

**НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ АГРАРНИХ НАУК УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ РОСЛИННИЦТВА ім. В.Я. Юр'єва**

National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine
Yutiev Plant Production Institute of NAAS

Селекція і насінництво

**Plant Breeding
and Seed Production**

Міжвідомчий тематичний
науковий збірник
заснований у 1964 р.

ВИПУСК

127

Харків 2025

Збірник «Селекція і насінництво» є науковим фаховим виданням з сільськогосподарських наук, включеним до «Списку друкованих (електронних) періодичних видань, що входять до Переліку наукових фахових видань України» в Категорію Б за спеціальністю 201 – сільськогосподарські науки згідно до наказу Міністерства освіти і науки України від 15.10.2019 № 1301.

У збірнику публікуються експериментальні та оглядові статті з питань селекції, генетики, фізіології, насінництва, насіннезнавства, генетичних ресурсів рослин, сортовивчення та сортознавства і інші, що пов'язані з проблемами селекції польових культур.

Періодичність видання два рази на рік.

Відповідальні редактори

Федак Джордж	Канада, Східний дослідницький центр зернових і олійних культур, Департамент Сільського господарства і кормовиробництва	Доктор наук, професор
Кириченко В.В.	Україна, Інститут рослинництва ім. В.Я. Юр'єва НААН	Доктор с.-г. наук, професор, академік НААН

Заступники відповідального редактора

Колупаєв Ю.Є.	Україна, Інститут рослинництва ім. В.Я. Юр'єва НААН	Доктор біол. наук, професор
Кирпа М.Я.	Україна, ДУ Інститут зернових культур НААН	Доктор с.-г. наук, професор, член-кореспондент НААН

Відповідальний секретар

Понуренко С.Г.	Україна, Інститут рослинництва ім. В.Я. Юр'єва НААН	Кандидат с.-г. наук
----------------	-----------------------------------------------------	---------------------

Члени редколегії

Гайле Зінта	Латвія, Латвійський Сільськогосподарський університет	Доктор с.-г. наук, професор
Дзюбецький Б.В.	Україна, ДУ Інститут зернових культур НААН	Доктор с.-г. наук, професор, академік НААН
Кобизєва Л.Н.	Україна, Інститут рослинництва ім. В.Я. Юр'єва НААН	Доктор с.-г. наук, старший науковий співробітник
Козаченко М.Р.	Україна, Інститут рослинництва ім. В.Я. Юр'єва НААН	Доктор с.-г. наук, професор
Коломацька В.П.	Україна, Інститут рослинництва ім. В.Я. Юр'єва НААН	Доктор с.-г. наук, старший науковий співробітник
Мікліч Владімір	Сербія, Інститут польових та овочевих культур	Доктор наук, професор
Пачев Іван Дянков	Болгарія, Інститут кормових культур	Доктор наук, доцент
Рябчун Н.І.	Україна, Інститут рослинництва ім. В.Я. Юр'єва НААН	Доктор с.-г. наук, старший науковий співробітник
Уразалієв Р.А.	Казахстан, Казахський науково-дослідний інститут землеробства і рослинництва	Доктор с.-г. наук, професор, академік Національної Академії Республіки Казахстан, НААН України, РАН
Шенгву Гу	Китай, Північно-Західний А&F Університет	Доктор наук
Шкорич Драган	Сербія, Інститут польових і овочевих культур, Департамент олійних культур	Доктор наук, професор, член-кореспондент Сербської академії наук і мистецтв
Васько Н.І.	Україна, Інститут рослинництва ім. В.Я. Юр'єва НААН	Доктор с.-г. наук, старший науковий співробітник

За достовірність інформації відповідають автори публікацій.

Видання представлено та індексується IndexCopernicus, Googlescholar, Crossref, ResearchGate, BASE, GENERALIMPACTFACTOR, OAJI, iCi, Ulrich'sPeriodicalsDirectory, WorldCat, ResearchBib, CiteFactor, KOAR, Dimensions, SIS, Kind Congress, Science Gate, Cosmos IF, ESJI, ISI, ROAD, WorldWideScience, OUCJ, Національна наукова бібліотека України ім. В.І. Вернадського.

Свідоцтво про реєстрацію КВ № 21732-11632ПР від 24.11.2015 р.

Адреса редакційної колегії: проспект Героїв Харкова, 142,
м. Харків, Україна, 61060

Інститут рослинництва ім. В.Я. Юр'єва НААН

тел. +38(098) 9494524

e-mail: plant_biology@ukr.net

<http://journals.uran.ua/pbsd>

© Інститут рослинництва ім. В.Я. Юр'єва НААН України, 2025

ISSN1026-9959 (print)

ISSN2413-7510 (online)

Collection «Plant Breeding and Seed Production» is a scientific professional edition in agricultural sciences. It is on the «List of Printed (Electronic) Periodicals» included in the «List of Scientific Professional Editions of Ukraine» **Category B for specialty 201** – Agricultural Sciences according to order No 1301 of the Ministry of Education and Science of Ukraine dated October 10, 2019.

The collection publishes experimental and review articles on selection, genetics, physiology, seed industry, seed research, plant genetic resources, breeding and other problems related to selection of field crops.

Periodicity: 2 issues per year.

Editor-in-Chief

Fedak George	Canada, Eastern Cereals and Oilseeds Research Centre Agriculture and Agri-Foods	Doctor of Sciences, professor
Kyrychenko V.V.	Yutiev Plant Production Institute of NAAS	Doctor of Agricultural Sciences, professor, academician of NAAS

Assistant Editor-in-Chief

Kolupaev Yu.E.	Ukraine, Yutiev Plant Production Institute of NAAS	Doctor of Biological Sciences, professor
Kirpa M.Ya.	Ukraine, Institute of Grain Crops NAAS	Doctor of Agricultural Sciences, professor, NAAS Corresponding Member

Executive Secretary

Ponurenko S.H.	Ukraine, Yutiev Plant Production Institute of NAAS	PhD
----------------	-------------------------------------------------------	-----

Editorial board members

Gaile Zinta	Latvia, Latvia University of Agriculture	Doctor of Science, professor
Dziubetskiy B.V.	Ukraine, Institute of Grain Crops NAAS	Doctor of Agricultural Sciences, professor, academician of NAAS
Kobyzeva L.N.	Ukraine, Yutiev Plant Production Institute of NAAS	Doctor of Agricultural Sciences, senior researcher
Kozachenko M.R.	Ukraine, Yutiev Plant Production Institute of NAAS	Doctor of Agricultural Sciences, professor
Kolomatska V.P.	Ukraine, Yutiev Plant Production Institute of NAAS	Doctor of Agricultural Sciences, senior researcher
Miklić Vladimir	Serbia, Institute of Field and Vegetable Crops	Doctor of Sciences, professor
Pachev Ivan Diankov	Bulgaria, Institute for Forage Crops	Doctor of Sciences, Associate professor
Ryabchun N.I.	Ukraine, Yutiev Plant Production Institute of NAAS	Doctor of Agricultural Sciences, senior researcher
Urazaliev R.A.	Kazakhstan, Kazakh Research Institute of Agriculture and Crop Production	Doctor of Agricultural Sciences, professor, academician of National Academy of Sciences of Kazakhstan, NAAS of Ukraine, Russian Academy of Sciences
Shengwu Hu	China, Northwest A&F University, Yangling	Doctor of Science
Škorić Dragan	Serbia, Institute of Field and Vegetable Crops, Department of Oil Plants	Doctor of Sciences, professor, corresponding member of Serbian Academy Sciences and Arts
Vasko N.I.	Ukraine, Yutiev Plant Production Institute of NAAS	Doctor of Agricultural Sciences, senior researcher

The authors of publications are responsible for the accuracy of information.

The collection has been represented and is indexed IndexCopernicus, Google Scholar, Crossref, ResearchGate, BASE, GENERAL IMPACT FACTOR, OAJI, iCi, Ulrich's Periodicals Directory, WorldCat, ResearchBib, CiteFactor, KOAR, Dimensions, SIS, Kind Congress, Science Gate, Cosmos IF, ESJI, ISI, ROAD, WorldWideScience, OUCJ, National Scientific Library named after V.I. Vernadsky.

Registration certificate KV # 21732-11632PR of 24.11.2015.

Address of the Editorial Board of the collection Plant Breeding and Seed Production:

Prospect Heroyiv Kharkova, 142

Kharkiv, Ukraine, 61060

Yutiev Plant Production Institute of NAAS

Tel. +38(098) 9494524

E-mail: plant_biology@ukr.net

<http://journals.uran.ua/pbsd>

© Yutiev Plant Production Institute of NAAS, 2025

ISSN1026-9959 (print)

ISSN2413-7510 (online)

УДК: 633.3

В.Д. Бугайов*, В.М. Горенський

Потенційна та фактична урожайність насіння люцерни (*MEDICAGO L.*) за підвищеної кислотності ґрунту

Інститут кормів та сільського господарства Поділля НААН України, Вінниця, Україна

*E-mail: bugayovvd@ukr.net

UDC: 633.3

V.D. Buhaiov*, V.M. Horenskyi

Potential and Real Alfalfa (*MEDICAGO L.*) Seed Yield on Increased Soil Acidity

Institute of Feeds and Agriculture of Podillia, NAAS of Ukraine, Vinnytsia, Ukraine

*E-mail: bugayovvd@ukr.net

Реферат: Проведено оцінку впливу гідротермічних ресурсів та окремих елементів структури насінневої продуктивності за два роки використання травостою на урожайність насіння зразків генофонду люцерни різного еколого-географічного походження на фоні підвищеної кислотності ґрунту. Виявлено істотний вплив гідротермічних ресурсів на насіннєву продуктивність (невеликі та середні посухи в період цвітіння та збирання врожаю підвищують її, а опади – навпаки, знижують). Зроблено висновок, що для скорочення часу на проведення структурного аналізу достатньо використовувати ознаки з найбільш істотно вираженим впливом – кількість продуктивних пагонів, китиць на пагоні, бобів у китиці та насінин у бобі. Подальшого вивчення потребує питання мінімізації втрат насіння через генетичні, біологічні та механічні чинники.

Ключові слова: *Medicago sativa*, кислотність ґрунту, насіннєва продуктивність, коефіцієнт кореляції, гідротермічні ресурси.

Abstract: This study assessed the impact of hydrothermal factors on and contributions of individual seed productivity components to the seed yields of alfalfa germplasm accessions of different eco-geographical origins grown on soil with increased acidity over two years of sward utilization. A significant influence of hydrothermal factors on seed productivity was observed: minor to moderate droughts during anthesis and harvest increased it, while precipitation, conversely, decreased. It was concluded that to reduce the time spent on structural analysis, it is sufficient to use traits that are most significantly affected: number of productive shoots, racemes per shoot, pods per raceme, and seeds per pod. Further research is needed on minimizing seed losses caused by genetic, biological, and mechanical factors.

Key words: *Medicago sativa*, soil acidity, seed productivity, correlation coefficient, hydrothermal factors.

