I_4 'Aphrodita' (3.23) and I_4 'Hlukhivski 51' (2.53) for the weight of a thousand seeds;

– I_4 'YUSO 31' ($g_i = 1.13$), I_4 'Demetra' (3.76), 'Aphrodita' (0.90), I_4 'Aphrodita' (2.90) and I_4 'Hlukhivski 51' (0.86) for oil content (Table 1).

Table 1

Estimates of the TCA (g_i) effects on the breeding traits of maternal components of intervarietal and linear-varietal hybrids of industrial hemp

Variety, self-pollinated line	Traits			
	Inflorescence length, cm	Seed weight, g	Weight of 1000 seeds, g	Oil content, %
'YUSO 31'	-1.27	-3.35	-1.07	-1.00
I ₄ 'YUSO 31'	-8.27	2.91	-0.54	1.13
'Demetra'	14.06	-2.82	-0.37	-2.40
I ₄ 'Demetra'	21.40	-4.68	2.39	3.76
'Artemida'	-2.27	2.81	-0.27	-1.10
I ₄ 'Artemida'	-3.27	5.11	1.03	-0.94
'Aphrodita'	12.06	13.75	1.53	0.90
I ₄ 'Aphrodita'	10.10	15.15	3.23	2.90
'Harmoniia'	9.06	-10.02	-3.91	0.30
I ₄ 'Harmoniia'	4.73	2.11	-3.67	0.53
'Hlesiiia'	-18.60	-6.75	-1.91	-0.14
I ₄ 'Hlesiiia'	2.06	9.61	-0.17	-0.84
'Hlukhivski 33'	-20.27	-10.35	-0.24	-1.67
I ₄ 'Hlukhivski 33'	-22.60	-8.95	0.53	-1.27
'Hlukhivski 51'	-17.27	-6.72	0.93	-1.04
I ₄ 'Hlukhivski 51'	20.06	2.18	2.53	0.86
LSD _{0.05}	5.79	3.18	0.97	0.73

Thus, 'Aphrodita' and I₄ 'Aphrodita' had the highest TCA for all the studied traits, as well as I₄ 'Demetra' and I₄ 'Hlukhivski 51' (except for seed weight). High negative effects of the TCA were found to be significant at the 0.05 level in the varieties 'YUSO 31', 'Hlesiiia', 'Hlukhivski 33', I₄ 'Hlukhivski 33' and 'Hlukhivski 51'. These varieties are not desirable for inclusion in crosses to create initial breeding material for seed and oilseed production for economic use. Self-pollinated lines were characterized by higher positive effects of TCA and less frequently showed negative values than their original varieties, indicating their significant value in combination breeding and the benefits of line-variety hybridization over intervening hybridization. It can be assumed that new polygenic complexes formed in this case, determining the high combinational ability.

Tester 2 exhibited high positive effects of TCA (significant at the 0.05 level) for all traits studied. Tester 1 exhibited high negative effects (significant except for seed weight), and Tester 3 exhibited mostly medium positive effects (insignificant). See Table 2 for details.

Table 2

Estimates of the TCA (g_i) effects of the testers

Variety, self-pollinated line	Characteristics			
	Inflorescence length, cm	Seed weight, g	Weight of 1000 seeds, g	Oil content, %
Tester 1	-14.60	-6.42	-0.48	-3.42
Tester 2	10.96	9.69	0.36	2.21
Tester 3	3.64	-3.27	0.12	1.21
LSD _{0.05}	10.34	7.05	0.34	2.03

The following maternal components have a high SCA variances (above average):

– I₄ 'YUSO 31' ($\sigma_s^2 = 57.43$), I₄ 'Demetra' (139.55), 'Aphrodita' (90.80), I₄ 'Aphrodita'

(93.57), I₄ 'Hlesiiia' (233.23) and 'Hlukhivski 33' (103.53) (on the basis of inflorescence length);

– 'Artemida' ($\sigma_s^2 = 44.36$), 'Aphrodita' (30.99), I₄ 'Aphrodita' (27.86), I₄ 'Harmoniia' (78.29), I₄ 'Hlesiiia' (39.18) and I₄ 'Hlukhivski 51' (31.82) for seed weight per plant;

– 'YUSO 31' ($\sigma_s^2 = 0.03$), 'Harmoniia' (0.05), I₄ 'Hlesiiia' (0.05), 'Hlukhivski 33' (0.10) and I₄ 'Hlukhivski 33' (0.04) by weight per thousand seeds;

– 'Artemida' ($\sigma_s^2 = 1.93$) and I₄ 'Artemida' (2.10) by oil content (Table 3).

Table 3

SCA (σ_s^2 variances) of maternal components of intervarietal and linear-varietal hybrids of industrial hemp by breeding traits

Variety, self-pollinated line	Traits			
	Inflorescence length, cm	Seed weight, g	Weight of 1000 seeds, g	Oil content, %
'YUSO 31'	6.71	7.58	0.03	0.01
I ₄ 'YUSO 31'	57.43	3.29	0.02	0.01
'Demetra'	13.71	5.39	0.02	0.04
I ₄ 'Demetra'	139.55	4.15	0.01	0.07
'Artemida'	11.53	44.36	0.01	1.93
I ₄ 'Artemida'	17.82	9.31	0.01	2.10
'Aphrodita'	90.80	30.99	0.01	0.01
I ₄ 'Aphrodita'	93.57	27.86	0.01	0.01
'Harmoniia'	7.88	1.17	0.05	0.01
I ₄ 'Harmoniia'	34.05	78.29	0.01	0.03
'Hlesiiia'	15.61	3.25	0.01	0.04
I ₄ 'Hlesiiia'	233.23	39.18	0.05	0.20
'Hlukhivski 33'	103.53	7.61	0.10	0.01
I ₄ 'Hlukhivski 33'	13.94	6.86	0.04	0.03
'Hlukhivski 51'	48.76	6.43	0.02	0.20
I ₄ 'Hlukhivski 51'	10.12	31.82	0.01	0.01
Average	56.14	19.22	0.03	0.29

Thus, 'Hlesiiia' had the best SCA for three traits, as did 'Artemis', 'Aphrodita', I₄ 'Aphrodita' and 'Hlukhivski 33' for two traits. The maternal components of 'Demetra', 'Hlesiiia' and 'Hlukhivski 51' had values of SCA variances

that were lower than average for all four of the studied traits. In some crosses, the varieties had a higher SCA than their original forms, while in others, the self-pollinated lines did. The 'ideal' component of the crosses was 'Aphrodita' and its fourth-generation self-pollinated line, which had high positive TCA and high SCA variances.

According to the traits of inflorescence length, high (above the average value) SCA variances had tester 2 ($\sigma_{s_i}^2 = 163.9$) and tester 3 (150.63), seed weight – tester 2 (52.23), weight of a thousand seeds – tester 1 (0.06) and tester 2 (0.05), oil content – tester 1 (1.05). Thus, tester 2 (variety 'Aphina') has a high positive TCA and SCA and can be successfully used as a pollinator in hemp crosses (see Table 4).

Table 4

SCA (variances $\sigma_{s_i}^2$) of testers

Variety, self-pollinated line	Traits			
	Inflorescence length, cm	Seed weight, g	Inflorescence length, cm	Oil content, %
Tester 1	16.84	15.10	0.06	1.05
Tester 2	163.60	52.23	0.08	0.52
Tester 3	150.63	18.76	0.02	0.54
Medium	110.39	28.70	0.05	0.70

Having analysed the SCA variances, we can conclude that it is advisable to approach the development of breeding material for a particular economic use – in this case, seeds and oilseeds – as well as the prediction of trait manifestation, breeding characteristics and genetics, in a differentiated manner, taking SCA into account. Maternal components should have either a high TCA and a high SCA or a medium TCA and a high SCA. Depending on the purpose of creating the original breeding material, high SCA may be required for only one desired trait. Low and medium SCA variances indicate that the form with such indicators stably transmits the studied trait to hybrids, while high SCA variances indicate that a large proportion of heterotic hybrids can be predicted in the offspring.

By comparing the effects of the TCA and SCA variances, it was found that in the analysed crosses the additive effects of genes prevail in terms of thousand-seed weight and oil content (this indicates the expediency of phenotype selection), and non-additive effects – in terms of inflorescence length and seed weight (this indicates the need for genotype selection). This pattern is fully consistent with the fact that the expression of the last two traits depends on the area of plant nutrition, i.e. the influence of environmental factors on the implementation of the genotype is pronounced. Non-additive ef-

fects of genes are more common in intervarietal crosses, while additive effects are more common in hybrid combinations involving self-pollinated lines. If the studied traits are dominated by additive effects of genes determined by the joint action of alleles of one locus, and the phenotypic expression of the trait value mainly reflects its genotypic expression, then the selection will be effective, and the use of this maternal component in breeding, in particular hemp, will be appropriate (Table 5).

Table 5

The prevalence of additive (A) or non-additive (N) effects of genes by breeding traits in maternal components

Variety, self-pollinated line	Traits			
	Inflorescence length, cm	Seed weight, g	Inflorescence length, cm	Oil content, %
'YUSO 31'	N	N	A	A
I ₄ 'YUSO 31'	N	N	A	A
'Demetra'	A	N	A	A
I ₄ 'Demetra'	N	A	A	A
'Artemida'	N	N	A	N
I ₄ 'Artemida'	N	N	A	N
'Aphrodita'	N	N	A	A
I ₄ 'Aphrodita'	N	N	A	A
'Harmoniia'	A	A	A	A
I ₄ 'Harmoniia'	N	N	A	A
'Hlesiiia'	A	A	A	A
I ₄ 'Hlesiiia'	N	N	A	A
'Hlukhivski 33'	N	A	A	A
I ₄ 'Hlukhivski 33'	A	A	A	A
'Hlukhivski 51'	N	A	A	A
I ₄ 'Hlukhivski 51'	A	N	A	A

It is important to establish the characteristics of the components of crosses for TCA and SCA, the ratio of their effects and variances in F_1 , and the type of gene action (additive or non-additive), in order to predict the manifestation of heterosis and the genetic characteristics of the source material. This information is also useful for determining the effectiveness of selections in hybrid populations based on quantitative traits, and for justifying further breeding directions, as has been proven on the example of many agricultural crops [15–17], including industrial hemp [18]. When using the hybridisation method, breeders carry out a large number of cross combinations, but successful hybrids are rare. Using parental forms with high TCA in crosses increases efficiency [14].

Intervarietal hybridisation remains the main method of creating hemp starting material and, subsequently, varieties. However, the offspring of such hybrids are usually heterogeneous in terms of breeding trait expression, necessitating long-term improvement selection. In contrast, with linear-varietal hybridisation, the offspring are more homogeneous and stable in terms of the expression of breeding traits, and

the need for improvement selection is minimal. The effectiveness of incorporating self-pollinated lines into crosses has been demonstrated by a number of competitive industrial hemp varieties [19]. At the same time, the monoecious form of hemp guarantees high seed productivity and oil content [20].

Conclusions

Studying cannabis varieties and their self-pollinated lines for their combining ability as components of intervarietal and linear-varietal crosses revealed significant differentiation in terms of the effects of TCA and SCA variances. The highest TCA was observed in the maternal forms of 'Aphrodita', 'I₄ Aphrodita', 'I₄ Demetra' and 'I₄ Hlukhivski 51', as well as in the tester variety 'Aphina'. The most effective cross components were 'Aphrodita' and its self-pollinated line I₄. Comparing the effects of TCA and SCA variances revealed that the additive effects of genes prevail in terms of thousand-seed weight and oil content, indicating the feasibility of selecting for phenotype. Conversely, non-additive effects prevail in terms of inflorescence length and seed weight, indicating the need for genotype selection. To increase seed productivity and oil content through combination breeding, it is advisable to use linear-varietal crosses where the maternal components have either high TCA and high SCA or medium TCA and high SCA. For synthetic populations, we recommend lines with high or medium TCA and only low SCA.

References

- Tănase Apetroaei, V., Pricop, E. M., Istrati, D. I., & Vizireanu, C. (2024). Hemp seeds (*Cannabis sativa* L.) as a valuable source of natural ingredients for functional foods – A review. *Molecules*, 29(9), Article 2097. <https://doi.org/10.3390/molecules29092097>
- Mishchenko, S. V., & Mokher, Yu. V. (Eds.). (2024). *Scientific support for the development of hemp cultivation in the 21st century*. FOP Tsoma S. P. <https://doi.org/10.48096/monograph.2024> [In Ukrainian]
- Muangrat, R., & Kaikonjanat, A. (2025). Comparative evaluation of hemp seed oil yield and physicochemical properties using supercritical CO₂, accelerated hexane, and screw press extraction techniques. *Journal of Agriculture and Food Research*, 19, Article 101618. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2024.101618>
- Struk, O., Grytskyk, A., Mikitin, M., Obodianskyi, M., Stasiv, T., & Svirska, S. (2022). Research of biologically active substances of hemp seeds, hemp seed oil and hemp pomace. *ScienceRise: Pharmaceutical Science*, 5(39), 46–54. <https://doi.org/10.15587/2519-4852.2022.241249>
- Eržen, M., Čeh, B., Kolenc, Z., Bosancic, B., & Čerenak, A. (2023). Evaluation of different hemp (*Cannabis sativa* L.) progenies resulting from crosses with focus on oil content and seed yield. *Industrial Crops and Products*, 201, Article 116893. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2023.116893>
- Gudi, S., M, P., Alagappan, P., Raigar, O. P., Halladakeri, P., Gowda, R. S. R., Kumar, P., Singh, G., Tamta, M., Susmitha, P., Amandeep, & Saini, D. K. (2024). (2024). Fashion meets science: How advanced breeding approaches could revolutionize the textile industry. *Critical Reviews in Biotechnology*, 44(8), 1653–1679. <https://doi.org/10.1080/07388551.2024.2314309>
- McLeod, A., Contreras, R., Halstead, M., & Vining, K. (2023). *In vivo* and *in vitro* chromosome doubling of 'I3' hemp. *HortScience*, 58(9), 1018–1022. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI17169-23>
- Halstead, M. A., Garfinkel, A. R., Marcus, T. C., Hayes, P. M., & Carrizo, D. R. (2022). Hemp growth *in vitro* and *in vivo*: A comparison of growing media and growing environments across 10 accessions. *HortScience*, 57(9), 1041–1047. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI16651-22>
- Priyadarshan, P. M. (2019). *Plant breeding: Classical to modern*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-981-13-7095-3>
- Campbell, B. J., Berrada, A. F., Hudalla, C., Amaducci, S., & McKay, J. K. (2019). Genotype × environment interactions of industrial hemp cultivars highlight diverse responses to environmental factors. *Agrosystems, Geosciences & Environment*, 2(1), Article 180057. <https://doi.org/10.2134/age2018.11.0057>
- Ferfuia, C., Zuliani, F., Danuso, F., Piani, B., Cattivello, C., Dorigo, G., & Baldini, M. (2021). Performance and stability of different monoecious hemp cultivars in a multienvironments trial in North-Eastern Italy. *Agronomy*, 11(7), Article 1424. <https://doi.org/10.3390/agronomy11071424>
- Tsaliki, E., Kalivas, A., Jankauskiene, Z., Irakli, M., Cook, C., Grigoriadis, I., Panoras, I., Vasilakoglou, I., & Dhima, K. (2021). Fibre and seed productivity of industrial hemp (*Cannabis sativa* L.) varieties under Mediterranean conditions. *Agronomy*, 11(1), Article 171. <https://doi.org/10.3390/agronomy11010171>
- Ferfuia, C., Fantin, N., Piani, B., Zuliani, F., & Baldini, M. (2024). Seed growth and oil accumulation in two different varieties of industrial hemp (*Cannabis sativa* L.). *Industrial Crops and Products*, 216, Article 118723. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2024.118723>
- Litun, P. P., & Proskurnin, M. V. (1992). *Genetics of quantitative traits. Genetic crosses and genetic analysis*. Uchbovo-metodychnyi kabinet vyshchoi osvity. [In Ukrainian]
- Chetverik, O. O., Zvyagin, A. F., & Kozachenko, M. R. (2014). Combining ability of soft winter wheat varieties by plant traits in F₁ hybrids in topcross system. *Plant Breeding and Seed Production*, 105, 85–92. <https://doi.org/10.30835/2413-7510.2014.42058> [In Ukrainian]
- Klimova, O. E. (2014). Differentiation recombinant line of the sweet corn on parameter of the combinational ability. *Plant Breeding and Seed Production*, 106, 111–120. <https://doi.org/10.30835/2413-7510.2014.42136> [In Ukrainian]
- Trush, S. G., Parfeniuk, O. O., Balaniuk, L. O., & Tatarchuk, V. M. (2023). Inheritance regularities of economic and valuable traits in selection of sugar beet simple cytoplasmic male sterile hybrids. *Agriculture and Plant Sciences: Theory and Practice*, 3(9), 105–113. <https://doi.org/10.54651/agri.2023.03.12> [In Ukrainian]
- Mishchenko, S. V. (2017). Effects of total and variances of specific combining ability of hemp inbred lines and varieties in topcross system. *Factors in Experimental Evolution of Organisms*, 21, 62–67. <https://doi.org/10.7124/FEE0.v21.808> [In Ukrainian]
- Mishchenko, S. V., Laiko, I. M., & Kyrychenko, H. I. (2021). Breeding of industrial hemp with a high content of cannabinigerol by the case of 'Vik 2020' cultivar. *Plant Varieties Studying and Protection*, 17(2), 105–112. <https://doi.org/10.21498/2518-1017.17.2.2021.236514>
- Salentijn, E. M. J., Petit, J., & Trindade L. M. (2019). The complex interactions between flowering behavior and fiber quality in hemp. *Frontiers in Plant Science*, 10, Article 614. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00614>

УДК 633.522:631.52:575

Міщенко С. В.^{1, 2*}, Кабанець В. М.², Кириченко Г. І.², Марченко Т. Ю.^{3, 4}, Лайко Г. М.² Комбінаційна здатність сортів і самозапилених ліній промислових конопель насіннево-олійного напрямку використання в системі топкросів. *Plant Varieties Studying and Protection*. 2025. Т. 21, № 1. С. 39-45. <https://doi.org/10.21498/2518-1017.21.1.2025.327500>

¹Глухівський національний педагогічний університет імені Олександра Довженка, вул. Київська, 24, м. Глухів, Сумська обл., 41400, Україна, e-mail: serhii-mishchenko@ukr.net

²Інститут луб'яних культур НААН України, вул. Терещенків, 45, м. Глухів, Сумська обл., 41400, Україна

³Інститут кліматично орієнтованого сільського господарства НААН України, вул. Маяцька дорога, 24, смт Хлібодарське, Одеський р-н, Одеська обл., 67667, Україна

⁴Одеський державний аграрний університет, вул. Канатна, 99, м. Одеса, 65039, Україна

Мета. Установити особливості ефектів загальної комбінаційної здатності (ЗКЗ) та варіанс специфічної комбінаційної здатності (СКЗ) материнських компонентів і сортів-тестерів міжсорткових та лінійносорткових гібридів однодомних конопель за ознаками насінневої продуктивності й олійності; визначити адитивні чи неадитивні ефекти генів і виділити компоненти, які мають найвищу селекційну цінність для прогнозування ефективності доборів у гібридних популяціях. **Методи.** Комбінаційну здатність визначали в системі повних топкросів. Материнськими формами слугували сорти 'ЮСО 31', 'Деметра', 'Артеміда', 'Афродіта', 'Гармонія', 'Глесія', 'Глухівські 33', 'Глухівські 51' та їхні самозапилені лінії четвертого покоління, які схрещували з сортами-тестерами 'Гляна', 'Афіна' та 'Миколайчик' (загалом 48 варіантів гібридів). Результати інтерпретували за середнім арифметичним, F-критерієм (Р. А. Фішера), найменшою істотною різницею та ранжували. **Результати.** Дослідження сортів конопель та їхніх самозапилених ліній як материнських компонентів схрещувань за параметрами комбінаційної здатності показало значну диференціацію за ефектами ЗКЗ (від -22,60 до 21,40 за ознакою довжини суцвіття, від -10,35 до 15,15 за

масою насіння, від -3,91 до 3,23 за масою тисячі насінин та від -2,40 до 3,76 за ознакою вмісту олії) та варіансами СКЗ (6,72-233,23; 3,25-78,29; 0,01-0,10 і 0,01-2,10 відповідно). Найвищу ЗКЗ мали материнські форми 'Афродіта', I₄ 'Афродіта', I₄ 'Деметра' й I₄ 'Глухівські 51', а також сорт-тестер 'Афіна'. На основі порівняння ефектів ЗКЗ і варіанс СКЗ встановлено, що найліпшими компонентами для схрещувань є сорт 'Афродіта' та його самозапилена лінія I₄. **Висновки.** У проаналізованих схрещуваннях адитивні ефекти генів переважають за ознаками маси тисячі насінин і вмісту олії (що свідчить про доцільність проведення доборів за фенотипом), а неадитивні – за довжиною суцвіття та масою насіння (це доводить необхідність доборів за генотипом). Для комбінаційної селекції на підвищення насінневої продуктивності й олійності доцільно використовувати лінійносорткові схрещування, водночас материнські компоненти повинні мати високі ЗКЗ та СКЗ або середню ЗКЗ і високу СКЗ.

Ключові слова: *Cannabis sativa L.*; селекція; гібрид; загальна та специфічна комбінаційна здатність; продуктивність; гетерозис; адитивні ефекти генів; неадитивні ефекти генів.

Надійшла / Received 04.04.2025
Погоджено до друку / Accepted 21.04.2025

Особливості тривалості періоду післязбирального дозрівання насіння пшениці м'якої (*Triticum aestivum* L.) та твердої (*T. durum* Desf.) ярої

А. А. Сіроштан¹, О. А. Заїма^{1*}, І. В. Федоренко¹,
М. В. Федоренко¹, В. П. Кавунець¹, С. С. Коляденко²

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

²Український інститут експертизи сортів рослин, вул. Горіхуватський шлях, 15, м. Київ, 03041, Україна

Мета. Установити тривалість періоду післязбирального дозрівання насіння залежно від особливостей нових сортів пшениці м'якої та твердої ярої. **Методи.** Дослідження проводили впродовж 2022–2024 рр. на 12 сортах пшениці м'якої ярої та шести твердої ярої, вирощених за попередником соєю. **Результати.** Протягом років проведення досліджень, зокрема в період колосіння – повної стиглості пшениці ярої, спостерігали відхилення показників кількості опадів і середньодобової температури від їхніх багаторічних значень. Це дало змогу одержати об'єктивні результати. Проаналізувавши експериментальні дані з визначення періоду післязбирального дозрівання насіння, встановили, що він значно триваліший у пшениці м'якої ярої, як порівняти з твердою ярою. У перші три доби динаміка проростання насіння пшениці ярої була дуже низькою (0–3%), що свідчить про фізіологічний стан спокою зерна одразу після збирання. У пшениці м'якої ярої це спостерігали й на п'яту та сьому добу – тоді кількість її пророслого насіння становила 1–12%, а от у більшості сортів твердої ярої вже на п'яту добу вказаний показник досягав 19–85% (крім 'МІП Райдужна' та 'МІП Ксенія' зі значенням 0–4%). Стан спокою насіння в більшості сортів пшениці м'якої ярої тривав 30–40 діб. Короткий період післязбирального дозрівання – приблизно 20 діб – був у 'Дубравка' та 'МІП Злата', а от у 'МІП Візерунок' і 'Панянка' він налічував понад 40 діб. Серед сортів пшениці твердої ярої короткий період спокою мали 'Жізель', 'МІП Магдалена' та 'МІП Перлина' (5–7 діб); тривалішим відзначилися 'Діана' (15 діб) та 'МІП Райдужна' (20 діб). **Висновки.** Наведені експериментальні дані свідчать про видову й сортову специфічність реакції процесу дозрівання насіння пшениці м'якої та твердої ярої на гідротермічні умови. Необхідно зважати на сортові відмінності за ознакою тривалості післязбирального дозрівання, щоб встановити біологічно обґрунтовані строки збирання. Це має надзвичайно важливе значення в технології вирощування насіння з високими посівними якістьми та врожайними властивостями.