Вступ

Актуальність досліджень впливу гідротермічних ресурсів та окремих елементів структури насінневої продуктивності на урожайність насіння зразків генофонду люцерни різного еколого-географічного походження зумовлена необхідністю виділення високопродуктивного вихідного матеріалу для подальшого використання в селекційному процесі.

Introduction

The relevance of research into the impact of hydrothermal factors and individual seed productivity components on seed yields of alfalfa germplasm accessions of different eco-geographical origins is driven by the necessity of identifying highly productive initial materials for further breeding.

Люцерна (*Medicago sativa* L.) дозволяє забезпечити тваринництво багатими на білок і вітаміни кормами та є найбільш широко культивованою бобовою кормовою культурою у світі [1]. Як багаторічна бобова рослина, вона збагачує ґрунт азотом, поліпшує його структуру й родючість, але, незважаючи на це, посівні площі під цією культурою скорочуються, також існує дефіцит насіннєвого матеріалу [2]. Основним чинником, який визначає насіннєву та кормову продуктивність люцерни, є вибір сорту найбільш продуктивного та адаптованого до конкретних ґрунтово-кліматичних умов [3]. Рослини люцерни нормально ростуть та розвиваються за рН 6,5-8,4. Зниження реакції ґрунтового розчину до 5,0-5,5 негативно позначається на метаболічних процесах і продуктивності рослин [4]. Найбільш помітно під впливом підвищеної кислотності ґрунту знижується насіннєва продуктивність люцерни [5]. Відзначено також, що за рН 4,5-5,0, коли зростає активність і токсичність іонів алюмінію (Al^{3+}), бульбочкові бактерії призупиняють свою життєдіяльність [6, 7].

За даними XI туру агрохімічного обстеження, більше 24% ґрунтів в Україні є кислими. Висока питома вага кислих ґрунтів характерна для зони Полісся (48,4%). У Житомирській, Вінницькій, Чернігівській та Закарпатській областях питома вага кислих площ у загальному обсязі обстежених сільськогосподарських угідь становить від 57 до 66 % [8]. Загалом у світі площа таких ґрунтів становить близько 50%, а основними негативними чинниками на цих територіях є токсичні рівні алюмінію (Al) і марганцю (Mn), а також субоптимальні рівні фосфору (P) [9]. Такий стан сільськогосподарських земель актуалізує розвиток технологій селекції люцерни, спрямованих на створення сортів, здатних реалізувати адаптивний потенціал генотипу саме за таких несприятливих умов. Питання едафічної адаптації рослин мають важливе значення для ефективного використання ґрунтово-кліматичних умов кожної зони. Її роль особливо зростає в умовах хіміко-техногенної інтенсифікації рослинництва, оскільки більшість елементів такої агротехніки спрямовано на оптимізацію умов середовища саме субстрату [10, 11]. Тому виникає необхідність у продовженні пошуку нового вихідного матеріалу люцерни з оптимальним поєднанням елементів кормової та насіннєвої продуктивності на фоні підвищеної кислотності ґрунтового середовища.

Alfalfa (*Medicago sativa* L.) supplies livestock farming with protein- and vitamin-rich forages and is the most widely cultivated leguminous fodder crop globally [1]. As a perennial legume, it enriches the soil with nitrogen, improving its structure and fertility. Despite these benefits, alfalfa-sown area is shrinking; there is also a deficit of seeds [2]. Selection of the most productive cultivar, which is adapted to specific soil and climatic conditions, is the main factor determining alfalfa's seed and fodder productivity [3]. Alfalfa plants grow and develop normally at pH 6.5-8.4. A decrease in the soil solution reaction to pH 5.0-5.5 negatively affects metabolic processes and plant performance [4]. Alfalfa seed productivity most noticeably decreases under the influence of increased soil acidity [5]. It was also noted that at pH 4.5-5.0, where the activity and toxicity of aluminum ions (Al^{3+}) elevates, nodule bacteria cease their vital activity [6, 7].

According to the 9th agrochemical survey, more than 24% of soils in Ukraine are acidic. The woodlands have a high proportion of acidic soils (48.4%). In the Zhytomyrska, Vinnytska, Chernihivska, and Zakarpatska Oblasts, the proportion of acidic areas in the total surveyed agricultural land ranges from 57 to 66% [8]. Globally, such soils account for about 50%, with the main negative factors in these territories being toxic levels of aluminum (Al) and manganese (Mn), as well as suboptimal levels of phosphorus (P) [9]. This state of agricultural lands actualizes the development of alfalfa breeding technologies aimed at creating cultivars capable of fulfilling their genetically determined adaptive potentials specifically under such unfavorable conditions. Issues of edaphic adaptation of plants are of vital importance for the effective utilization of pedo-climatic resources in each zone. Its role particularly increases upon chemical and technogenic intensification of plant cultivation, as most elements of such farming techniques focus on optimizing the soil of all environmental conditions [10, 11]. Therefore, there is a continuing need to search for new initial alfalfa material with optimal combinations of fodder and seed productivity components on increased soil acidity.

У люцерни виявлено значний негативний вплив підвищеної кислотності ґрунту на формування кормової та насінневої продуктивності досліджуваних зразків. Частина з них взагалі не формували насіння в таких умовах, проте кормова продуктивність залишається на достатньому рівні [12]. Тому підвищення насінневої продуктивності й надалі залишається однією з головних проблем у селекції цієї культури [13-15]. Потенціал насінневої продуктивності люцерни реалізується лише частково. Це зумовлено низьким рівнем запилення квіток (зазвичай 40–60%) та невеликою кількістю насінин у бобі (3–4 шт.), що значною мірою залежить від гідротермічних та ґрунтових умов [16].

Метою роботи стала оцінка впливу елементів насінневої продуктивності та гідротермічного режиму на формування потенційного та фактичного врожаю насіння люцерни різного еколого-географічного походження на фоні підвищеної кислотності ґрунту у першій та другій роки використання травостою.

Методика

Дослідження проводили у 2020–2022 рр. на полях Інституту кормів та сільського господарства Поділля НААН України. Ґрунти – сірі опідзолені з рН сольової витяжки 5,2–5,3 та гідролітичною кислотністю 2,1–2,4 мг/екв. на 100 г ґрунту.

Як матеріал для досліджень використовували 192 колекційних зразки люцерни посівної та мінливої різного еколого-географічного походження. Серед них зразків походженням з України 46 шт.; РФ – 31; США – 18; Франції – 13; Аргентини – 11; Казахстану – 7; Німеччини, Литви, Канади, Югославії – по 5 зразків, Узбекистану, Болгарії, Португалії – по 4; Італії, Угорщини, Швеції – по 3; Іспанії, Еквадору, Таджикистану, Мексики, Чилі – по 2; решта – по 1 зразку (Бразилія, Великобританія, Ірак, Монголія, Азербайджан, Афганістан, Грузія, Алжир, Туреччина, Киргизстан, Румунія, Перу, Куба, Танзанія). Для більш показового зображення структурного аналізу насінневої продуктивності використано 38 кращих зразків люцерни (таблиця 1).

Закладання селекційних розсадників проводилось в 2020 р. літнім безпокровним способом сівби широкорядно (45 см) для обліку насінневої продуктивності. Площа облікової ділянки – 3 м² повторність дворазова. Польові дослідження, обліки, спостереження та

A significant negative effect of increased soil acidity on fodder and seed productivity of the studied alfalfa accessions was observed. Some of them did not form seeds at all under such conditions, although fodder productivity remained sufficiently high [12]. Therefore, increasing seed productivity remains one of the main challenges in this crop breeding [13-15]. The potential for alfalfa seed productivity is only partially fulfilled. This is attributed poor pollination of flowers (usually 40–60%) and few seeds per pod (3-4), which largely depend on hydrothermal and soil conditions [16].

Our purpose was to evaluate the contributions of seed productivity components and hydrothermal profile to the potential and real seed yields of alfalfa accessions of different eco-geographical origins grown on increased soil acidity in the first and second years of sward utilization.

Methods

The study was conducted in the fields of the Institute of Feeds and Agriculture of Podillia of NAAS of Ukraine in 2020–2022. The soil is gray podzolized with a salt extract pH of 5.2–5.3 and hydrolytic acidity of 2.1–2.4 mg/eq. per 100 g of soil.

192 collection accessions of purple and variegated alfalfa of different eco-geographical origins were studied: 46 accessions from Ukraine, 31 from the Russian Federation, 18 from the USA, 13 from France, 11 from Argentina, 7 from Kazakhstan, 5 each from Germany, Lithuania, Canada, and Yugoslavia, 4 each from Uzbekistan, Bulgaria, and Portugal, 3 each from Italy, Hungary, and Sweden, 2 each from Spain, Ecuador, Tajikistan, Mexico, and Chile, and 1 each from Brazil, Great Britain, Iraq, Mongolia, Azerbaijan, Afghanistan, Georgia, Algeria, Turkey, Kyrgyzstan, Romania, Peru, Cuba, and Tanzania. Thirty-eight best alfalfa accessions were selected for a more illustrative representation of the structural analysis of seed productivity (Table 1).

The breeding nurseries were set in 2020 by summer open sowing in wide rows (45 cm) to record seed productivity. The record plot area was 3 m², with two replications. The field surveys, records, observations, and measurements were conducted according to the guidelines [17, 18].

вимірювання проводили згідно з рекомендаціями [17, 18].

Елементи структури насінневої продуктивності визначали безпосередньо в полі за 15-20 діб до повного дозрівання при побурінні 65-70% бобів на рослинах, залишених з першого укусу. Після цього зразки (75-85% дозрілих бобів) підкошували бензокосою і досушували у снопах в польових умовах. Структурний аналіз проводили за такими ознаками: кількість продуктивних пагонів на м², кількість китиць на пагоні, довжина китиці (від місця прикріплення нижнього бобу до місця прикріплення останнього), кількість бобів у китиці, кількість обертів бобу, кількість насінин у бобі, висота рослин та маса 1000 насінин.

Seed productivity components were determined in the field 15-20 days prior to complete maturity when 65-70% of the pods on plants left after the first cut had turned brown. Then the accessions (75-85% of ripened pods) were mowed with a brush cutter and dried in sheaves in the field. Structural analysis was performed for the following traits: number of productive shoots per m², number of racemes per shoot, raceme length (from the attachment point of the lowest pod to the attachment point of the last one), number of pods per raceme, number of pod whorls, number of seeds per pod, plant height, and thousand seed weight.