Ключові слова: період спокою насіння; проростання насіння; сорти пшениці м'якої та твердої ярої.

Вступ

Пшениця яра становить інтерес для сільськогосподарського виробництва, оскільки формує зерно високої якості протягом досить короткого вегетаційного періоду та дає змогу оптимізувати технологічний процес за набору різних культур у господарствах [1]. Вона є резервом для отримання високоякісного продовольчого зерна, особливо в роки, коли ози-

мі зернові гинуть від несприятливих чинників навколишнього природного середовища, та з огляду на наукові прогнози щодо змін клімату [2].

Для стабілізації продовольчого ринку зерна потрібно розширювати (в обсягах не менше ніж 10% від посівних площ пшениці озимої) посівні площі пшениці ярої [3]. За розрахунками вчених, вони мають становити приблизно 1 млн га, зокрема пшениці м'якої – 650 тис. га, твердої – 350 тис. га [4]. Натепер пшеницю м'яку яру в Україні вирощують переважно у правобережних районах Лісостепу та Полісся, а тверду – в південних і східних степових районах [5].

Свідерко М. С. та ін. [6] зазначають, що протягом останніх десяти років поліпшено сортові ресурси пшениці ярої, завдяки чому можна значно розширити обсяги виробництва зерна. Сучасні сорти цієї культури здатні формувати врожайність на рівні 4,0–6,0 т/га [7]. Зусилля вітчизняних товаровиробників

Andrii Siroshstan

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

Oleksii Zaima

<https://orcid.org/0000-0001-5714-6308>

Iryna Fedorenko

<https://orcid.org/0000-0001-5471-6475>

Maryna Fedorenko

<https://orcid.org/0000-0002-3021-3643>

Valerii Kavunets

<https://orcid.org/0000-0002-6744-4947>

Svitlana Koliadenko

<https://orcid.org/0000-0001-5341-8601>



© The Author(s) 2025. Published by Ukrainian Institute for Plant Variety Examination. This is an open access article distributed under the terms of the license CC BY-SA 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>), which permits use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

продовольчого зерна повинні бути спрямовані на поліпшення його якісних показників [8], оскільки для харчових галузей потрібне зерно твердих і сильних пшениць з підвищеним вмістом клейковини.

Пшеницю тверду яру (*T. durum*) використовують у зерновому господарстві країни насамперед як сировину для макаронних виробів. Її переваги над іншими – це висока транспортабельність, тривалий період зберігання в сухому вигляді без втрати смакових властивостей, значна поживність і засвоюваність вуглеводів та білків пшеничного борошна. Також з високоякісного зерна *T. durum* виготовляють крупи високої харчової цінності та відмінної якості [9].

На відміну від пшениці м'якої (*T. aestivum*) тверда менше уражується хворобами та шкідниками, не обсіпається; на хорошому агрофоні формує стабільно високу врожайність [10], проте поступається за її показниками на землях із середньою родючістю. Це є однією з основних причин непопулярності *T. durum* в Україні й виробництва макаронної продукції переважно з борошна пшениці м'якої та імпортованої твердої [11].

Зерно пшениці ярої, як порівняти з озимою, містить більше білка – до 15–18% і 28–40% клейковини. Його використовують також у комбікормовій промисловості; висівки є концентрованим кормом, а солома й полова – грубим.

Окрім впровадження нових інтенсивних сортів і вдосконалення технології їх вирощування, обов'язковою умовою для збільшення врожайності є використання насіння з високими посівними якостями та врожайними властивостями, які значною мірою залежать від тривалості періоду післязбирального дозрівання [12, 13].

Зниження врожайності та якості зерна (а відповідно й вирощеного насіння) часто спричинене його передчасним (передзбиральним) проростанням [14, 15]. Цей складний дефект, властивий насінню з коротким періодом спокою, стає дедалі серйознішою проблемою з огляду на зміни кліматичних умов [16, 17]. Навіть у частково пророслого насіння знижуються посівні якості за зберігання його до сівби [18]. Складна взаємодія генетичних, біохімічних і молекулярних факторів, тісно пов'язаних з умовами навколишнього середовища, впливає на процес передчасного проростання зерна (хоча точний механізм досі незрозумілий) [19]. Це явище спричиняє щорічні економічні втрати на суму понад 1 млрд доларів США у всьому світі [20].

Сприятливою ознакою для сортів пшениці є певний ступінь спокою насіння. Цей стан допомагає запобігти передчасному проростанню, найвищий рівень стійкості проти якого спостерігають безпосередньо перед збиранням врожаю. Стан спокою регулюється безліччю ендогенних факторів та умов середовища [21], а швидкість його втрати, що відбувається з часом, залежить від низки чинників. На період післязбирального дозрівання впливають такі фактори навколишнього середовища, як кількість і тривалість дощу, температура та вологість, а також морфологічні особливості зерен [22]. Крім того, стійкість проти передчасного проростання залежить від водоникності та кольору насінневого шару, активності α -амілази. Наявні в насінні абсцизова та гіберелінова кислоти є основними регуляторами індукції та відіграють важливу роль у підтриманні його стану спокою [23–25]. Збереження рівнів останнього також викликане різними температурами за розвитку насіння у фазах після досягання [26–28].

Тривалість періоду післязбирального дозрівання залежно від культури та сорту становить від кількох днів до кількох місяців [29]. Також на неї значною мірою впливають кількість та частка опадів у період від воскової стиглості зерна до обмолоту [30], що встановлено за результатами досліджень, проведених у Миронівському інституті пшениці імені В. М. Ремесла НААН (МІП). Якщо в цей час випадає понад 40 мм атмосферної вологи, знижується лабораторна схожість насіння, яка має тісний кореляційний зв'язок (0,94) із відсотком пророслого зерна на рослині [31].

Дослідження тривалості періоду післязбирального дозрівання насіння нових сортів пшениці м'якої та твердої ярої селекції МІП є актуальними, оскільки дані стосовно цього показника, що має велике практичне значення, наразі відсутні.

Мета досліджень – установити тривалість періоду післязбирального дозрівання насіння залежно від особливостей нових сортів пшениці м'якої та твердої ярої.

Матеріали та методика досліджень

Дослідження проводили впродовж 2022–2024 рр. на шести сортах пшениці твердої ярої ('Діана', 'Жізель', 'МІП Ксенія', 'МІП Магдалена', 'МІП Перлина', 'МІП Райдужна') та 12 м'якої ярої ('Божена', 'МІП Візерунок', 'МІП Дана', 'Дубравка', 'Елегія миронівська', 'МІП Злата', 'Оksamит миронівський', 'МІП Олександра', 'Панянка', 'МІП Світлана', 'МІП Соломія', 'Струна миронівська'), вирощених за попередником соєю, згідно з Методи-

кою державного сортовипробування [32]. Сівбу проводили на дослідних ділянках у чотири-кратній повторності, використовуючи сівалку СН-10 Ц. Норма висіву становила 5 млн схожих насінин/га. Агротехніка в досліді була загальноприйнятою для Лісостепу України.

На початку фази твердої стиглості зерна з ділянок відбирали по 50 колосів кожного сорту. Після обмолоту зерно просіювали на решеті (1,7 × 20 мм) і розкладали по 100 шт. отриманого насіння на піщане ложе вологістю до 60% від повної вологомісткості, стерилізоване за температури 130 °С протягом години. Повторність – чотириразова. Ростильні поміщали в термостат із постійною температурою +20 °С, а потім, на третю, п'яту, сьому, 10, 15, 20, 30, 40 та 50-ту добу, підраховували кількість пророслого насіння. Далі визначали його посівні якості: активність кільчення – за методикою М. М. Макрушина [33]; енергію проростання, лабораторну схожість тощо – за ДСТУ 4138-2002 [34].

Результати досліджень

Щоб схарактеризувати гідротермічний режим років проведення досліджень, викорис-

товували дані Миронівської агрометеостанції. Їх аналізували відповідно від початку та закінчення періодів розвитку й дозрівання насіння пшениці ярої. Під час вегетації досліджуваної культури (2022–2024 рр.) спостерігали мінливість показників температури повітря та кількості опадів, що дало змогу отримати об'єктивні дані.

Відхилення показників кількості опадів та середньодобової температури повітря фіксували впродовж колосіння – повної стиглості (табл. 1, 2).

Зокрема, найвищі температурні значення (22,7 °С) одержали у 2024 р., найнижчі (20,4 °С) – у 2022 р. Максимальну кількість опадів (199,2 мм) у цей період відзначили в умовах 2023 року, мінімальну (92,8 мм) – 2022-го.

Проаналізувавши експериментальні дані (табл. 3, 4) з визначення періоду післязбирання дозрівання насіння, встановили, що він значно триваліший у пшениці м'якої ярої (як порівняти з твердою ярою), що робить її стійкішою проти несприятливих погодних умов (надмірних тривалих опадів) під час досягання зерна.

Таблиця 1

Температурний режим повітря (°С) у міжфазні періоди вегетації пшениці ярої

Рік	Сівба – сходи	Сходи – вихід у трубку	Вихід у трубку – колосіння	Колосіння – повна стиглість
2022	7,8	11,2	18,0	20,4
2023	8,3	12,5	18,2	20,6
2024	10,2	13,4	19,8	22,7
\bar{x}	8,8	12,4	18,7	21,2
min	7,8	11,2	18,0	20,4
max	10,2	13,4	19,8	22,7
R	2,4	2,2	1,8	2,3
Середні багаторічні дані	7,1	12,5	16,4	19,6

Примітка. \bar{x} , min, max – середнє мінімальне та максимальне значення відповідно; R – розмах варіювання (max–min).

Таблиця 2

Кількість опадів (мм) у міжфазні періоди вегетації пшениці ярої

Рік	Сівба – сходи	Сходи – вихід у трубку	Вихід у трубку – колосіння	Колосіння – повна стиглість
2022	42,8	72,1	13,0	92,8
2023	54,6	57,4	19,9	199,2
2024	44,3	71,5	26,1	102,4
\bar{x}	47,2	67,0	19,7	131,5
min	42,8	57,4	13,0	92,8
max	54,6	72,1	26,1	199,2
R	11,8	14,7	13,1	106,4
Середні багаторічні дані	37,0	58,0	48,0	128,0

Примітка. \bar{x} , min, max – середнє; мінімальне та максимальне значення відповідно; R – розмах варіювання (max–min).

У перші три доби динаміка проростання насіння пшениці ярої була дуже низькою (0–3%), що свідчить про фізіологічний стан спокою зерна відразу після збирання. У пшениці м'якої ярої це спостерігали й на п'яту та сьому добу – тоді кількість її пророслого насіння

становила 1–12%, а от у більшості сортів твердої ярої вже на п'яту добу вказаний показник досягав 19–85% (крім 'МПП Райдужна' та 'МПП Ксенія' зі значенням 0–4%).

Максимальне збільшення кількості пророслого насіння пшениці м'якої ярої відбувалося

Таблиця 3

Тривалість періоду післязбирального дозрівання насіння пшениці м'якої ярої (середнє за 2022–2024 рр.)

Сорти	Кількість пророслого насіння (%) за температури 20 °С на ... добу								
	3	5	7	10	15	20	30	40	50
'Божена'	0	2	4	8	14	41	84	90	92
'МІП Візерунок'	0	1	2	5	15	34	50	63	86
'МІП Дана'	0	2	4	13	35	50	81	90	92
'Дубравка'	0	1	4	34	61	78	90	93	94
'Елегія миронівська'	0	2	3	12	31	53	70	82	93
'МІП Злата'	0	1	2	13	36	64	84	92	95
'Оксамит миронівський'	0	2	12	25	45	60	75	88	92
'МІП Олександра'	0	1	2	4	15	39	63	78	88
'Панянка'	0	1	2	10	24	38	56	70	92
'МІП Світлана'	0	2	3	21	42	62	75	81	88
'МІП Соломія'	0	4	6	21	38	55	76	87	92
'Струна миронівська'	0	6	8	14	24	32	68	88	93
\bar{x}	0	2	4	15	30	51	73	83	91
S	0	1,5	3,0	8,8	14,1	14,1	11,9	9,2	2,7
V, %	–	75,3	75,6	58,5	47,1	27,6	16,3	11,1	2,9
НІР _{0,05}	–	0,8	1,1	1,7	1,8	2,2	2,0	2,2	1,4

Примітка. \bar{x} – середнє значення; S – стандартне відхилення; V – коефіцієнт варіації, %.

Таблиця 4

Тривалість періоду післязбирального дозрівання насіння пшениці твердої ярої (середнє за 2022–2024 рр.)

Сорти	Кількість пророслого насіння (%) за температури 20 °С на ... добу								
	3	5	7	10	15	20	30	40	50
'Діана'	0	19	40	63	75	93	95	–	–
'Жізель'	2	62	82	91	94	94	95	–	–
'МІП Ксенія'	0	4	27	61	87	89	93	94	–
'МІП Магдалена'	3	70	80	85	90	93	93	–	–
'МІП Перлина'	0	85	87	90	93	93	93	–	–
'МІП Райдушна'	0	0	9	34	52	82	95	97	–
\bar{x}	1	40	54	71	82	91	94	–	–
S	1,3	36,7	33,2	22,3	16,1	4,6	1,1	2,1	–
V, %	132,9	91,8	61,4	31,4	19,7	5,0	1,2	–	–
НІР _{0,05}	0,6	2,2	2,7	1,9	1,9	1,7	1,4	–	–

Примітка. \bar{x} – середнє значення; S – стандартне відхилення; V – коефіцієнт варіації, %.

між сьомою та 30-ю добою, а твердої ярої – між третьою та 10-ю. На 15–20-ту добу в більшості сортів пшениці м'якої ярої фіксували активне проростання насіння, а до 50-ї всі вони сформували показники на рівні 86–95%. Це свідчить про завершення післязбирального дозрівання. У сортів пшениці твердої ярої велику кількість пророслого насіння – на рівні 82–94% – відмічали вже на 20-ту добу.

Період післязбирального дозрівання більшості сортів пшениці м'якої ярої становив 30–40 діб. Коротким – приблизно 20 діб – він був у 'Дубравка' та 'МІП Злата', а от у 'МІП Візерунок' і 'Панянка' тривав понад 40 діб.

Серед сортів пшениці твердої ярої короткий період післязбирального дозрівання мали 'Жізель', 'МІП Магдалена' та 'МІП Перлина' (5–7 діб); тривалішим відзначилися 'Діана' (15 діб) та 'МІП Райдушна' (20 діб).

Висновки

Наведені експериментальні дані свідчать про видову й сортову специфічність реакції

процесу дозрівання насіння пшениці м'якої та твердої ярої на гідротермічні умови. Необхідно зважати на сортові відмінності за ознакою тривалості післязбирального дозрівання, щоб установити біологічно обґрунтовані строки збирання. Це має надзвичайно важливе значення в технології вирощування насіння з високими посівними якістьями та врожайними властивостями. Оптимізація строків збирання залежно від сортових особливостей також дає змогу мінімізувати втрати врожаю. Отримані результати можна використовувати для вдосконалення агротехнічних заходів, спрямованих на підвищення ефективності вирощування насіння пшениці ярої.

References

- Olefrenko, B. A., & Demydov, O. A. (2024). Yield and sowing quality of durum spring wheat seeds depending on treatment of crops with fungicides and insecticides. *Grain Crops*, 8(1), 59–66. <https://doi.org/10.31867/2523-4544/0312> [In Ukrainian]
- Kravchenko, V. S. (2013). Yield and growth of spring wheat plants depending on the predecessor and sowing time. *Scien-*

- tific Works of the Southern Branch of the National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine "Crimean Agro-Technological University", 157, 49–55. [In Ukrainian]
3. Manko, K. M., Tsekhmeistruk, M. G., Muzafarov, N. M., Golik, O. V., & Muzafarov, I. M. (2012). Productivity of modern varieties of soft and hard spring wheat depending on the basic elements of growing technologies. *Bulletin of the Institute of Agriculture of the Steppe Zone of NAAS of Ukraine*, 3, 87–90. [In Ukrainian]
 4. State Statistics Service of Ukraine. (2007–2017). *Agriculture of Ukraine. Statistical collection*. <http://www.ukrstat.gov.ua> [In Ukrainian]
 5. Khomenko, S. O., Kochmarskyi, V. S., Fedorenko, I. V., & Fedorenko, M. V. (2018). Stability and plasticity of collection samples of bread spring wheat by productivity indices. *Bulletin of Uman National University of Horticulture*, 1, 88–92. <https://doi.org/10.31395/2310-0478-2018-1-43-47> [In Ukrainian]
 6. Sviderko, M. S., Bolekhivskyi, V. P., Tymkiv, M. Yu., & Kubyshyn, S. Ya. (2004). Efficiency of spring wheat cultivation technology in the Western Forest-Steppe. *Collection of Scientific Articles of the Institute of Agriculture of UAAS, Sp. Iss.*, 119–122. [In Ukrainian]
 7. Khrapiichuk, N. M., Hadzalo, Ya. M., Ivashchenko, O. O., Shevchenko, O. O., Strykhar, A. Ye., Demydov, O. A., Kochmarskyi, V. S., Kavunets, V. P., Siroshthan, A. A., Hudzenko, V. M., Vlasenko, V. A., Voloshchuk, H. D., Khomenko, S. O., Tsentylo, L. V., Suddenko, V. Yu., Fedorenko, M. V., & Fedorenko, I. V. (2016). *Growing spring wheat in the Forest-Steppe of Ukraine*. A. A. Siroshthan, & V. P. Kavunets (Eds.). The V. M. Remeslo Myronivka Institute of Wheat of NAAS. [In Ukrainian]
 8. Voskobiinyk, Yu. P., Shpykuliak, O. H., & Kaminskyi, I. V. (2011). *Costs and efficiency of production in agricultural enterprises (monitoring)*. Yu. P. Voskobiinyk (Ed.). National Scientific Centre "Institute of Agrarian Economics". [In Ukrainian]
 9. Hirawan, R., & Beta, T. (2014). Whole wheat pasta and health. In R. R. Watson, V. R. Preedy, & S. Zibadi (Eds.), *Wheat and Rice in Disease Prevention and Health. Benefits, risks and mechanisms of whole grains in health promotion* (pp. 5–16). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-401716-0.00001-5>
 10. Calderini, D. F., Reynolds, M. P., & Slafer, G. A. (1999). Genetic gains in wheat yield and main physiological changes associated with them during the twentieth century. In T. H. Satorre, & G. A. Slafer (Eds.), *Wheat: Ecology and Physiology of Yield Determination* (pp. 351–377). Food Products Press. <http://dx.doi.org/10.1201/9781003578444-20>
 11. Shutyi, O. I. (2016). Chemical and physical quality parameters of spring durum wheat depending on seeding rate and width between rows. *Scientific Herald of National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine. Series: Agronomy*, 235, 103–109. [In Ukrainian]
 12. Kalenska, S. M., Novytska, N. V., Zhemoida, V. L., Kachura, Ye. V., Makrushyn, M. M., Polishchuk, I. S., Shynkaruk, V. A., Polishchuk, M. I., Kovalenko, O. A., Kutsenko, O. M., Liashenko, V. V., Zakharova, V. O., & Ostrenko, M. V. (2011). *Seed science and methods for determining the quality of agricultural seeds*. S. M. Kalenska (Ed.). FOP Danyliuk. [In Ukrainian]
 13. Malakhovskiy, D. (2012). State of the problem of development of seed production of grain crops in Ukraine. *Agrosvit*, 4, 38–43. [In Ukrainian]
 14. Shorinola, O., Bird, N., Simmonds, J., Berry, S., Henriksson, T., Jack, P., Werner, P., Gerjets, T., Scholefield, D., Balcárková, B., Valárik, M., Holdsworth, M. J., Flintham, J., & Uauy, C. (2016). The wheat *Phs-A1* pre-harvest sprouting resistance locus delays the rate of seed dormancy loss and maps 0.3 cM distal to the *PM19* genes in UK germplasm. *Journal of Experimental Botany*, 67(14), 4169–4178. <https://doi.org/10.1093/jxb/erw194>
 15. Mares, D. J., & Mrva, K. (2014). Wheat grain pre-harvest sprouting and late maturity alpha-amylase. *Planta*, 240(6), 1167–1178. <https://doi.org/10.1007/s00425-014-2172-5>
 16. Nakamura, S. (2018). Grain dormancy genes responsible for preventing pre-harvest sprouting in barley and wheat. *Breeding Science*, 68(3), 295–304. <https://doi.org/10.1270/jsbbs.17138>
 17. Liu, S., Li, L., Wang, W., Xia, G., & Liu, S. (2024). TaSR01 interacts with TaVP1 to modulate seed dormancy and pre-harvest sprouting resistance in wheat. *Journal of Integrative Plant Biology*, 66(1), 36–53. <https://doi.org/10.1111/jipb.13600>
 18. Radchenko, O. M., Dykun, M. O., & Sirant, L. V. (2016). Pre-harvest sprouting resistance the varieties of soft wheat. *Factors in Experimental Evolution of Organisms*, 18, 198–200. [In Ukrainian]
 19. Matilla, A. J. (2024). Current insights into weak seed dormancy and pre-harvest sprouting in crop species. *Plants*, 13(18), 25–59. <https://doi.org/10.3390/plants13182559>
 20. Black, M., Bewley, J. D., & Halmer, P. (Eds.). (2006). *The encyclopedia of seeds: Science, technology and uses*. CAB International. <https://doi.org/10.1079/9780851997230.0000>
 21. Rehal, P. K., Tuan, P. A., Nguyen, T.-N., Cattani, D. J., Humphreys, D. G., & Ayele, B. T. (2022). Genetic variation of seed dormancy in wheat (*Triticum aestivum* L.) is mediated by transcriptional regulation of abscisic acid metabolism and signaling. *Plant Science*, 324, 111–432. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2022.111432>
 22. Islam, M. N., Rahman, M., Sarker, P. C., Shaheb, P. C., Mahfuza, S. N., & Khan, M. A. H. (2013). Study on dormancy and seed quality of wheat. *Eco-friendly Agricultural Journal*, 6(07), 131–133.
 23. Shu, K., Liu, X.-D., Xie, Q., & He, Z.-H. (2016). Two faces of one seed: Hormonal regulation of dormancy and germination. *Molecular Plant*, 9(1), 34–45. <https://doi.org/10.1016/j.molp.2015.08.010>
 24. Tuan, P. A., Kumar, R., Rehal, P. K., Toora, P. K., & Ayele, B. T. (2018). Molecular mechanisms underlying abscisic acid/gibberellin balance in the control of seed dormancy and germination in cereals. *Frontiers in Plant Science*, 9, Article number 668. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00668>
 25. Finkelstein, R., Reeves, W., Ariizumi, T., & Steber, C. (2008). Molecular aspects of seed dormancy. *Annual Review of Plant Biology*, 59(1), 387–415. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.59.032607.092740>
 26. Tuan, P. A., Jordan, M. C., & Ayele, B. T. (2023). Transcriptomic data of imbibed wheat (*Triticum aestivum* L.) seeds developed at different temperatures. *Data in Brief*, 50, Article number 109541. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2023.109541>
 27. Kashiwakura, Y., Kobayashi, D., Jikumaru, Y., Takebayashi, Y., Nambara, E., Seo, M., Kamiya, Y., Kushiro, T., & Kawakami, N. (2016). Highly sprouting-tolerant wheat grain exhibits extreme dormancy and cold imbibition-resistant accumulation of abscisic acid. *Plant and Cell Physiology*, 57(4), 715–732. <https://doi.org/10.1093/pcp/pcw051>
 28. Tai, L., Wang, H.-J., Xu, X.-J., Sun, W.-H., Ju, L., Liu, W.-T., Li, W.-Q., Sun, J., & Chen, K.-M. (2021). Pre-harvest sprouting in cereals: Genetic and biochemical mechanisms. *Journal of Experimental Botany*, 72(8), 2857–2876. <https://doi.org/10.1093/jxb/erab024>
 29. Ilchenko, L. I. (2018). Duration of post-harvest seed ripening period of bread winter wheat varieties. *Myronivka Bulletin*, 7, 46–53. <https://doi.org/10.31073/mvis201807-05> [In Ukrainian]
 30. Kavunets, V. P., & Kochmarskyi, V. S. (2011). *Seed production of winter wheat*. V. P. Kavunets (Ed.). V. M. Remeslo Myronivka Institute of Wheat of NAAS. [In Ukrainian]
 31. Dubovyk, D. Yu. (2015). Evaluation of soft winter wheat varieties by the duration of the post-harvest ripening period. *Collection of Scientific Papers of Uman National University of Horticulture*, 87(1), 119–125. [In Ukrainian]
 32. Volkodav, V. V. (Ed.). (2000). *Methodology of state variety testing of agricultural crops. Issue 1: General part*. State Commission for Testing and Protection of Plant Varieties of Ukraine. [In Ukrainian]
 33. Makrushyn, M. M. (1994). *Seed science of field crops*. Urozhai. [In Ukrainian]
 34. Derzhspozhyvstandart Ukrainy. (2003). *Seeds of agricultural crops. Methods of quality determination: DSTU 4138-2002*. [In Ukrainian]