Таблиця 1. Походження кращих колекційних зразків люцерни посівної, використаних для відображення елементів насінневої продуктивності

Table 1. Origins of the best collection purple alfalfa accessions for displaying seed productivity components

Назва або біологічний статус зразка / Accession's Name or Biological Status	Номер у Національному каталозі / National Catalogue Number	Країна походження / Country of Origin
St (Синюха) / Syniukha (check cultivar)	UJ0700134	UA
Радослава / Radoslava	UJ0700798	UA
Росана / Rosana	UJ0700653	UA
КМФ місцева форма / KMF (local form)	UJ0700 886	UA
Синя 2 / Synia 2	UJ0700 882	UA
Елегія / Elehiia	UJ0700883	UA
Анатоліївна / Anatoliivna	UJ0700797	UA
Люба / Liuba	UJ0700595	UA
Черноголовая / Chernogolovaya	UJ0700684	RU
Желтогибридная 191 / Zhyoltogibridnaya 191	UJ0700318	RU
Якутская желтая / Yakutskaya Zhyoltaya	UJ0700720	RU
Сибирская 8 / Sibirskaya 8	UJ0700300	RU
Артемиды / Artemida	UJ0700707	RU
Саратовская 1 / Saratovskaya 1	UJ0700186	RU
Oranja /	UJ0700535	US
Maguei /УААН/№1463 / Maguei /UAAN/№1463	UJ0700539	US
WL-514	UJ0700608	US
WL-515	UJ0700609	US
Brend 919	UJ0700613	US
Deseret	UJ0700614	US
Galaxie	UJ0700827	FR
Boreale	UJ0700406	FR
Cordoba	UJ0700617	AR
Красноводопадская №8 / Krasnovodopadskaya No 8	UJ0700329	KZ
Ziguen	UJ0700716	DE
Плевен 6 / Pleven 6	UJ0700552	BG
Maris kabul	UJ0700540	BG
Будучиня / Buduchynia	UJ0700645	BG
Палава / Palava	UJ0700622	BG
Феракс 58 /	UJ0700715	CA
Місцева / Mistseva	UJ0700632	PT
Grilys 1 (клон №3) / Grilys-1 (clone No 3)	UJ0700772	SE
Місцева / Mistseva	UJ0700430	BR
Місцева / Mistseva	UJ0700367	AZ

Фактичну урожайність насіння визначали безпосередньо ваговим методом після очищення насінневого матеріалу, а потенційно можливу шляхом множення структурних елементів між собою: кількість продуктивних пагонів на м², кількість китиць на пагоні, кількість бобів у китиці, кількість насінин у бобі (таким чином було визначено кількість насінин на рослинах з 1 м²), масу однієї тисячі насінин та розділено цей добуток на 1000.

Гідротермічні умови за роки проведення досліджень характеризувалися неоднорідними розподілом опадів та температурним режимом порівняно з середньобаторічними значеннями (рис. 1).

The real seed yield was measured gravimetrically after cleaning the seed material, while the potential yield was calculated by multiplying the following yield components: number of productive shoots per m², number of racemes per shoot, number of pods per raceme, number of seeds per pod (thus, the number of seeds on plants from 1 m² was estimated), and thousand seed weight; then this product was divided by 1,000.

The hydrothermal conditions in the study years were characterized by uneven distribution of precipitation and temperature profiles compared to the long-term average values (Fig. 1).

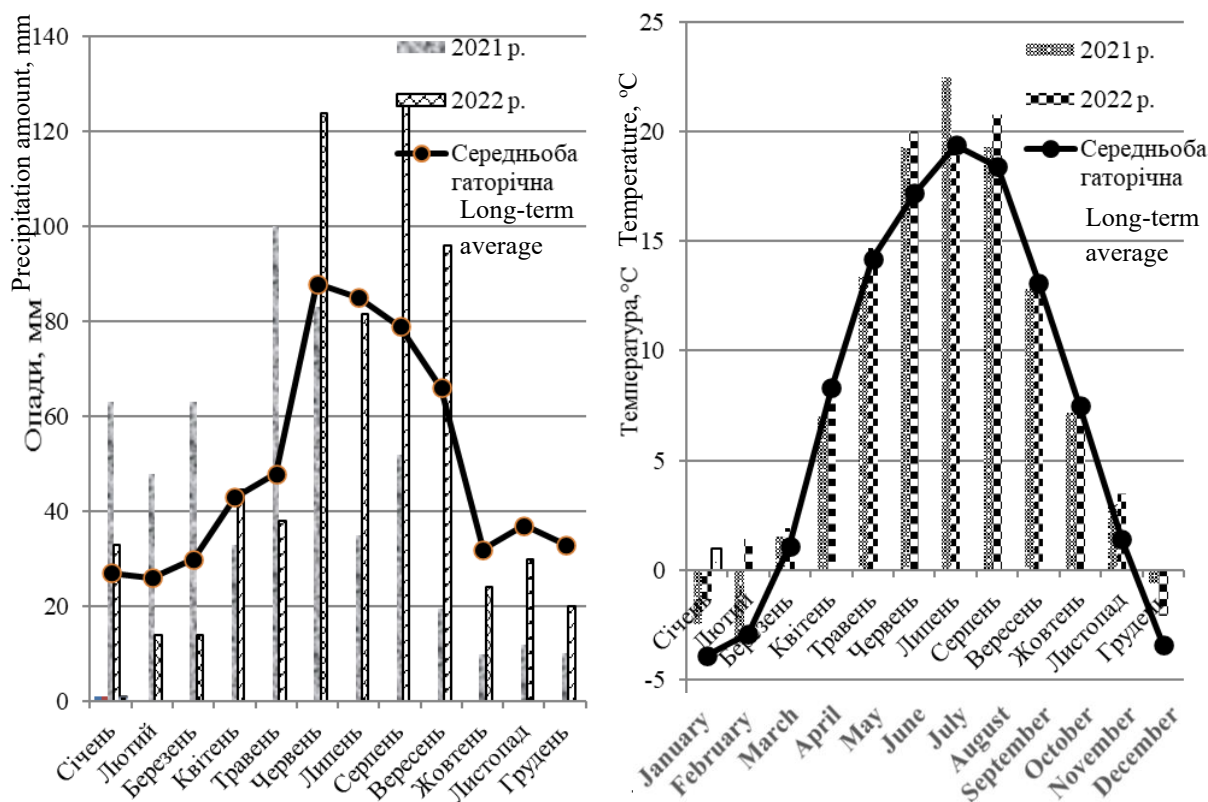


Рис. 1 Кількість опадів та температурний режим 2021–2022 рр.

Fig. 1. Precipitation and temperature in 2021–2022.

Більш оптимальними для формування насінневої продуктивності рослин люцерни виявився 2022 р. За основний період вегетації (травень-вересень) у 2021 р. з оптимальним та надлишковим вологозабезпеченням були тільки травень та червень (ГТК – 2,41 і 1,43 відповідно), а в наступні місяці спостерігалась посуха різної інтенсивності (ГТК – 0,5, 0,87, 0,51), хоча в цілому за весь період відзначено ГТК на рівні 1,08, що

2022 proved to be the more optimal year for alfalfa seed productivity. In 2021, during the main part of the vegetation period (May–September), only May and June had optimal or excessive wetting (the hydrothermal coefficient (HTC) was 2.41 and 1.43, respectively). In the subsequent months, there were droughts of varying intensity (HTC – 0.5, 0.87, 0.51), although the overall HTC for the entire period

відповідає достатнім умовам зволоження (табл. 2). У 2022 р. виявлено протилежні умови: невелика посуха спостерігалась у травні (ГТК – 0,87), а з червня до вересня кількість опадів відповідала надлишковим умовам зволоження (ГТК – 2,07, 1,34, 1,97, 2,52). В цілому за 2022 р. ГТК становив 1,74, що відповідає надмірному зволоженню.

Статистичну обробку даних проводили за допомогою програмного забезпечення “Agrostat”, ПППІ “IBM SPSS Statistics” та “Microsoft Excel”.

was 1.08, which corresponds to sufficient wetting (Table 2). In 2022, the conditions were opposite: there was a slight drought in May (HTC = 0.87), while from June to September, precipitation were considered as excessive wetting (HTC = 2.07, 1.34, 1.97, 2.52). Overall, the HTC was 1.74 in 2022, indicating water-logging.

Data were statistically processed in Agrostat, IBM SPSS Statistics, and Microsoft Excel.

Таблиця 2. Основні значення гідротермічних ресурсів за період досліджень (2021-2022 рр.)

Table 2. Key values of the hydrothermal factors during the study period (2021-2022).

Показник /	Травень / May	Червень / June	Липень / July	Серпень / August	Вересень / September	За весь період / Entire period
Середня температура повітря (t _{сер}), °C / Mean air temperature (t _{mean}), °C	13,4/14,7*	19,3/20	22,5/19,6	19,3/20,8	12,8/12,7	17,5/17,6
Сума опадів, мм / Precipitation amount, mm	100/38	83/124	35/81,6	52/127	19,4/96	289,4/466,6
Сума активних температур (такт>10), °C / Sum of active temperatures (t _{act>10}), °C	415,4/455,7	579/600	697,5/607,6	598,3/644,8	384/381	2674,2/2689,1
ГТК Селянинова / Selyaninov's HTC	2,41/0,83	1,43/2,07	0,50/1,34	0,87/1,97	0,51/2,52	1,08/1,74

Примітка * - 2021 р./2022 р.

Note * - 2021/2022.

Результати та обговорення

За результатами проведеного структурного аналізу колекційних зразків люцерни у 2021 р. (перший рік використання) виявлено, що кількість продуктивних пагонів була в межах від 15 до 83 шт./м² при середньому значенні 46,3 шт./м² (табл. 3). Найвищі значення за цією ознакою були у зразків Maguei – 83 шт./м², у стандартного сорту Синюха – 77, у сорту

Results and Discussion

The structural analysis of the alfalfa collection accessions conducted in 2021 (first year of usage) showed that the number of productive shoots ranged from 15 to 83 shoots/m², with the mean of 46.3 shoots/m² (Table 3). The greatest numbers of productive shoots were recorded for cvs. ‘Maguei’ (83 shoots/m²), ‘Syniukha’ (check cultivar; 77), and

Елегія – 69. Кількість китиць на пагоні також варіювала в досить широкому діапазоні – від 5 до 49 шт. на одному пагоні при середньому – 23,8. Найбільшу кількість китиць виявлено у Радуга (UA) – 49, Інтрига (UA) – 48 Феракс 58 (CA) – 36. В цілому при зменшенні щільності пагонів на площі зростала їх освітленість та здатність до гілкування з формуванням більшої кількості суцвіть. Довжина китиці становила від 1 до 3 см (СМР – 1,7), де формувалось від 3 до 11 зав'язаних бобів (СМР – 6,3). Одними з кращих за кількістю бобів у суцвітті були зразки: місцева UJ0700367 – 11 шт., Радослава, КМФ (місцева форма), Красноводопадская №8 – по 10 шт., причому кількість бобів дещо зростала на довших суцвіттях. Кількість обертів бобу становила 1-3 шт, на які припадало від 1,5 до 6 насінин (від 1,5 до 2 насінин на один оберт бобу). Найвищі значення кількості насінин у бобі були зафіксовані у зразків: Кулундинская боровая – 6; Радослава, Красноводопадская №8 – 5 шт.; Синя 2, Анатоліївна, Саратовская 1, Оранжа, Boreale, Зигуен, Будучиня, Grilys 1 (клон №3) – по 4 шт. Фактична урожайність насіння за середнім міжпопуляційним рівнем становила 24,8 г/м² при потенційно можливій за елементами структури – 34,1 г/м². Відношення фактичного врожаю до потенційного за СМР становило 73%, що, на нашу думку, пов'язано з втратою врожаю насіння через обсіпання бобів та насіння при несвоєчасному збиранні (затяжні дощі під час збирання стимулюють підгнивання бобів, проростання насіння, а тривала суха погода спричиняє розтріскування частини бобів та обсіпання насіння); також до втрати плодоеlementів призводить механічний вплив при підкошуванні травостою. Як свідчать дані, наведені в табл. 3, формування та збереження рівня насінневої продуктивності у різних зразків люцерни відрізнялося: наприклад, у стандартного сорту Синюха фактична урожайність насіння зберігалася на рівні 82%, тоді як у сорту Радослава становила лише 49%. У значної частини зразків продуктивність зберігалася на рівні біологічно можливого врожаю або навіть дещо вищому, наприклад, місцева UJ0700430 – 119%, Феракс 58 – 118, Синя 2 – 114% тощо.