UDC 633.111«321»:581.48

Siroshnan, A. A.¹, Zaima, O. A.^{1*}, Fedorenko, I. V.¹, Fedorenko, M. V.¹, Kavunets, V. P.¹, & Koliadenko, S. S.² (2025). Characteristics of the post-harvest ripening period of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) and durum wheat (*T. durum* Desf.) seeds. *Plant Varieties Studying and Protection*, 21(1), 46–51. <https://doi.org/10.21498/2518-1017.21.1.2025.327501>

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

²Ukrainian Institute for Plant Variety Examination, 15 Horikhuvatskyi Shliakh St., Kyiv, 03041, Ukraine

Purpose. To determine the duration of post-harvest seed ripening in new varieties of spring durum and bread wheat depending on varietal characteristics. **Methods.** The research was carried out in 2022–2024. 12 spring bread wheat varieties and 6 durum wheat varieties were grown under soybean as a preceding crop. **Results.** During the years of research, particularly during the earing period – full maturity of spring wheat – we observed deviations in precipitation and average daily temperature from their long-term values. This allowed us to obtain objective results. After analysing the experimental data to determine the post-harvest seed ripening period, it was found that it was much longer for spring bread wheat than for spring durum wheat. In the first three days, the dynamics of spring wheat seed germination was very low (0–3%), which indicates the physiological state of grain dormancy immediately after harvest. In spring bread wheat, this was also observed on the fifth and seventh day – then the number of germinated seeds was 1–12%, but in most durum varieties, this figure reached 19–85% on the fifth day (only in

varieties ‘MIP Raiduzhna’ and ‘MIP Kseniia’ it was at the level of 0–4%). Seed dormancy lasted 30–40 days for most spring bread varieties. ‘Dubravka’ and ‘MIP Zlata’ had a short post-harvest ripening period of about 20 days, while ‘MIP Vizerunok’ and ‘Panianka’ had a period of more than 40 days. Among spring durum wheat varieties, ‘Zhizel’, ‘MIP Mahdalena’ and ‘MIP Perlyna’ had short dormancy periods (5–7 days), ‘Diana’ (15 days) and ‘MIP Raiduzhna’ (20 days) had longer dormancy periods. **Conclusions.** The presented experimental data indicate the species and varietal specificity of the reaction of the process of ripening of spring bread and durum wheat seeds to hydrothermal conditions. Varietal differences in the duration of post-harvest ripening in spring wheat varieties should be taken into account when determining the biological justification of the harvest time, which is extremely important in the technology of growing seeds with high sowing qualities and yield characteristics.

Keywords: duration of seed dormancy; seed germination; spring bread and durum wheat varieties.

Надійшла / Received 18.02.2025
Погоджено до друку / Accepted 24.03.2025

The possibilities of GAIA method application for DUS examination in Ukraine

L. M. Prysiazhniuk*, Ye. M. Starychenko, M. M. Tahantsova,
Yu. V. Shytikova, S. M. Hryniv, O. A. Stadnichenko

Ukrainian Institute for Plant Variety Examination, 15 Horikhuvatskyi Shliakh St., Kyiv, 03041, Ukraine,
*e-mail: prysiazhniuk_l@ukr.net

Purpose. To determine the applicability of the GAIA method for comparison of reference collection of maize lines based on weights of the difference for morphological characteristics and SSR markers. **Methods.** Field methods (descriptive plant morphology), molecular methods (PCR, capillary electrophoresis), and statistical methods (principal component analysis, correlation analysis). **Results.** The study examined 57 lines of maize reference collection to determine their differences based on phenotypic and molecular distances using the GAIA method. The comparison of maize lines, considering the difference for morphological characteristics, identified 12 lines classified as “Distinct Plus” compared to other studied maize lines. The obtained data indicate that most of the “Distinct Plus” lines were classified as distinct according to distinctness, uniformity, and stability (DUS) testing. However, three pairs of lines identified as “Distinct Plus” were classified by the DUS expert as similar or very similar. It was determined that the first two principal components explain 23.37% of characteristic variability. Principal component analysis revealed that the high level of variability attributed to the differences of grouping characteristics and traits which are not used for variety grouping during DUS testing. This suggests that to enhance the effectiveness of the GAIA method, it is advisable to increase weights of the difference for qualitative morphological characteristics. Based on the combination of phenotypic and molecular distances, an additional 35 pairs of maize lines were identified with a high degree of distinction, eliminating the need for side-by-side field comparisons in the next growing season. **Conclusions.** The application of the GAIA method for maize line analysis helps reduce the number of side-by-side field comparisons by integrating morphological traits and molecular markers.

Keywords: weights of the difference for morphological characteristics; SSR markers; principal components; phenotypic and molecular distances; maize.

Introduction

The use of molecular markers in plant variety evaluation has become routine, providing an additional method of DUS testing. This reduces

the number of side-by-side field comparisons and helps to select varieties for the reference collection. It also helps to determine specific traits, such as resistance to diseases or environmental stressors and starch type [1, 2].

The International Union for the Protection of New Varieties of Plants (UPOV) has approved three models for using molecular markers in DUS testing: gene-specific marker use, combining phenotypic and molecular distances to select varieties of reference collection, and using calibrated molecular distances to manage reference variety collections [3].

A number of UPOV member states use molecular markers in the initial stage of DUS testing, combining phenotypic and molecular distances to manage a reference collection [4]. Among these molecular analysis methods, DNA

Larysa Prysiazhniuk
<https://orcid.org/0000-0003-4388-0485>
Yevhenii Starychenko
<https://orcid.org/0000-0001-8608-5268>
Maryna Tahantsova
<https://orcid.org/0000-0003-3737-6477>
Yuliia Shytikova
<https://orcid.org/0000-0002-1403-694X>
Svitlana Hryniv
<https://orcid.org/0000-0002-2044-4528>
Olha Stadnichenko
<https://orcid.org/0000-0002-5924-3344>



© The Author(s) 2025. Published by Ukrainian Institute for Plant Variety Examination.
This is an open access article distributed under the terms of the license CC BY-SA 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>), which permits use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

markers, particularly SNP (single nucleotide polymorphism) and SSR (simple sequence repeat) markers, are widely used. Although SNPs, particularly when used with KASP (competitive allele-specific PCR) technology, are the most commonly used as they allow maximum automation of the polymerase chain reaction (PCR) and data analysis, SSR markers remain a reliable research method due to their high reproducibility and ability to create a genetic profile of a variety. This profile can be used in future research, particularly to confirm varietal purity in post-control testing or in cases of intellectual property rights infringement at the initial stage of establishing such infringement [5–7].

Although the combination of molecular methods and phenotypic evaluation of varieties is widely used among UPOV member states, recent studies indicate that this approach must be validated for each country, considering the species composition of botanical taxa for DUS testing and the type of molecular markers used [8–10].

Given the increasing number of new plant varieties being examined by the DUS for intellectual property rights, the range of morphological characteristics used to determine compliance with DUS criteria is narrowing. Therefore, it is important to use molecular markers, particularly DNA markers, when examining plant varieties for DUS, to increase the accuracy of the examination and reduce labor costs for side-by-side field comparisons research, as well as reducing the number of varieties in the reference variety collection. One approach to using DNA markers to determine differences between varieties during DUS testing is the GAIA method. This method calculates phenotypic distances between each pair of varieties, which are the sums of the distances between each individual trait according to a particular methodology's table of traits. In combination with molecular markers, comparisons are carried out using molecular distances [11].

The aim of the research is to determine the suitability of the GAIA method for comparing maize lines based on the weighting coefficients of differences in the degree of manifestation of morphological traits and SSR markers.

Materials and Methods

The research was conducted at the Ukrainian Institute for Plant Variety Examination (UIPVE) between 2021 and 2023. One hundred and fourteen maize lines from the common knowledge variety collection were analyzed. Of these, 38 were in the first year of testing, 66 were common knowledge varieties and 10 were lines from the reference variety collection. Fif-

ty-seven lines were selected by the expert for comparative evaluation of the GAIA method and expert evaluation of the differences between the lines, including five reference lines.

Determination of morphological characteristics

The morphological characteristics of the studied lines of maize were determined in the field at the Poltava and Kirovohrad affiliates of the UIPVE, in accordance with the methodology for examining varieties of maize (*Zea mays* L.) for DUS, according to 35 qualitative and quantitative traits [12]. The degree to which qualitative morphological features were manifested was indicated by numerical values from 1 to 9. Quantitative traits were presented as the absolute values of measurements taken at two research points.

Principal component analysis was used to determine the variability of morphological traits using the XLSTAT trial version computer program [13].

Determination of molecular characteristics

To determine the molecular characteristics, PCR analysis of the maize lines was performed using nine SSR markers, taking into account the Polymorphic Index Content (PIC), according to the following protocol: phi064, umc1448, umc1061, bnlgl1782, bnlgl1129, phi093, phi233376, phi083 and phi96100 [14]. The PCR products were visualised by capillary electrophoresis using an Agilent Fragment Analyzer (USA). The DNF 905 reagent kit (dsDNA 905 Reagent Kit, 1–500 bp, 55 cm matrix length) was used and the analysis was performed according to the manufacturer's protocol.

Based on the obtained data, the presence or absence of a particular allele in the maize lines under study was indicated as 1/0. The R programming language was used to convert the sizes of the alleles obtained into binary code and calculate Roger molecular distances [15].

Determining differences between maize lines using the GAIA method

GAIA software, provided free of charge by GEVES (the official French organization that evaluates new varieties), was used to analyze maize lines for the purpose of determining "Distinct Plus" lines, i.e. lines that exceeded the threshold value of difference in phenotypic distances. To prepare the analysis data in GAIA, a database was created containing downloadable files with the following information: type of crop being tested; test points (two geographical locations); list of lines (application number and line denomination); years of testing; morphological traits (qualitative and quantitative), molecular data (names of SSR markers and sizes of identified alleles); significance matrices of the

difference in the degree of manifestation of each trait (for quantitative traits, the upper and lower limits of the difference in weight between two lines were calculated at 15% and 20% of the average for each experiment); molecular distance types (Roger's distances); the degrees of manifestation of the traits for each line were calculated for qualitative and quantitative traits, as well as for molecular characteristics by SSR markers and molecular distances; session parameters were used to compare varieties with each other and with lines from the reference variety collection. This included threshold values for differences in the total weight of the studied characteristics, such as qualitative and quantitative morphological traits and SSR markers.

To analyze and determine the differences between the studied lines using phenotypic and molecular distances, a session was created with the following parameters: a threshold value of 8, a phenotypic limit of 6, and a genotypic limit of 0.30. According to the analysis algorithm, the difference between the maize lines was first determined by qualitative morphological traits, for which the overall significance of the difference was greater than or equal to the threshold value. Then, the lines that were not "Distinct Plus" were compared by quantitative traits [11].

Research results

Comparisons of maize lines according to established parameters for a combination of qualitative and quantitative morphological traits identified 12 lines as "Distinct Plus": LN26, LN41, LN56, LN54, LN50, LN17, LN51, LN27, LN39, LN11, LN47 and LN46. The largest number of lines (35 and 36 pairs, respectively) had phenotypic distances of 7 and 6 (Fig. 1).

Based on the results of the comparisons, it was determined that most of the lines found to be "Distinct Plus" were also identified as "Distinct" in the DUS testing results. However, the expert classified pairs of lines LN56 and LN53, LN54 and LN57 as similar, and lines LN40 and LN27 as very similar; the difference between these could only be determined using additional molecular methods. Conversely, lines LN50 and LN39 were not assigned to any group as they were found to be different according to the DUS testing results. However, the expert did not identify a sufficiently different pair among the tested lines [16]. Obtaining such a result may be due to the peculiarities of the GAIA method and depend on the different significance of the differences in traits that are taken into account by the expert when grouping maize lines and are not taken into account during the analysis using the GAIA method. The DUS expert determines the significance of the difference in the degree of trait expression based on professional knowledge and experience using the 'try-and-verify' approach [11]. As this is the first time the method has been tested in Ukraine, it is assumed that the difference in the degree of manifestation of the grouping features recommended by the methodology [12] is maximum. The significance of differences in other qualitative traits was determined by the reliability with which each trait was manifested under certain environmental conditions, taking genetic variability into account.

To determine the variability of the morphological traits of the studied lines, and to use the results to improve the determination of the significance of differences in quality traits, the principal components method was employed. The results of the principal components analy-

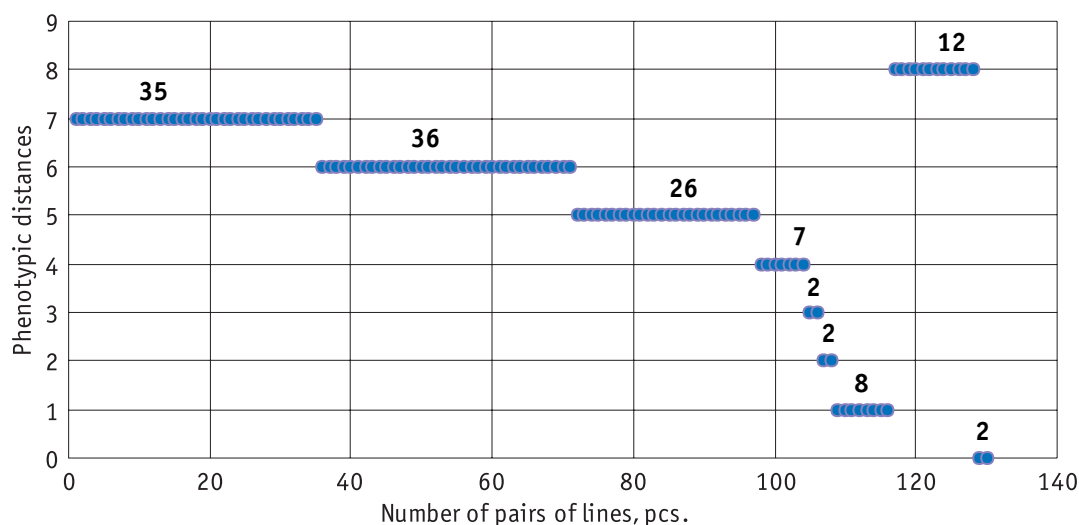


Fig. 1. Phenotypic distances between maize lines

sis of maize morphological traits revealed that only 12 out of 35 components were significant at a level greater than 1.0, accounting for approximately 75.14% of the variability among the studied traits (see Table 1).

Table 1

Significance of the principal components for the morphological traits of the maize lines

Principal components (PC)	Eigenvalues	Variability, %	Cumulative, %
PC1	4.578	13.081	13.081
PC2	3.601	10.289	23.370
PC3	2.611	7.460	30.830
PC4	2.339	6.682	37.512
PC5	2.271	6.488	44.000
PC6	2.028	5.794	49.794
PC7	1.927	5.507	55.301
PC8	1.599	4.569	59.870
PC9	1.519	4.340	64.210
PC10	1.391	3.974	68.184
PC11	1.318	3.765	71.949
PC12	1.117	3.191	75.140

It was determined that PC1 accounted for 13.081% of the variation in maize morphological traits in this study, PC2 for 10.289%, and

PC3 for 7.460%. PC1 is associated with trait 13 (panicle: position of lateral branches in space), and PC2 is associated with trait 17 (stem: anthocyanin color of aerial roots) (Table 2).

According to the obtained data, the most influential trait in explaining the variability of PC11 is trait 38 (ear: color of the top of the grain, with a value of 0.522), while trait 7 (stem: degree of zig-zag) is associated with PC12. Notably, PC1 and PC2, which together explain 23.37% of the variability among the traits, were unaffected by the manifestation of grouping traits. However, in PC3, the grouping traits were the most decisive, namely trait 8 (tassel: time of anthesis) and trait 24.1 (plant length: quantitative trait).

In [17], maize lines were studied for agromorphological traits in order to identify patterns of variation in morphology. The results obtained by the authors showed that PC1 explained 54.794% of the variation in traits and was associated with plant length and ear length. PC2 was responsible for variation in 1000-seed weight, while PC3 was responsible for the

Table 2

Eigenvectors of principal components for morphological traits of maize lines

Trait	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7	PC8	PC9	PC10	PC11	PC12
1	0.010	0.012	-0.076	-0.227	0.446	-0.003	-0.102	-0.022	-0.087	-0.165	0.207	-0.218
2	-0.105	0.231	0.130	-0.076	-0.202	0.042	0.235	-0.058	0.133	-0.083	0.133	-0.162
3	0.021	0.065	-0.049	0.358	-0.087	-0.216	0.153	0.051	-0.159	-0.022	0.188	-0.311
4	0.173	0.041	-0.037	0.294	-0.006	-0.062	0.250	-0.030	0.154	0.048	-0.310	0.307
5	0.246	0.113	0.215	0.286	0.026	-0.027	-0.082	-0.217	-0.094	-0.227	0.138	0.121
6	0.222	-0.078	0.300	0.086	0.088	0.068	0.101	-0.061	0.244	0.269	0.120	0.129
7	-0.058	-0.135	0.214	-0.121	0.205	-0.067	0.208	-0.028	-0.056	-0.139	-0.106	0.541
8**	0.015	0.196	0.318	-0.200	-0.205	-0.077	-0.165	-0.113	-0.282	0.021	-0.079	0.054
9**	0.092	0.208	0.166	-0.027	0.093	-0.295	0.205	0.042	0.061	-0.172	-0.321	-0.212
10**	0.224	0.232	-0.124	0.072	-0.052	0.127	0.070	0.084	0.016	-0.248	0.119	-0.013
11**	0.063	0.278	0.164	-0.281	-0.083	0.117	-0.092	0.177	0.067	-0.053	-0.196	0.203
12	0.284	0.010	0.068	0.143	0.171	0.143	0.089	0.078	-0.304	-0.175	-0.028	-0.054
13	0.344*	-0.018	0.094	0.168	0.119	0.133	-0.026	-0.011	-0.138	-0.044	0.006	0.014
14**	0.070	-0.072	0.145	-0.195	0.084	0.419	0.060	0.005	0.137	-0.213	0.040	-0.064
15**	0.155	0.263	0.024	-0.117	-0.229	-0.094	-0.168	-0.188	-0.284	-0.096	0.168	0.144
16**	0.194	0.227	-0.083	-0.073	-0.030	0.082	-0.122	0.100	0.381	0.207	-0.025	-0.085
17	0.073	0.379	0.027	0.043	0.105	-0.057	-0.030	0.125	0.040	-0.005	-0.182	-0.180
18	-0.014	-0.193	-0.105	0.109	-0.028	0.048	0.274	0.490	-0.169	-0.111	-0.035	0.105
19	-0.145	0.180	0.059	0.062	0.017	0.223	0.128	0.131	-0.287	0.449	0.057	0.003
20	-0.218	0.143	-0.009	0.157	0.177	0.375	0.001	-0.093	-0.216	0.096	-0.038	0.005
21	0.191	-0.264	0.155	-0.150	0.096	-0.055	-0.178	-0.252	-0.003	0.047	-0.185	-0.187
22	0.284	-0.192	-0.298	-0.015	0.027	-0.149	-0.126	0.029	0.012	0.141	-0.076	-0.015
23	0.207	-0.174	0.174	0.182	-0.092	-0.011	-0.259	0.194	-0.094	0.022	0.188	0.056
24.1**	0.038	-0.152	0.345	-0.205	0.028	0.035	0.146	0.191	-0.203	0.281	-0.040	-0.205
25	-0.057	0.145	-0.088	0.116	-0.228	0.361	0.110	-0.126	0.061	-0.046	-0.018	0.038
26	0.100	0.083	-0.252	-0.280	-0.123	-0.132	-0.002	0.325	-0.153	-0.165	-0.079	0.148
27	0.293	0.002	-0.020	-0.095	0.055	0.269	-0.059	0.269	0.159	-0.029	0.155	-0.080
28**	0.198	0.113	0.014	0.032	0.046	-0.121	0.307	-0.201	0.123	0.189	0.000	-0.034
29**	0.106	-0.074	-0.210	-0.270	-0.041	0.046	0.316	-0.291	-0.109	0.013	0.306	0.128
30**	-0.218	0.050	-0.063	0.119	0.303	0.071	-0.157	-0.088	0.183	-0.242	0.052	0.102
31**	0.138	-0.043	-0.095	-0.223	0.096	0.051	0.401	-0.158	-0.076	-0.097	-0.072	-0.191
36**	0.166	-0.149	-0.173	-0.052	-0.393	0.079	0.008	-0.117	0.016	0.050	0.054	0.016
38**	-0.021	0.092	0.209	-0.081	0.063	-0.230	0.107	0.221	0.242	0.055	0.522	0.151
39**	-0.196	-0.153	0.244	0.066	-0.205	-0.115	0.123	0.051	0.067	-0.297	0.124	-0.174
41**	-0.009	-0.257	0.199	0.036	-0.316	0.217	-0.002	0.015	0.141	-0.208	-0.177	-0.128

* Eigenvectors of the principal components with an absolute value greater than 0.3 are marked in red;

**Grouping features according to the methodology [12].

number of ear rows, ear length, and plant length. However, the authors did not demonstrate variability in the qualitative morphological features used for DUS testing. They explained this by stating that only three principal components had weights greater than one. Similar studies were conducted by the authors [18–20]. These studies aimed to identify the principal components of variation in valuable economic traits, such as yield, 1000-seed weight, ear length, number of grains per row and number of rows of grains. The authors generally studied morphological traits affecting maize maturity and yield, such as the number of days to flowering and silking in 50% of plants, no of grains per the ear and ear quantity without focusing on morphological traits that determine the difference between lines.