'Elehiia' (69). The number of racemes per shoot also varied over a fairly wide range, from 5 to 49 racemes/shoot, with the mean of 23.8. The greatest number of racemes was observed in cv. 'Raduha' (UA), 'Intryha' (UA), and 'Feraks 58' (CA): 49, 48, and 36, respectively. In generally, as the shoot density per area decreased, their illumination and branching ability increased, leading to the formation of more inflorescences. The raceme length ranged from 1 to 3 cm (Mean Population Value (MPV) = 1.7), where 3 to 11 pods set (MPV = 6.3). The best accessions in terms of number of pods per inflorescence included 'Mistseva' UJ0700367 (11 pods), 'Radoslava', 'KMF' (local form), Krasnovodopadskaya No. 8 (10 pods each), with slightly more pods on longer inflorescences. There were 1-3 pod whorls containing 1.5 to 6 seeds (1.5 to 2 seeds per pod whorl). The greatest numbers of seeds per pod were recorded for the following accessions: 'Kulundinskaya Borovaya' (6 seeds), 'Radoslava', 'Krasnovodopadskaya No. 8' (5), 'Synia 2', 'Anatoliivna', 'Saratovskaya 1', 'Oranja', 'Boreale', 'Zyhuen', 'Buduchynia', and 'Grilys 1' (clone No. 3) (4 pods each). The MPV of real seed yield was 24.8 g/m² compared to the potential yield of 34.1 g/m² estimated from yield components. The MPV of real/potential yield ratio was 73%, which, in our opinion, is attributed to seed loss because of pod and seed shattering during untimely harvest (prolonged rains during harvest stimulate pod rot and seed germination, while prolonged dry weather causes cracking of some pods and seed shattering); fruits and seeds are also lost because of mechanical impact during sward mowing. As Table 3 shows, seed productivity and its stability differed among alfalfa accessions: for example, in the check cultivar, 'Syniukha', the real seed yield was maintained at 82%, while in cv. 'Radoslava', it was only 49%. In many accessions, the productivity was maintained at biologically possible level or even slightly higher. For example, it was 119% in 'Mistseva' UJ0700430, 118% in 'Feraks 58', 114% in 'Synia 2', etc.

Таблиця 3. Елементи структури насінневої продуктивності кращих колекційних зразків люцерни посівної у 2021 р.**Table 3.** Seed productivity components in the best collection purple alfalfa accessions in 2021.

Назва зразка / Accession name	Кількість Number of					Довжина китиці, см. / Raceme length, cm	Висота рослин, см. / Plant height, cm	M ₁₀₀₀ / W ₁₀₀₀	УНФ*, г/м ² / RSY*, g/m ²	УНБ**, г/м ² / BSY**, g/m ²	УНФ / УНБ, %
	продуктивних пагонів, шт./м ² / productive shoots/m ²	китиць на пагоні, шт. / racemes/shoot	бобів у китиці, шт. / pods/raceme	обертів бобу, шт / pod whorls	насінин у бобі, шт / seeds/pod						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
St (Синюха) / Syniukha (check cultivar)	77	13	9	2.5	3	1.5	100	1.8	39.9	48.6	82
Радослава / Radoslava	49	15	10	2.1	5	2.5	102	1.7	30.9	62.5	49
Росана / Rosana	52	30	7	2.5	3	1.5	81	1.6	35.2	52.4	67
КМФ місцева форма / KMF (local form)	62	15	10	2	3	1.5	87	1.8	53.6	50.2	107
Синя 2 / Synia 2	47	34	5	2.5	4	1.5	85	1.8	65.5	57.5	114
Елегія / Elehiia	69	20	6	2	3	1.5	98	1.9	40.7	47.2	86
Анатоліївна / Anatoliivna	48	35	3	1.5	4	2.5	112	1.9	41.9	38.3	109
Люба / Liuba	49	28	5	2.5	3	1.9	81	1.9	34.7	39.1	89
Черноголовая / Chernogolovaya	44	28	5	2	3	1.1	82	1.8	30.3	33.3	91
Желтогибридная 191 / Zhyoltogibridnaya 191	39	31	5	1.5	3	2	95	1.6	31.9	29	110
Якутская желтая / Yakutskaya Zhyoltaya	50	27	6	1.5	3	2	85	1.7	41.3	41.3	100
Сибирская 8 / Sibirskaya 8	45	26	5	2.1	3	1.2	79	1.8	34.8	31.6	110
Артемиды / Artemida	46	20	8	1.5	2	1.7	86	2	32	29.4	109
Саратовская 1 / Saratovskaya 1	42	29	4	2	4	1.9	78	1.7	36.5	33.1	110
Oranja /	58	15	9	2	4	2.5	82	1.6	42.4	50.1	85
Maguei /UAAN/№1463 / Maguei /UAAN/№1463	83	18	7	2	3	1.5	71	1.7	32.5	53.3	61
WL-514	62	20	8	1.5	3	1.5	88	1.7	32.1	50.6	63
WL-515	52	17	8	2	3	2	90	1.9	34.1	40.3	85
Brend 919	60	29	3	2	3	1.5	81	2	35.4	31.3	113
Deseret	58	23	5	2	3	1.7	78	1.8	37.4	36	104

											продовження таблиці 3	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Galaxie	60	28	7	2	2	1.6	99	2	52.4	47	111	
Boreale	47	22	7	2	4	1.2	81	1.9	33.6	55	61	
Cordoba	44	30	7	2	2	2	90	2	38.5	37	104	
Красноводападская №8 / Krasnovodopadskaya No 8	45	12	10	2	5	2.5	82	1.8	47.4	48.6	98	
Ziguen	48	15	8	2.5	4	1.6	70	1.7	44.7	39.2	114	
Плевен 6 / Pleven 6	44	25	8	2	3	1.1	83	1.8	54.1	47.5	114	
Maris kabul	52	20	8	2	3	1.5	91	1.8	51.7	44.9	115	
Будучиня / Buduchynia	52	16	9	2	4	1.5	83	1.6	41.5	47.9	87	
Палава / Palava	33	35	6	2.5	3	1.5	87	1.8	35.9	37.4	96	
Феракс 58 /	50	36	8	2	2	1.5	78	1.9	64.4	54.7	118	
Місцева UJ0700632 / Mistseva UJ0700632	62	20	5	1.5	3	1.5	88	1.6	32.5	29.8	109	
Grilys 1 (клон №3) / Grilys-1 (clone No 3)	45	23	7	2	4	1.2	65	1.8	55.6	52.2	107	
Місцева UJ0700430 / Mistseva UJ0700430	47	25	6	2	3	2	98	2	50.3	42.3	119	
Місцева UJ0700367 / Mistseva UJ0700367	47	17	11	1.5	3	1.7	93	1.8	31.5	47.5	66	
НР _{0.05} / LSD _{0.05}	2.64	1.31	0.32	0.1	0.15	0.09	4.42	0.1	1.42	1.94	-	
СМР / МРV***	46.3	23.8	6.3	1.8	2.9	1.7	83.4	2	24.85	34.1	73	

Примітки: УНФ* - Урожайність насіння фактична, УНБ** - урожайність насіння біологічна, СМР*** - середній міжпопуляційний рівень.

Note: RSY* - Real Seed Yield, BSY** - Biological Seed Yield, MPV*** - Mean Population Value.

Для більш наочного відображення впливу елементів насінневої продуктивності на біологічну та фактичну урожайність насіння люцерни на фоні підвищеної кислотності ґрунту розраховували коефіцієнти парної кореляції між цими ознаками (табл. 4)

To more clearly illustrate the contributions of seed productivity components to the biological and real seed yields of alfalfa grown on increased soil acidity, pair correlation coefficients were calculated between these traits (Table 4).

Таблиця 4. Коефіцієнти кореляції між елементами структури насінневої продуктивності у колекційних зразків люцерни посівної 2021 р.

Table 4. Correlation coefficients between seed productivity components in the purple alfalfa collection accessions, 2021.

Значення / Value	К-ть продуктивних пагонів, шт./м ² / Number of productive shoots/m ²	К-ть китиць на пагоні, шт. / Number of racemes per shoot	Довжина китиці, см. / Raceme length, cm	К-ть бобів у китиці, шт. / Number of pods per raceme	К-ть обертів бобу, шт / Number of pod whorls	К-ть насінин у бобі, шт / Number of seeds per pod	Висота рослин, см. / Plant height, cm	M1000 / W ₁₀₀₀
К-ть продуктивних пагонів, шт./м ² / Number of productive shoots/m ²	-							
К-ть китиць на пагоні, шт. / Number of racemes per shoot	-0,20	-						
Довжина китиці, см. / Raceme length, cm	0,02	-0,14	-					
К-ть бобів у китиці, шт. / Number of pods per raceme	0,04	-0,34*	0,22	-				
К-ть обертів бобу, шт / Number of pod whorls	0,07	-0,04	0,16	0,02	-			
К-ть насінин у бобі, шт / Number of seeds per pod	0,05	-0,21	0,12	0,01	0,33*	-		
Висота рослин, см. / Plant height, cm	0,19	0,11	0,18	0,13	0	0,05	-	
M ₁₀₀₀ / W ₁₀₀₀	0	0,13	0,03	-0,02	-0,07	-0,07	0,07	-
УНФ / RSY	0,41*	0,03	0,02	0,18	0,19	0,35*	0,12	0,13
УНБ / BSY	0,40*	0,18	0,08	0,37*	0,25	0,59*	0,25	0,16

Примітка: * - вірогідно при $p \leq 0.05$.

Note: * - significant at $p \leq 0.05$.