However, if we consider other studies in which the authors focused on the variability of morphological traits that determine differences between varieties during DUS testing, this variability is due to the manifestation of qualitative and quantitative traits, as well as traits that are not recommended for grouping varieties. Work [21] shows that PC1 exhibits the greatest variability (23.09%), associated with leaf shape (0.963), spot intensity on petals (0.963), and the boll surface (0.963). The first characteristic is used for grouping in DUS testing, while the second and third are not. PC2 accounted for 9.66% of the variability and included traits such as the pubescence of the leaf hairiness (0.604), the growth habit (0.579), the seed fuzz density (0.394) and the flower petal color (0.273). Of these traits, only flower petal color is a grouping trait [22].

Similar results were obtained by the authors of [23], who conducted a comparative analysis of morphological assessments for DUS in the field and of DNA genotyping using SNP markers in cucumbers. The authors determined through principal component analysis that the greatest variability was due to the fruit length-to-diameter ratio and the presence or absence of warts. However, these traits were not useful for grouping during DUS testing. However, traits such as fruit length, the plant sex expression, and the ground color of fruit skin at market stage also showed a high percentage of variability and are grouping traits [24]. Our research also yielded similar results from the analysis of the principal components based on the morphological characteristics of maize studied during the DUS testing. This indicates that, in order to apply the GAIA method to determine the significance of differences in trait

manifestation, attention must be paid to adjusting the weighting values for traits that caused a high percentage of variability in the principal component analysis.

According to the GAIA analysis algorithm, after a cycle of comparisons based on qualitative and quantitative morphological traits, line pairs that were not “Distinct Plus” but overcame the established phenotypic limit of 6 (35 line pairs) were compared in the next cycle of comparisons based on molecular distances.

The genotypic boundary shows that, when choosing a comparison based on qualitative and quantitative, or qualitative/quantitative and molecular distances, phenotypic and molecular distances will be combined for a pair of lines whose molecular distances are greater than or equal to 0.30. In other words, when combining qualitative and quantitative or qualitative/quantitative and molecular distances, both analyses will only be taken into account for pairs of lines that meet the following conditions simultaneously: a phenotypic limit greater than or equal to 6 and a molecular distance greater than or equal to 0.30.

As a result of comparing maize lines based on qualitative and quantitative traits and molecular distances, 12 “Distinct Plus” lines were obtained that differ from the comparison group only in terms of qualitative and quantitative traits. A similar example is described in UPOV TGP/8, where electrophoresis results confirm the presence of “Distinct Plus” varieties for qualitative and quantitative traits. However, the molecular distance approach identified additional pairs of “Distinct Plus” lines based on established phenotypic and genotypic boundaries. Based on these comparisons, four zones were identified on the results display graph in which pairs of maize lines were distributed according to their phenotypic and molecular distances (see Fig. 2).

In accordance with the defined conditions for combining morphological and molecular distances, zone 4 is important when deciding whether to compare lines side-by-side in the field.

Zone 4 contains maize lines that exceed the established limits in terms of both phenotypic and molecular distances (phenotypic limit of 6 and genotypic limit of 0.30). Therefore, these pairs of lines can be considered “Distinct Plus” and do not require side-by-side testing in future research years. According to the obtained data, Zone 4 included 35 pairs of maize lines under study (see Fig. 3).

Two pairs of lines in Zone 1 deserve special attention: LN23 and LN55, and LN30 and

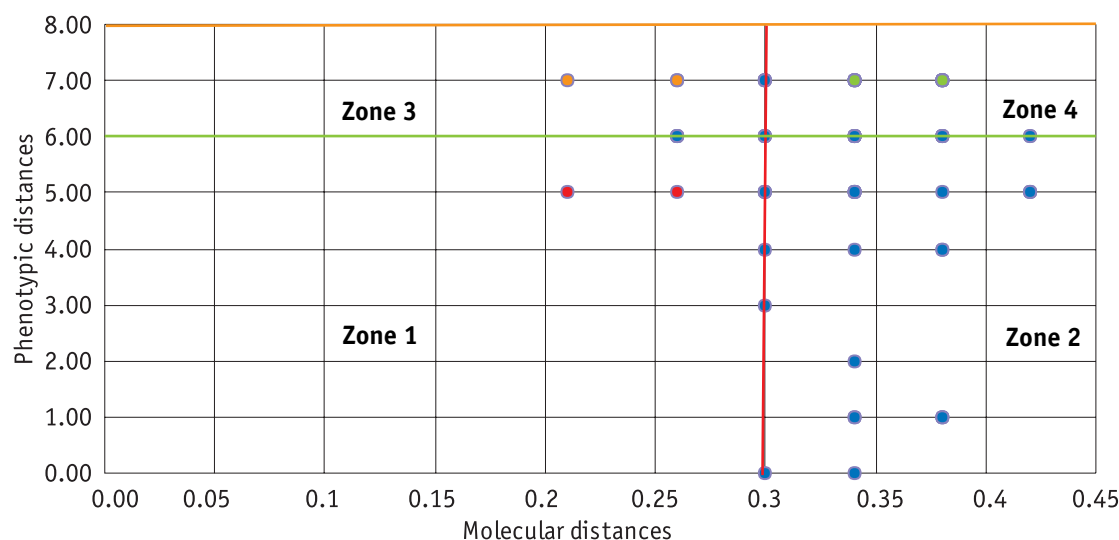


Fig. 2. Results of comparisons of maize lines by qualitative, quantitative traits and molecular distances in graphical form

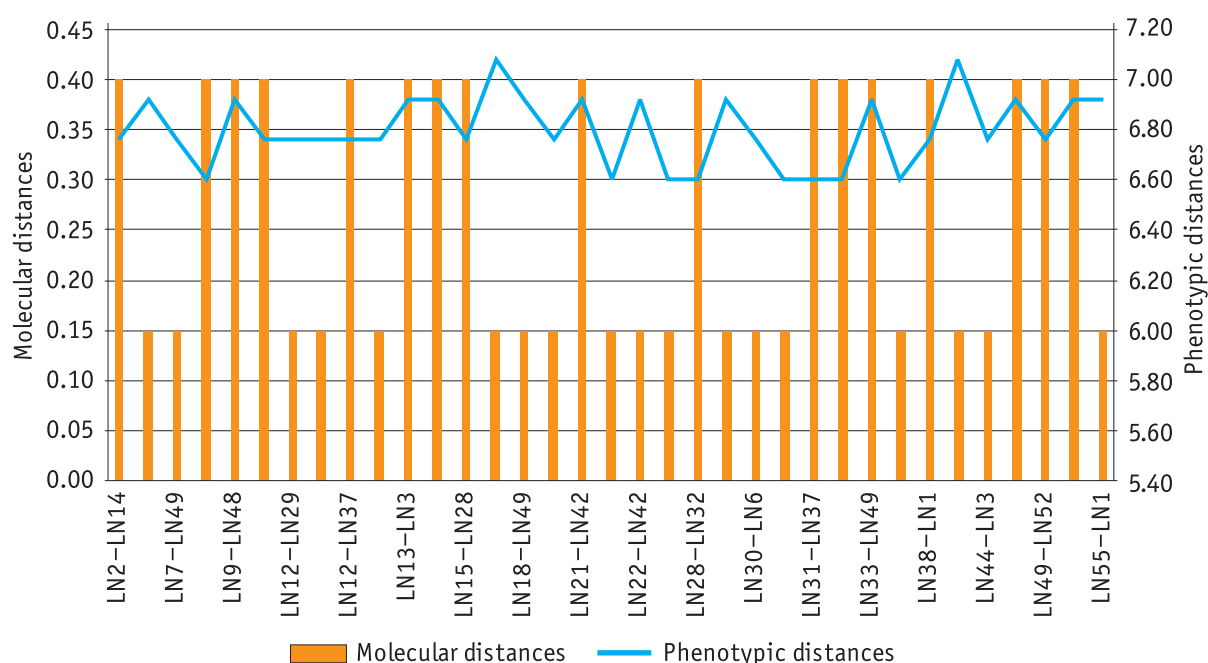


Fig. 3. Maize lines included in zone 4 by total phenotypic and molecular distances

LN37. According to the values obtained for total significance by phenotypic and molecular distances, these lines were the most similar. It is worth noting that the line pairs identified as the most similar based on a comparison of phenotypic and molecular traits differ from the conditional distribution of the studied lines, as determined by an expert based on the results of the DUS testing [16]. For instance, line LN30 was identified as being highly similar to line LN29, whereas line LN23 was classified as being similar to line LN25.

Paper [9] presents the results of an integrated approach to evaluating new alfalfa varieties, combining genotyping by sequencing with

morphological traits using the GAIA method. The authors demonstrate the effectiveness of combining molecular analysis and morphological traits to determine the significance of differences in trait expression. As the GAIA method is one of the UPOV-approved approaches for identifying differences between varieties during DUS testing and is employed in routine testing of new varieties, it is also being considered for studying significantly derived varieties [25]. The effectiveness of combining phenotypic and molecular distances to distinguish durum wheat varieties was also demonstrated in [26].

Our research indicates that the GAIA method can be used in DUS testing to determine

differences in the combination of phenotypic and molecular distances in maize lines in Ukraine. However, while many UPOV member states use molecular markers as part of DUS testing, in Ukraine there are currently certain legal restrictions on the use of molecular methods, which create additional difficulties for detecting differences in new varieties given the significant increase in number of common knowledge varieties. Additionally, for botanical taxa represented by hybrids, UPOV defines testing approaches for hybrids and their parental components. When combining phenotypic and molecular distances, for example, the total significance of the difference is determined based on the weights of the parental components rather than by comparing hybrid to hybrid [11]. Currently, this approach is limited in Ukraine, as according to the legislation, the parental components of a hybrid undergoing DUS testing are not made available for research purposes [28]. This, in turn, leads to problems with outdated methods being used, creating additional obstacles to international cooperation in plant variety rights protection and maintaining the current level of DUS testing.

Thus, the research shows that it is currently possible to use modern research methods, particularly molecular markers, to minimize the risk of disclosing genetic information about the varieties under study by comparing only statistically processed data.

Conclusions

The study of 57 lines of maize revealed that, based on the significance of the difference in the manifestation of morphological traits using the GAIA method, 12 “Distinct Plus” lines were identified that do not require side-by-side comparisons in the field during the next vegetation cycle.

Based on the data obtained from the principal component analysis, it was determined that, to improve the identification of significant differences in qualitative morphological traits, the range of traits for which maximum significance values are set should be expanded beyond grouping traits.

An additional 35 pairs of maize lines were identified as sufficiently different based on the results of combining phenotypic and molecular distances, and these lines do not require side-by-side comparisons. The use of molecular markers has been identified as a powerful modern auxiliary tool for DUS testing that allows reliable results to be obtained using methods approved and used by UPOV member states.

References

- Jamali, S. H., Cockram, J., & Hickey, L. T. (2019). Insights into deployment of DNA markers in plant variety protection and registration. *Theoretical and Applied Genetics*, 132(7), 1911–1929. <https://doi.org/10.1007/s00122-019-03348-7>
- Saccomanno, B., Wallace, M., O'Sullivan, D. M., & Cockram, J. (2020). Use of genetic markers for the detection of off-types for DUS phenotypic traits in the inbreeding crop, barley. *Molecular Breeding*, 40(1), Article number 13. <https://doi.org/10.1007/s11032-019-1088-y>
- Achard, F., Butruille, M., Madjarac, S., Nelson, P. T., Duesing, J., Laffont, J., Nelson, B., Xiong, J., Mikel, M. A., & Smith, J. S. C. (2020). Single nucleotide polymorphisms facilitated distinctness uniformity stability testing of soybean cultivars for plant variety protection. *Crop Science*, 60(5), 2280–2303. <https://doi.org/10.1002/csc2.20201>
- Yu, J.-K., & Chung, Y.-S. (2021). Plant variety protection: Current practices and insights. *Genes*, 12(8), Article number 1127. <https://doi.org/10.3390/genes12081127>
- Wijesundara, W. W. M. U. K., Ananda, G. K. S., Ranaweera, L. T., Udawela, U. A. K. S., Weebadde, C. K., & Sooriyapathirana, S. D. S. S. (2018). Intellectual property rights (IPRs) for plant breeders: A review on theoretical framework and employment of DNA-based varietal authentication for claiming IPR. *Sri Lanka Journal of Food and Agriculture*, 4(2), 53–70. <https://doi.org/10.4038/sljfa.v4i2.64>
- Hussain, H., & Nisar, M. (2020). Assessment of plant genetic variations using molecular markers: A review. *Journal of Applied Biology and Biotechnology*, 8(5), 99–109. <https://doi.org/10.7324/JABB.2020.80514>
- Belete, Y., Shimelis, H., Laing, M., & Mathew, I. (2021). Genetic diversity and population structure of bread wheat genotypes determined via phenotypic and SSR marker analyses under drought-stress conditions. *Journal of Crop Improvement*, 35(3), 303–325. <https://doi.org/10.1080/15427528.2020.1818342>
- Wang, L., Zheng, Y., Zhang, H., Wang, D., Wang, M., Wang, H., Duan, L., Li, H., Wang, W., Geng, H., Cheng, H., An, C., Han, R., & Li, R. (2023). Genetic characterization of cotton varieties and genetic threshold value determination for similar variety selection in cotton DUS testing. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 70(8), 2463–2477. <https://doi.org/10.1007/s10722-023-01575-y>
- Julier, B., Barre, P., Lambroni, P., Delaunay, S., Thomasset, M., Lafaillette, F., & Gensollen, V. (2018). Use of GBS markers to distinguish among lucerne varieties, with comparison to morphological traits. *Molecular Breeding*, 38(11), Article number 133. <https://doi.org/10.1007/s11032-018-0891-1>
- Lübberstedt, T., & Merrick, L. (2023). Genomic tools for variety registration and protection. In W. P. Suza, & K. R. Lamkey (Eds.), *Molecular plant breeding* (pp. 251–296). Iowa State University Digital Press. <https://iastate.pressbooks.pub/molecularplantbreeding/chapter/genomic-tools-for-variety-registration-and-protection>
- The International Union for the Protection of New Varieties of Plants. (2022). *Document TGP/8: Trial design and techniques used in the examination of distinctness, uniformity and stability*. International Union for the Protection of New Varieties of Plants. Retrieved March 11, 2025, from https://www.upov.int/edocs/tgpdocs/en/tgp_8.pdf
- Ukrainian Institute for Plant Variety Examination. (2024). *Methodology for the examination of maize (Zea mays L.) varieties for distinctness, uniformity, and stability*. Retrieved March 11, 2025, from https://sops.gov.ua/uploads/page/Meth_DUS/2024/Method_kukurudza_2024_07_22.pdf [In Ukrainian]
- Bugaud, C., Maraval, I., & Meghar, K. (2022). *RTBfoods Manual - Part 3 - Tutorial: Statistical analyses (PCA and multiple regression) to visualize the sensory analysis data and relate it to the instrumental data. Biophysical Characterization of Quality Traits, WP2*. RTBfoods Project-CIRAD. <https://doi.org/10.18167/agritrop/00710>

14. *Molecular biomarker analysis – SSR analysis of maize (E): ISO/TR 17623:2015*. (2015). Geneva.
15. Xia, X. (2018). DAMBE7: New and improved tools for data analysis in molecular biology and evolution. *Molecular Biology and Evolution*, 35(6), 1550–1552. <https://doi.org/10.1093/molbev/msy073>
16. Prysiazniuk, L. M., Shytikova, Yu. V., Tahantsova, M. M., Dikhtiar, I. O., & Hryniv, S. M. (2024). Comparative analysis of maize (*Zea mays* L.) lines based on morphological and molecular characteristics. *Plant Varieties Studying and Protection*, 20(4), 234–242. <https://doi.org/10.21498/2518-1017.20.4.2024.324206> [In Ukrainian]
17. Bayisa, M., Diro, D., & Asefa, G. (2022). Assessing the morphological variability and some seed quality contributing traits for mid altitude maize inbred lines (*Zea mays* L.) in western Ethiopia, Bako. *American Journal of Plant Biology*, 7(1), 65–72. <https://doi.org/10.11648/j.ajpb.20220701.20>
18. Sinha S. K., Singh R., Tiwari J., & Thakur D. (2019). Utilization of principal component analysis in determining selection criteria and selection of superior and diverse inbred lines in maize (*Zea mays* L.). *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 8(2), 671–676.
19. Mahmood, T., Ghafoor, S., Shahid, M., Ahmad, B., Tahir, N., Abdullah, M., & Aslam, M. (2022). Morphological standard based genetic diversity among maize (*Zea mays* L.) accessions indigenous to Pakistan. *International Journal of Agriculture and Biosciences*, 11(4), 212–221. <https://doi.org/10.47278/journal.ijab/2022.029>
20. Islam, S., Ferdousi, A., Sweetey, A. Y., Das, A., Ferdoush, A., & Haque, M. A. (2020). Morphological characterization and genetic diversity analyses of plant traits contributed to grain yield in maize (*Zea mays* L.). *Journal of Biosciences and Agriculture Research*, 25(1), 2047–2059. <https://doi.org/10.18801/jbar.250120>
21. Santhy, V., Rathinavel, K., Saravanan, M., Meshram, M., & Priyadharshini, C. (2020). Genetic diversity assessment of extant cotton varieties based on principal component analysis (PCA) and cluster analysis of enlisted DUS traits. *Electronic Journal of Plant Breeding*, 11(2), 430–438. <https://doi.org/10.37992/2020.1102.075>
22. Ukrainian Institute for Plant Variety Examination. (2024). *Methodology for the examination of cotton varieties (Gossypium L.) for distinctness, uniformity, and stability*. Retrieved March 11, 2025, from https://sops.gov.ua/uploads/page/Meth_DUS/2024/Gossypium.pdf [In Ukrainian]
23. Zhang, J., Yang, J., Fu, S., Ren, J., Zhang, X., Xia, C., Zhao, H., Yang, K., & Wen, C. (2022). Comparison of DUS testing and SNP fingerprinting for variety identification in cucumber. *Horticultural Plant Journal*, 8(5), 575–582. <https://doi.org/10.1016/j.hpj.2022.07.002>
24. Ukrainian Institute for Plant Variety Examination. (2023). *Methodology for the examination of cucumber varieties (Cucumis sativus L.) for distinctness, uniformity, and stability*. Retrieved March 11, 2025, from https://sops.gov.ua/uploads/page/Meth_DUS/2023/Method_vegetable.pdf [In Ukrainian]
25. Smith, J. S. C. (2021). The future of essentially derived variety (EDV) status: Predominantly more explanations or essential change. *Agronomy*, 11(6), Article number 1261. <https://doi.org/10.3390/agronomy11061261>
26. Ribarits, A., Bomers, S., Zerk, T., Alber, O., Seereiter, J., Escolano Garcia, A., Lázaro Somoza, A., Giulini, A. P. M., Somogyi, F., Körösi, S., & Taferner-Kriegel, J. (2024). DurduTools – an online genetic distance calculation tool for efficient variety testing in durum wheat (*Triticum turgidum* L. subsp. *durum* (Desf.) Husn.). *Crops*, 4(4), 584–601. <https://doi.org/10.3390/crops4040041>
27. The International Union for the Protection of New Varieties of Plants. (2021). *UPOV – Working Group on Biochemical and Molecular Techniques and DNA-Profiling in Particular (BMT/20)*. Retrieved March 11, 2025, from https://www.upov.int/meetings/en/details.jsp?meeting_id=60594
28. *On Protection of Rights to Plant Varieties: Law of Ukraine of 21.04.1993 No. 3116-XII: as of 15.11.2024*. Retrieved March 11, 2025, from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3116-14>

УДК 633.15: 502.057: 577.213.3: 57.087.1

Присяжнюк Л. М., Стариченко Є. М., Таганцова М. М., Шитікова Ю. В., Гринів С. М., Стадніченко О. А. Можливості застосування методу GAIA для кваліфікаційної експертизи на ВОС в Україні. *Plant Varieties Studying and Protection*. 2025. Т. 21, № 1. С. 52–59. <https://doi.org/10.21498/2518-1017.21.1.2025.327502>

Український інститут експертизи сортів рослин, вул. Горіхуватський шлях, 15, м. Київ, 03041, Україна, *e-mail: prysiazniuk_l@ukr.net

Мета. Визначити придатність методу GAIA для порівняння ліній кукурудзи звичайної на основі вагових коефіцієнтів відмінності ступенів прояву морфологічних ознак та SSR маркерів. **Методи.** Польові (описова морфологія рослин), молекулярні (ПЛР, капілярний електрофорез), статистичні (метод головних компонент, кореляційний аналіз). **Результати.** Досліджено 57 ліній кукурудзи звичайної колекції загальновідомих сортів для встановлення відмінності на основі фенотипових і молекулярних дистанцій методом GAIA. 12 ліній виявилися «Відмінними плюс» до інших досліджуваних, що визначено за результатами їх порівняння з урахуванням вагомості різниці ступенів прояву морфологічних ознак. Згідно з отриманими даними серед «Відмінних плюс» ліній більшість класифіковано як відмінні за результатами експертизи на відмінність, однорідність і стабільність (ВОС), втім три пари експертом зараховано до групи подібних і дуже подібних. З'ясовано, що перші дві головні компоненти пояснюють 23,37% варіабельності ознак.

За результатами аналізу головних компонент встановлено, що високий рівень варіабельності зумовлений відмінностями за групувальними ознаками та ознаками, які не використовують для групування сортів під час експертизи на ВОС. Це свідчить про те, що для підвищення ефективності застосування методу GAIA доцільно збільшити вагомість відмінності різниці ступенів прояву цих ознак. Внаслідок поєднання фенотипових і молекулярних дистанцій визначено додатково 35 пар ліній кукурудзи, що мають високий ступінь відмінності та не потребують прямих порівнянь у польових умовах в наступному вегетаційному циклі. **Висновки.** Встановлено, що застосування методу GAIA для дослідження нових ліній кукурудзи допомагає зменшити кількість прямих порівнянь у польових умовах за поєднання морфологічних ознак і молекулярних маркерів.

Ключові слова: вагомість різниці ступенів прояву ознак; SSR маркери; головні компоненти; фенотипові та молекулярні дистанції; кукурудза звичайна.

Надійшла / Received 18.02.2025

Погоджено до друку / Accepted 24.03.2025