За результатами 2021 року істотного впливу на формування врожаю насіння (як біологічного так і фактичного) не виявлено за ознаками: «кількість китиць на пагоні» ($r_{УНФ} = 0,03$; $r_{УНБ} = 0,18$); «довжина китиці» (0,02; 0,08); «кількість обертів бобу» (0,19; 0,25); «маса 1000 насінин» (0,13; 0,16) та «висота рослин» ($r_{УНФ} = 0,12$; $r_{УНБ} = 0,25$). Виявлено середній рівень зв'язку кількості продуктивних пагонів з розрахованою урожайністю ($r_{УНБ} = 0,40$) та фактичною ($r_{УНФ} = 0,41$). Дещо інші дані було отримано за ознаками «кількість бобів у китиці» ($r_{УНФ} = 0,18$; $r_{УНБ} = 0,37$) та «кількість насінин у бобі» ($r_{УНФ} = 0,35$; $r_{УНБ} = 0,59$). Менші значення впливу даних ознак на фактичну урожайність насіння порівняно з біологічною свідчить про втрати цих елементів продуктивності в період від проведення аналізу біологічної урожайності до жнив. Також слід відзначити середній негативний вплив «кількості китиць на пагоні» на «кількість бобів у китиці» (із збільшенням кількості китиць кількість зав'язаних бобів у них зменшувалася – $r = -0,34$) та середній позитивний між «кількістю обертів бобу» та «кількістю насінин у бобі» – $r = 0,33$.

На другий (2022 р.) рік використання насінневого травостою колекційних зразків люцерни виявлено, що частина зразків суттєво зменшувала формування кількості продуктивних пагонів (Стандартний сорт Синюха, КМФ місцева форма, Місцева UJ0700632) порівняно з першим роком використання, інші зберігали їх кількість (Радослава, Елегія, Артеміда, Оранжа) або підвищували її (Росана, Черноголовая, Сибирская 8, Brend 919) (табл. 5). Хоча в цілому за СМР дана ознака зберігалася на рівні 46,9 шт./м² (у 2021 р. – 46,3 шт./м²). Подібні зміни можна було спостерігати і за ознакою «кількість китиць на пагоні». Так, зменшувалася їх кількість у зразків Желтогибридная 191 (2021р. – 31, 2022 р. – 17) та Феракс 58 (36, 25); залишалася незмінною у зразків стандарт Синюха (13, 14), Радослава (15, 18), КМФ місцева форма (15, 12), Люба (28, 25); підвищувалася у зразків Синя 2 (34, 40), Елегія (20, 32), Grilys 1 (клон №3) (23, 32). СМР зменшився з 23,8 у 2021р. до 22,2 у 2022 р. Слід відзначити, що на другий рік використання дещо збільшилась довжина суцвіть до 1,9 см за СМР (у 2021 р. – 1,7 см).

Based on the results from 2021, the traits that did not contribute significantly to either biological or real seed yield included number of racemes per shoot ($r_{RSY} = 0.03$; $r_{BSY} = 0.18$), raceme length (0.02; 0.08), number of pod whorls (0.19; 0.25), thousand seed weight (0.13; 0.16), and plant height (0.12; 0.25). There was a medium correlation between the number of productive shoots and estimated yield ($r_{BSY} = 0.40$) and between the number of productive shoots and real yield ($r_{RSY} = 0.41$). Slightly different values were obtained for the traits of "number of pods per raceme" ($r_{RSY} = 0.18$; $r_{BSY} = 0.37$) and "number of seeds per pod" ($r_{RSY} = 0.35$; $r_{BSY} = 0.59$). The lower values of these traits' contributions on real seed yield compared to biological one indicate that these productivity components were lost during the period from biological yield analysis to harvest. It should also be noted that there was a medium negative correlation between the number of racemes per shoot and number of pods per raceme (the more racemes were formed, the fewer pods set in them – $r = -0.34$) and a medium positive correlation between number of pod whorls and number of seeds per pod ($r = 0.33$).

In the second year (2022) of utilizing the seed sward of the alfalfa collection accessions, we found that some accessions had significantly fewer productive shoots (check cultivar 'Syniukha', 'KMF' (local form), 'Mistseva' UJ0700632) compared to the first year of use. Others maintained their number ('Radoslava', 'Elehiia', 'Artemida', 'Oranja') or increased it ('Rosana', 'Chernogolovaya', 'Sibirskaya 8', 'Brend 919') (Table 5). Nevertheless, the MPV of this trait was still 46.9 shoots/m² (46.3 shoots/m² in 2021). Similar changes were observed for the number of racemes per shoot. For example, their number decreased in 'Zhyoltogibridnaya 191' (2021 - 31, 2022 - 17) and 'Feraks 58' (36, 25); remained unchanged in the check cultivar, 'Syniukha', (13, 14), 'Radoslava' (15, 18), 'KMF' (local form) (15, 12), 'Liuba' (28, 25); and increased in 'Synia 2' (34, 40), 'Elehiia' (20, 32), 'Grilys 1' (clone No. 3) (23, 32). The MPV decreased from 23.8 in 2021 to 22.2 in 2022. It should be noted that in the second year of use, the raceme became slightly longer (MPV = 1.9 cm) (compared to 1.7 cm in 2021).

Таблиця 5. Елементи структури насінневої продуктивності кращих колекційних зразків люцерни посівної у 2022 р.**Table 5.** Seed productivity components in the best collection purple alfalfa accessions in 2022.

Назва зразка / Accession name	Кількість Number of					Довжина китиці, см. / Raceme length, cm	Висота рослин, см. / Plant height, cm	M ₁₀₀₀ / W ₁₀₀₀	УНФ*, г/м ² / RSY*, g/m ²	УНБ**, г/м ² / BSY**, g/m ²	УНФ / УНБ, %
	продуктивних пагонів, шт./м ² / productive shoots/m ²	китиць на пагоні, шт. / racemes/shoot	бобів у китиці, шт. / pods/raceme	обертів бобу, шт / pod whorls	насінин у бобі, шт / seeds/pod						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
St (Синюха) / Syniukha (check cultivar)	39	14	14	2,5	3	2,5	106	2	28,1	45,9	61
Радослава / Radoslava	50	18	10	2	3	2	98	2	32,3	54	60
Росана / Rosana	64	24	9	1,5	2	2	102	1,9	38,7	52,5	74
КМФ місцева форма / КMF (local form)	46	12	13	1,5	4	2	94	1,8	40,6	51,7	78
Синя 2 / Synia 2	50	40	5	2	3	1,5	72	1,8	52,6	54	97
Елегія / Elehiia	71	32	8	1,5	2	2,2	98	1,8	72,9	65,4	111
Анатолійвна / Anatoliivna	54	26	7	1,5	3	2	86	2	49,6	59	84
Люба / Liuba	51	25	6	2	3	2,1	86	1,9	31,3	43,6	72
Черноголовая / Chernogolovaya	72	29	8	1,5	2	1,5	88	1,7	32,8	56,8	58
Желтогибридная 191 / Zhyoltogibridnaya 191	45	17	10	2	4	2,1	84	1,7	44,6	52	86
Якутская желтая / Yakutskaya Zhyoltaya	49	28	6	1,5	2	2,2	100	1,6	32,1	26,3	122
Сибирская 8 / Sibirskaya 8	77	25	4	1,5	3	1,5	81	1,9	51,1	43,9	116
Артемиды / Artemida	45	20	7	2	4	1,5	92	2	55,7	50,4	111
Саратовская 1 / Saratovskaya 1	52	25	10	2	2	1,5	88	1,8	55	46,8	118
Oranja /	57	12	15	1,5	3	2	101	1,6	31,3	49,2	64
Maguei /UAAN/№1463 / Maguei /UAAN/№1463	49	24	6	2	4	2	85	1,7	31,8	48	66
WL-515	48	26	5	1,5	3	2	89	1,8	37,9	33,7	112
Brend 919	72	28	8	1,5	2	1,5	102	1,7	60	54,8	109
Deseret	54	18	9	2	3	1,5	88	1,9	47,4	49,9	95

продовження таблиці 5											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Galaxie	59	27	6	2	3	1,3	102	2	69,2	57,3	121
Boreale	44	28	8	1,5	3	2,2	85	2	35	59,1	59
Cordoba	49	28	8	2	2	2,2	101	1,8	42,6	39,5	108
Краснододпадская №8 / Krasnovodopadskaya No 8	48	20	8	1,5	2	2	86	2	36,9	30,7	120
Ziguen	48	21	7	2	4	1,8	92	1,7	51,7	48	108
Плевен 6 / Pleven 6	52	24	6	2	3	1,8	86	1,9	47,3	42,7	111
Maris kabul	66	20	9	1,5	2	2	84	1,8	35,3	42,8	82
Будучиня / Buduchynia	44	21	8	1,5	4	2	77	1,8	31	53,2	58
Палава / Palava	41	28	6	1,5	2	2,2	89	2,1	33,1	28,9	114
Феракс 58 /	59	25	6	2	3	2,1	95	2	51,9	53,1	98
Місцева UJ0700632 / Mistseva UJ0700632	54	20	5	2	5	2	82	1,8	51,6	48,6	106
Grilys 1 (клон №3) / Grilys-1 (clone No 3)	61	32	8	1,5	2	2	87	1,8	63,6	56,2	113
Місцева UJ0700430 / Mistseva UJ0700430	49	23	6	2	3	2,5	96	2	41,1	40,6	101
Місцева UJ0700367 / Mistseva UJ0700367	43	31	6	2	2	1,2	93	2	33,4	32	104
HP _{0,05} / LSD _{0,05}	2,35	1,22	0,41	0,09	0,15	0,10	4,99	0,11	1,71	2,06	-
СМР / МРV***	46,9	22,2	7,8	1,7	2,9	1,9	88,9	1,9	29,4	40,9	67

Примітки: УНФ* - Урожайність насіння фактична, УНБ** - урожайність насіння біологічна, СМР*** - середній міжпопуляційний рівень.

Note: RSY* - Real Seed Yield, BSY** - Biological Seed Yield, MPV*** - Mean Population Value.

Однією ознакою, яка зазнала найбільших змін, була «кількість бобів у китиці». Вона зросла за СМР з 6,3 шт. у 2021 р. до 7,8 у 2022 р., зокрема збільшення виявлено у сортів Синюха (з 9 до 14), Желтогибридная 191 (5, 10) та інші. На нашу думку, це пов'язано з дещо кращими умовами запилення у 2022 р., коли в період цвітіння (травень-червень) випало менше опадів, що забезпечувало розмноження диких комах запилювачів та виконання їхніх функцій на рослинах. Решта ознак елементів структури насінневої продуктивності, що вивчалися, за роками відрізнялися неістотно: «кількість обертів бобу» 2021 р. – 1,8, 2022 р. – 1,7; «кількість насінин у бобі» – 2,9; «висота рослин» – 83,4 і 88,9 см; «маса 1000 насінин» – 2 і 1,9. Проте, якщо розглядати окремі сорти, то деколи зміни були достатньо великими. Наприклад, зразок Артеміда: «кількість насінин у бобі» 2 (2021 р.) і 4 (2022 р.) тощо.

Фактична урожайність насіння за СМР у 2022 р. (29,4 г/м²) виявилася вищою ніж у 2021 р. (24,35 г/м²), біологічна так само: 40,9 у 2022 р. і 34,1 г/м² у 2021 р. Достатньо високі рівні насінневої продуктивності виявлено у зразків: Елегія – 72,9 г/м², Galaxie – 69,2, Grilys 1 (клон №3) – 63,6, Brend 919 – 60,0, Артеміда – 55,7, Саратовская-1 – 55,0, Синя 2 – 52,6, Феракс 58 – 51,9, Ziugen – 51,7, Сибирская 8 – 51,1 тощо. Проте відношення фактичної урожайності до біологічної зменшилося з 73 % (2021 р.) до 67 % (2022 р.). Якщо розглядати зразки за роками, то теж можна спостерігати неоднорідні дані, частина зменшували свій рівень насінневої продуктивності на другий (більш оптимальний за умовами) рік використання: Синюха (39,9 г/м² і 28,1), КМФ місцева форма (53,6 і 40,6); у деяких виявлено відносно сталі значення: Радослава (30,9 і 32,3), Люба (34,7 і 31,1); у частини помічене зростання: Елегія (40,7 і 72,9), Brend 919 (35,4 і 60 г/м²).

За коефіцієнтами кореляції подібно до першого року використання не виявлено впливу на насінневу продуктивність ознак «довжина китиці» ($r_{УНФ} = 0,08$; $r_{УНБ} = 0,19$), «кількість обертів бобу» ($r_{УНФ} = 0,09$; $r_{УНБ} = 0,21$), «висота рослин» ($r_{УНФ} = 0,0,27$; $r_{УНБ} = 0,26$) та «маса 1000 насінин» ($r_{УНФ} = 0,06$; $r_{УНБ} = 0,10$) (табл. 6). Також спостерігався аналогічний зв'язок кількості продуктивних пагонів з фактичною та біологічною урожайністю ($r_{УНФ} = 0,50$; $r_{УНБ} = 0,44$) і кількістю бобів у китиці ($r_{УНФ} = 0,01$; $r_{УНБ} = 0,35$). Виявлено різке зменшення впливу кількості насінин у бобі ($r_{УНФ} = -0,04$; $r_{УНБ}$

The trait that underwent the most significant changes was the number of pods per raceme. Its MPV increased from 6.3 pods in 2021 to 7.8 pods in 2022; specifically it was noted for cvs. 'Syniukha' (from 9 to 14), 'Zhyoltogibridnaya 191' (5, 10), and others. In our opinion, this is related to somewhat better pollination conditions in 2022, when less precipitation fell during the flowering period (May-June), which facilitated the reproduction of wild insect pollinators and their functioning on the plants. The remaining studied seed productivity components did not differ significantly between years: the number of pod whorls was 1.8 in 2021 and 1.7 in 2022; the number of seeds per pod was 2.9; the plant height was 83.4 and 88.9 cm, respectively; the thousand seed weight was 2 and 1.9 g, respectively. However, when considering individual cultivars, the changes were sometimes quite large. For example, in 'Artemida', the number of seeds per pod was 2 in 2021 and 4 in 2022, etc.

MPV of the real seed yield was higher in 2022 (29.4 g/m²) than in 2021 (24.35 g/m²), and so was MPV of the biological yield: 40.9 g/m² in 2022 and 34.1 g/m² in 2021. Sufficiently high of seed productivity was seen in the following accessions: 'Elehiia' yielded 72.9 g/m², 'Galaxie' – 69.2, 'Grilys 1' (clone No. 3) – 63.6, 'Brend 919' – 60.0, 'Artemida' – 55.7, 'Saratovskaya 1' – 55.0, 'Synia 2' – 52.6, 'Feraks 58' – 51.9, 'Ziugen' – 51.7, 'Sibirskaya 8' – 51.1, etc. However, the real/biological yield ratio decreased from 73% (2021) to 67% (2022). When considering accessions by year, we also observed heterogeneous data: some accessions reduced their seed productivity in the second (with more optimal conditions) year of use: 'Syniukha' (39.9 and 28.1 g/m²), 'KMF' (local form) (53.6 and 40.6); some showed relatively stable values: 'Radoslava' (30.9 and 32.3 g/m²), 'Liuba' (34.7 and 31.1); and some showed an increase: 'Elehiia' (40.7 and 72.9 g/m²), 'Brend 919' (35.4 and 60).

As to correlation coefficients, like in the first year of use, the traits that did not contribute to seed productivity were raceme length ($r_{RSY} = 0.08$; $r_{BSY} = 0.19$), number of pod whorls ($r_{RSY} = 0.09$; $r_{BSY} = 0.21$), plant height ($r_{RSY} = 0.27$; $r_{BSY} = 0.26$), and thousand seed weight ($r_{RSY} = 0.06$; $r_{BSY} = 0.10$) (Table 6). There were similar relationships between the number of productive shoots and both real and biological yields ($r_{RSY} = 0.50$; $r_{BSY} = 0.44$) and between the number of pods per raceme and real and biological yields ($r_{RSY} = 0.01$; $r_{BSY} = 0.35$). A sharp decrease in the contribution of the number of seeds per pod

=0,34), що пов'язано насамперед з інтенсивними опадами в період проведення структурного аналізу та власне жнив (ГТК у серпні 2022 р. – 1,97 та вересні – 2,52), що створювало умови для проростання насіння в бобах. Натомість спостерігалось зростання коефіцієнта кореляції за ознакою «кількість китиць на пагоні» $r_{УНФ} = 0,33$; $r_{УНБ} = 0,32$, тоді як у 2021 р. він становив $r_{УНФ} = 0,03$; $r_{УНБ} = 0,18$.

was observed ($r_{RSY} = -0.04$; $r_{BSY} = 0.34$). This is primarily associated with intense precipitation during the structural analysis and harvest periods (HTC in August 2022 – 1.97 and September – 2.52), which created conditions for seeds to germinate within the pods. In contrast, there was an increase in the correlation coefficient for the "number of racemes per shoot" trait ($r_{RSY} = 0.33$; $r_{BSY} = 0.32$ vs. $r_{RSY} = 0.03$; $r_{BSY} = 0.18$ in 2021).

Таблиця 6. Коефіцієнти кореляції між елементами структури насінневої продуктивності у колекційних зразків люцерни посівної 2022 р.

Table 6. Correlation coefficients between seed productivity components in the purple alfalfa collection accessions, 2022.

Значення / Value	К-ть продуктивних пагонів, шт./м ² / Number of productive shoots/m ²	К-ть китиць на пагоні, шт / . Number of racemes per shoot	Довжина китиці, см. / Raceme length, cm	К-ть бобів у китиці, шт. / Number of pods per raceme	К-ть обергів бобу, шт / Number of pod whorls	К-ть насінин у бобі, шт / Number of seeds per pod	Висота рослин, см. / Plant height, cm	M1000 / W ₁₀₀₀
К-ть продуктивних пагонів, шт./м ² / Number of productive shoots/m ²	-							
К-ть китиць на пагоні, шт. / Number of racemes per shoot	0,12	-						
Довжина китиці, см. / Raceme length, cm	-0,06	-0,04	-					
К-ть бобів у китиці, шт. / Number of pods per raceme	-0,10	-0,26	0,19	-				
К-ть обергів бобу, шт / Number of pod whorls	-0,01	0	0,05	-0,01	-			
К-ть насінин у бобі, шт / Number of seeds per pod	-0,24	-0,26	0,15	-0,09	0,28	-		
Висота рослин, см. / Plant height, cm	0,26	0,09	0,23	0,26	-0,02	-0,16	-	
M ₁₀₀₀ / W ₁₀₀₀	-0,05	0,01	0,13	-0,06	0,07	0,02	0,02	-
УНФ / RSY	0,50*	0,33*	0,08	0,01	0,09	-0,04	0,27	0,06
УНБ / BSY	0,44*	0,32*	0,19	0,33*	0,21	0,34*	0,26	0,10

Примітка: * - вірогідно при $p \leq 0.05$.

Note: * - significant at $p \leq 0.05$.

Таким чином, завчасно проведений структурний аналіз дозволяє визначити потенційний рівень насінневої продуктивності та вплив окремих її елементів [19]. Його здійснення в період жнив відобразить не потенційну біологічну урожайність (оскільки вже деяка частина плодеlementів буде втрачена), а вже фактичну, і до того ж супроводжуватиметься додатковими втратами при обсіпанні, що й підтверджено нашими дослідженнями. На відміну від кормової, на формування насінневої продуктивності більш істотний вплив мають відсутність інтенсивних опадів у період цвітіння-початку зав'язування бобів та жнив (бажано ГТК $\leq 0,8$), наявність в достатній кількості комах запилювачів, а також можливо, оптимальна реакція ґрунтового розчину та забезпеченість рослин окремими елементами живлення (зокрема мікроелементами). Тому пошук шляхів максимальної реалізації насінневого потенціалу люцерни й надалі залишатиметься актуальним і потребує проведення додаткових досліджень, зокрема із пошуку оптимального вихідного матеріалу (зразків люцерни з достатньо високим рівнем запилення квіток та зав'язування насіння та навпаки низькими рівнями обсіпання та проростання насіння на рослинах та при механічному впливі). Це дозволить підвищити реалізацію біологічної продуктивності у фактичній з 65-75 % до 85-90 %.

Висновки

Виявлено істотний вплив гідротермічних ресурсів на рівень формування насінневої продуктивності на фоні підвищеної кислотності ґрунту (невеликі та середні посухи в період цвітіння та збирання врожаю підвищують його рівень, а опади – навпаки знижують). З метою скорочення часу на проведення структурного аналізу достатньо використовувати ознаки з найбільш істотно вираженим впливом: кількість продуктивних пагонів, кількість китиць на пагоні, кількість бобів у китиці та кількість насінин у бобі. Подальшого вивчення потребує питання мінімізації втрат насіння через генетичні, біологічні та механічні чинники.

Thus, a timely conducted structural analysis allows for the determination of potential seed productivity and contributions of its individual components [19]. In-harvest analysis will reflect not potential biological yield (since some fruits or seeds will have been already lost) but real yield, which will also be lower because of shattering-attributed additional losses, as we confirmed in this study. Unlike fodder productivity, seed productivity is more significantly influenced by the absence of intensive precipitation during anthesis, early pod setting, and harvest (preferably HTC ≤ 0.8), sufficient quantities of pollinating insects, and potentially optimal soil solution reaction and nutrient supply to plants (especially micronutrients). Therefore, finding ways to maximize alfalfa's seed potential will remain relevant and requires further research, particularly in identifying optimal initial materials (alfalfa accessions with sufficiently high levels of flower pollination and seed setting, and conversely, low levels of seed shattering and germination on plants and under mechanical impact). This will allow for increased conversion of biological productivity into real actual yield – from 65-75% to 85-90%.

Conclusions

Significant effects of hydrothermal factors on the seed productivity on increased soil acidity have been noted (minor and moderate droughts during anthesis and harvest increase it, while precipitation, conversely, decreases). To reduce the time required for structural analysis, it is advisable to use traits that make the greatest contributions to seed productivity: number of productive shoots, number of racemes per shoot, number of pods per raceme, and number of seeds per pod. Further studies are needed on minimizing seed losses caused by genetic, biological, and mechanical factors.

References

1. Arshad M., Feyissa B. A., Amyot L., Aung B., and Hannoufa A. MicroRNA156 improves drought stress tolerance in alfalfa (*Medicago sativa*) by silencing SPL13. *Plant Sci.* 2017. Vol. 258. P. 122–136. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2017.01.018>
2. Chen L., Beiyuan J., Hu W., Zhang Z., Duan C., Cui Q., Zhu X., He H., Huang X., Fang L. Phytoremediation of potentially toxic elements (PTEs) contaminated soils using alfalfa (*Medicago sativa* L.): A comprehensive review. *Chemosphere.* 2022. Vol. 293. 133577. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.133577>
3. Shi S., Nan L., Smith K. F. The Current Status, Problems, and Prospects of Alfalfa (*Medicago sativa* L.) Breeding in China. *Agronomy.* 2017. Vol. 7(1). 1. <https://doi.org/10.3390/agronomy7010001>
4. Wang S., Ren X., Huang B. et al. Aluminium-induced reduction of plant growth in alfalfa (*Medicago sativa*) is mediated by interrupting auxin transport and accumulation in roots. *Sci. Rep.* 2016. Vol. 6. 30079. <https://doi.org/10.1038/srep30079>
5. Lakić Ž., Popović V., Čosić M., Antić M. Genotypes variation of *Medicago sativa* (L.) seed yield components in acid soil under conditions of cross-fertilization. *Genetika-Belgrade.* 2022. Vol. 54(1). P. 1-14. <https://doi.org/10.2298/GENSR2201001L>
6. Mendoza-Soto A.B., Naya L., Leija A., Hernandez G. Responses of symbiotic nitrogen-fixing common bean to aluminum toxicity and delineation of nodule responsive microRNAs. *Front. Plant Sci.* 2015. Vol. 6. 587. <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00587>
7. Tian Z., Yang Z., Lu Z., Luo B., Hao Y., Wang X., Yang F., Wang S., Chen C., Dong R. Effect of genotype and environment on agronomical characters of alfalfa (*Medicago sativa* L.) in a typical acidic soil environment in southwest China. *Front. Sustain. Food Syst.* 2023. Vol. 7. 1144061. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2023.1144061>
8. Romanova S. A., Palamarchuk R. P., Hryshchenko O. M. et al. Scientific monitoring and survey of agricultural lands of Ukraine based on the results of the 11th round (2016-2020). 2023. 74 p. [in Ukrainian]
9. Berenji S., DJ. Moot, JL. Moir, H. Ridgway, Rafat A. Dry matter yield, root traits, and nodule occupancy of lucerne and Caucasian clover when grown in acidic soil with high aluminium concentrations. *Plant and Soil.* 2017. Vol. 416(1–2). P. 227–241. <https://doi.org/10.1007/s11104-017-3203-3>
10. Haifan Shi, Guoli Sun, Lanming Gou, Zhenfei Guo Rhizobia–Legume Symbiosis Increases Aluminum Resistance in Alfalfa. *Plants.* 2022. 11(10). P1275; <https://doi.org/10.3390/plants11101275>
11. Liatukienė A., Skudienė R. The response of alfalfa genotypes to different concentrations of mobile aluminum. *The Journal of Agricultural Science.* 2021. Vol. 159(5-6). P. 363–372. <https://doi.org/10.1017/S0021859621000666>
12. Buhaiov V., Horenskiy V., Liatukiene A. The response of *Medicago sativa* to aluminium toxicity under laboratory and field conditions. *Zemdirbyste=Agriculture.* 2018. Vol. 105(2). <https://www.researchgate.net/publication/325126030>
13. Wang X, Zhong P, Yang Z, Lai Y, Li S, Chai H, Xu Y, Wu Y, Wang J. Effects of plant density on alfalfa (*Medicago sativa* L.) seed yield in western Heilongjiang areas. *Open Life Sci.* 2023 Dec 16;18(1):20220792. <https://doi.org/10.1515/biol-2022-0792>
14. Dieterich Mabin M. E., Brunet J., Riday H., Lehmann L. Self-Fertilization, Inbreeding, and Yield in Alfalfa Seed Production. *Front. Plant Sci.* 2021. Vol. 12. 700708. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.700708>
15. Al-Kahtani SN, Taha EA, Al-Abdulsalam M. Alfalfa (*Medicago sativa* L.) seed yield in relation to phosphorus fertilization and honeybee pollination. *Saudi J. Biol. Sci.* 2017. 24(5). P. 1051-1055. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2016.12.009>
16. Bolaños-Aguilara E. D. Huyghe C., Ecallea C. Effect of Cultivar and Environment on Seed Yield in Alfalfa. *Crop Science.* 2002. Vol. 42(1). P. 45–50. <https://doi.org/10.2135/cropsci2002.4500>
17. Andriushchenko A.V., Kryvytskyi K.M., Veselovska O.B. Methods of expert examination of purple alfalfa and variegated alfalfa cultivars (*Medicago sativa* L. M., M. x varia Martyn) for distinctness, uniformity, and stability/ Adapted by: Andriushchenko A.V., Kryvytskyi K.M., Veselovska, O.B. 2010. 18 p. [in Ukrainian]
18. Tkachyk S. O. Methodology for conducting expert examination of varieties of technical and fodder crops for suitability for dissemination in Ukraine (suitability of varieties for dissemination (SVD)) (3rd revised and supplemented edition). 2015. 73 p. [in Ukrainian] <https://sops.gov.ua/uploads/page/5b7e6970317ba.pdf>
19. Bodzon Z. Correlations and heritability of the characters determining the seed yield of the long-raceme alfalfa (*Medicago sativa* L.). *J. Appl. Genet.* 2004. Vol. 45(1). P. 49-59. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/14960767/>

Надійшла до редакції 16.04.2025 р.
Received 16.04.2025

УДК 633.11: 581.19

О.Ю. Леонов, З.В. Усова*, К.Ю. Суворова, М.І. Байбак, О.М. Росанкевич,
Н.О. Усова

Особливості формування показників якості зерна селекційними лініями пшениці м'якої озимої

Інститут рослинництва ім. В.Я. Юр'єва НААН України, Харків, Україна

*E-mail: ppiww2017@gmail.com

UDC 633.11: 581.19

O.Yu. Leonov, Z.V. Usova*, K.Yu. Suvorova, M.I. Baibak, O.M. Rosankevych,
N.O. Usova

Grain Quality Indicators in Winter Bread Wheat Breeding Lines

Yuriev Plant Production Institute of NAAS of Ukraine, Kharkiv, Ukraine

*E-mail: ppiww2017@gmail.com

Реферат: Якість зерна – це складна характеристика, яка залежить від низки ознак, а індивідуальний внесок кожної ознаки змінюється залежно від конкретної реакції на умови навколишнього середовища. Оцінювали вплив генотипу та середовища на якісні характеристики 1200 генотипів пшениці, а також аналізували взаємозв'язки між якісними ознаками. У результаті узагальнення багаторічних даних з використанням стандартизованих в межах окремих років значень виділені джерела високої натури зерна, високої та низької склоподібності зерна для селекції твердозерних та м'якозерних сортів, високого вмісту білка і клейковини та її якості, високих реологічних властивостей і хлібопекарських якостей. Серед сортів високими пружністю тіста, силою борошна та індексом еластичності тіста відрізнялися Харус, Астет, Василина, Фермерка, Патріотка, Мальованка, а низькими – Малуша та м'якозерний сорт кондитерського напряму використання Мазурок, який крім того відрізнявся низькою склоподібністю зерна. Високою натурою зерна відзначались сорти Приваблива, Привітна, Принада, Гайок, Проня. Високим вмістом білка в зерні та клейковини в борошні характеризувалися Приваблива, Привітна, Гармоніка, Мазурок, при максимальних значеннях у сорту Принада. Об'єм хліба і загальна хлібопекарська оцінка вищими були у сортів Харус, Астет, Василина, Статна, Фермерка, Диво, Гармоніка, Принада, Мавка ІР. Встановлені зв'язки між ознаками якості зерна, показано, що загальна хлібопекарська оцінка була тісно пов'язана з індексом деформації клейковини, пружністю тіста, силою борошна та індексом еластичності тіста. Кластерний та факторний аналізи, проведені для узагальнення отриманих результатів, розподілили досліджувані ознаки на чотири кластери з масштабом евклідових відстаней менше 40% та чотири фактори, які пояснюють понад 70% від загальної мінливості, один з яких пов'язаний з хлібопекарськими якостями, інший – з реологічними властивостями, ще два з вмістом білка і клейковини та натурою і склоподібністю зерна. Визначені лінії з поєднанням високих значень різних факторів для різних напрямів використання. Результати дослідження можуть бути використані як критерії відбору для підвищення якості зерна м'якої пшениці в регіоні.

Ключові слова: пшениця м'яка озима, селекція, якість зерна, кластерний та факторний аналізи

Abstract: Grain quality is a complex characteristic that depends on several traits, and the individual contribution of each trait varies depending on the specific response to environmental conditions. The effects of genotype and environment on quality characteristics of 1,200 wheat genotypes were assessed; the relationships between quality traits were also analyzed. Having summarized long-term data using year-standardized values, we identified sources of high test weight, high and low kernel vitreousness for the breeding of hard and soft cultivars; sources of high protein and gluten contents and high gluten quality,

high rheological properties and baking scores. Among the cultivars, cvs. 'Kharus', 'Astet', 'Vasylyna', 'Fermerka', 'Patriotka', and 'Maliovanka' were distinguished by high dough resilience, flour strength and dough elasticity index, while cvs. 'Malusha' and a soft confectionery cultivar, 'Mazurok', were distinguished by low values of these characteristics; the latter was also characterized by low kernel vitreousness. Cultivars 'Pryvablyva', 'Pryvitna', 'Prynada', 'Haiok', and 'Pronia' were distinguished by high test weight. High grain protein content and flour gluten content were intrinsic to cvs. 'Pryvablyva', 'Pryvitna', 'Harmonika', and 'Mazurok', with the maximum values in cv. 'Prynada'. High loaf volume and overall baking score were recorded for cvs. 'Kharus', 'Astet', 'Vasylyna', 'Statna', 'Fermerka', 'Dyvo', 'Harmonika', 'Prynada', and 'Mavka IR'. Relationships between grain quality traits were evaluated; it was shown that overall baking score was closely correlated with gluten deformation index, dough resilience, flour strength and dough elasticity index. Cluster and principal component analyses, which were conducted to summarize the data, divided the studied traits into four clusters with a Euclidean distance of < 40% and four principal components that accounted for > 70% of the total variability; one of them is associated with baking qualities, another – with rheological properties, and two more – with protein and gluten contents, test weight and kernel vitreousness. Lines combining high values of different characteristics for different areas of use were selected. The results of this study can be used as breeding criteria to improve the quality of bread wheat grain in the region.

Key words: winter bread wheat, breeding, grain quality, cluster and principal component analyses.

Вступ

Пшениця (*Triticum aestivum* L.) є однією з найважливіших сільськогосподарських культур у світі, і, як злак з широким діапазоном адаптивності, вона вирощується в різних кліматичних зонах, а якість її зерна суттєво впливає на ринкову вартість, харчову цінність та уподобання споживачів [1].

Пшениця, завдяки своєму цінному хімічному складу зерна та винятковим технологічним властивостям, є базовим зерном для харчової промисловості, її у багатьох країнах називають хлібним зерном [2, 3]. Зерно пшениці є джерелом вуглеводів, білка, харчових волокон та жирів, а також мінералів (включаючи P, K, Ca та Mg), вітамінів групи B та інших біологічно активних речовин [4].

Зміни клімату та природні варіювання погодних умов окремих років спричиняють недобір урожаю та зниження його якості, тому пріоритетним завданням у вирощуванні пшениці є забезпечення стабільного урожаю зерна з високою якістю [5]. Біотичні та абіотичні стресори є відомими факторами, що призводять до погіршення якості зерна пшениці та зниження врожайності [6].

Продуктивність і якість пшениці значно відрізняються внаслідок генотипу, середовища та їх взаємодії [7]. У той час як виробники пшениці вважають головною метою врожайність, в хлібопекарській промисловості важливою вимогою є стабільність характеристик якості зерна.

Якість зерна пшениці визначається на основі численних властивостей, які

Introduction

Wheat (*Triticum aestivum* L.) is one of the most important agricultural crops in the world; being a cereal with a wide range of adaptability, it is grown in different climatic zones and wheat grain quality significantly affects the market and nutritional values as well as consumers' preferences [1].

Wheat, due to valuable chemical composition of its grain and exceptional technological properties, is a basic grain for the food industry; it is called bread grain in many countries [2, 3]. Wheat grain is a source of carbohydrates, protein, dietary fiber, fats, and minerals (including P, K, Ca, and Mg), B vitamins and other biologically active substances [4].

Climate change and year-to-year natural variations in weather conditions cause crop failure and reduced quality, so the priority in wheat cultivation is to ensure a stable yield of high-quality grain [5]. Biotic and abiotic stressors are known factors that lead to deterioration of wheat grain quality and reduced yield [6].

Wheat performance and quality vary significantly between different genotypes and environments and also because of genotype-environment interactions [7]. While wheat producers consider yield as the main goal, in the baking industry, stability of grain quality indicators is an important requirement.

Wheat grain quality is based on numerous properties that are in complex relationships and are determined by protein complex, milling

перебувають між собою в складних взаємозв'язках і зумовлені білковим комплексом, властивостями помелу, фізичними, хімічними, реологічними характеристиками тіста та якістю випічки. Оскільки більшість ознак якості пшениці демонструють складні закономірності успадкування, селекція на якість, і особливо хлібопекарську, є одним із найскладніших завдань у селекції пшениці [8].

Хлібопекарська якість пшениці озимої здебільшого визначається вмістом та якістю білка. Основний білок ендосперму, глютен, відповідає за якість хліба. Генетично визначений склад глютену є основним фактором генотипових відмінностей у хлібопекарській якості [9]. Seling S. зазначає, що якість білка є генотипово-специфічною, але на неї можуть впливати деякі негенетичні фактори, наприклад, надзвичайна нестача сірки [10]. Tannhaeuser S.M. et al. роблять висновок, що всі компоненти пшеничного борошна, а не лише білки, впливають на хлібопекарську якість [11]. Водночас дуже важливий внесок у хлібопекарську якість має глютен.

На жаль, добре відомий сильний негативний зв'язок між врожайністю зерна та вмістом білка. Багато досліджень зосереджувалися на цьому негативному зв'язку та досліджували його генетичну основу [12–17]. Цей зв'язок є важливим для селекційного прогресу в підвищенні врожайності зерна, з одного боку, та хлібопекарської якості, з іншого.

Наведені в літературі результати, загалом свідчать про значне збільшення врожайності зерна, але сталять під сумнів питання, чи було досягнуто значного прогресу в якості хлібопекарських виробів протягом останніх трьох-чотирьох десятиліть [18, 19].

Врожайність зерна та якість пшениці залежать від складної взаємодії між генотипом та багатьма факторами навколишнього середовища. Зміна навколишнього середовища часто розглядається як основний чинник, що впливає на якість кінцевого використання зерна. Температура вегетаційного періоду, вологість і температура під час наливу зерна, тривалість наливу зерна, розподіл опадів і внесення азотних і сірчанних добрив мають значний вплив на якість хлібобулочних виробів. Результати численних досліджень впливу генотипу та навколишнього середовища на хлібопекарські якості пшениці озимої широко опубліковані в літературі [20–24]. Williams R.M. et al. провели огляд 100 публікацій щодо впливу генотипу та середовища на якість пшениці. Показано, що

characteristics, physical, chemical and rheological properties of dough, and baking quality. Since most of the wheat quality traits demonstrate complex inheritance patterns, breeding for quality, especially baking quality, is one of the most difficult tasks in wheat breeding [8].

Baking quality of winter wheat is largely determined by protein content and quality. The main endosperm protein complex, gluten, is responsible for bread quality. Genetically determined composition of gluten is the main factor for genotypic differences in baking quality [9]. Seling S. noted that protein quality was genotype-specific, but it could be influenced by some non-genetic factors, for example, an extreme deficiency of sulfur [10]. Tannhaeuser S.M. et al. concluded that all components of wheat flour, not just proteins, affected baking quality [11]. At the same time, gluten makes a very important contribution to baking quality.

Unfortunately, it is well-known that grain yield is strongly and negatively correlated with protein content. Many studies have focused on this negative relationship and investigated its genetic basis [12–17]. This relationship is important for breeding progress in increasing grain yield, on the one hand, and baking quality, on the other.

Published results, in general, indicate a significant increase in grain yield, but they question whether significant progress has been achieved in the quality of bakery products over the past three to four decades [18, 19].

Wheat grain yield and quality depend on complex interactions between genotype and many environmental factors. Environmental changes are often considered as the major factor affecting the end-use quality of grain. Temperature during the growing period, humidity and temperature during grain filling, duration of grain filling, rainfall distribution and application of nitrogen and sulfur fertilizers significantly affect the quality of bakery products. Results of numerous studies of effects of genotype and environment on baking qualities of winter wheat are widely published [20–24]. Williams R.M. et al. reviewed 100 publications on the influence of genotype and environment on wheat quality. It was shown that variations in the relative contributions of genotype, environment and genotype-environment interaction to a large extent depended on genotypes and environments from

варіація відносного внеску генотипу, середовища та взаємодії генотипу з середовищем сильно залежить від генотипів та середовищ, з яких проводилася вибірка [25]. У дослідженнях Mikulíková було виявлено, що генотип має істотний вплив лише на твердість зерна; для вмісту білка, клейковини та числа седиментації Зелені переважав вплив генотипу, а для вмісту крохмалю, параметрів альвеографа та натури зерна обидва джерела варіації мали однакове значення [26]. Розуміння внеску генотипу, середовища та взаємодії генотипу з середовищем на якість зерна пшениці полегшує відбір за якістю в селекційних програмах.

У багатьох дослідженнях встановлено зв'язок між різними параметрами якості зерна [27–30]. Mladenov et al. виявили високі позитивні кореляції між вмістом білка і вмістом клейковини з одного боку та об'ємом хліба і його характеристиками з іншого. Випробовуючи велику групу генотипів пшениці в різних умовах посухи [29], Mohammadi et al. дійшли висновку, що, крім сорту та середовища, метод скринінгу також сприяє надійності та обґрунтованості висновків щодо зв'язків ознак [30].

Метою даної роботи стало визначення внеску генотипу, навколишнього середовища у варіації хлібопекарських ознак 1200 генотипів пшениці, досліджених протягом 16 років; також для виявлення кращих генотипів пшениці проаналізовано взаємозв'язки між різними ознаками хлібопекарської якості.

Методика

Полеві дослідження проведені у 2008–2024 рр. на дослідних полях селекційної сівозміни Інституту рослинництва ім. В.Я. Юр'єва НААН (ІР НААН), розташованої за 18 км на схід від м. Харкова. Технологія вирощування загальноприйнята для зони Лісостепу. Площа ділянки 10 м², повторність чотириразова. За роки досліджень вивчено понад 1200 сортів та селекційних ліній пшениці м'якої озимої селекції ІР НААН.

Оцінка показників якості зерна та борошна досліджуваних зразків виконувалась в лабораторії якості зерна ІР НААН згідно з методикою УІЕСР та методичними рекомендаціями, розробленими в Інституті [31, 32]. Вивчали показники якості: фізичні – натура (TW) і склоподібність (KV) зерна; біохімічні – вміст білка в зерні (GPC); технологічні: вміст клейковини в борошні (FGC) та індекс

which the sample was taken [25]. Mikulíková found that genotype had a significant effect only on kernel hardness, while the effect of growing year was dominant for protein and gluten contents and Zeleny sedimentation index, and all sources of variations (genotype, year's conditions, country of origin) had the same significance for starch content, alveograph parameters and test weight [26]. Understanding contributions of genotype, environment, and genotype-environment interactions to wheat grain quality facilitates selection for quality in breeding programs.

Many studies have demonstrated relationship between different grain quality parameters [27–30]. Mladenov et al. found strong positive correlations between protein and gluten content on the one hand and between loaf volume and loaf characteristics on the other. Testing a large group of wheat genotypes under various drought conditions [29], Mohammadi et al. concluded that, in addition to cultivar and environment, the screening method also contributed to the reliability and validity of conclusions about relationship between traits [30].

The purpose of this study was to determine the contributions of genotype and environment to the variations of baking traits of 1,200 wheat genotypes studied over 16 years; to identify the best wheat genotypes, and to analyze the relationships between different baking quality traits.

Methods

The field studies were conducted in the experimental fields of the breeding crop rotation of the Yuryev Plant Production Institute of NAAS (YPPI NAAS), which are located 18 km east of Kharkiv, in 2008–2024. The cultivation technology is traditional for the forest-steppe. The plot area was 10 m²; the experiments were carried out in four replications. In the study years, over 1,200 winter bread wheat cultivars and breeding lines, which had been bred by the YPPI NAAS, were investigated.

The grain and flour quality indicators of the studied accessions was determined in the Grain Quality Laboratory of the YPPI NAAS in accordance with the guidelines developed by the Ukrainian Institute of Plant Variety Examination (UIPVE) and YPPI NAAS [31, 32]. The following quality indicators were evaluated: physical – test weight (TW) and kernel

деформації клейковини (GDI), пружність (P), розтяжність (L), збалансованість (P/L) тіста, сила борошна (W), індекс еластичності тіста (IE), об'єм седиментації SDS (SDS-SI). Також проводили хлібопекарську оцінку (об'єм хлібини (LV), оцінку поверхні хлібини (LUS), форми хлібини (LS), зовнішнього вигляду хлібини (LAS), кольору скоринки хлібини (LCC), пористості м'якуша хлібини (CP), еластичності м'якуша хлібини (CE) та кольору м'якуша хлібини (CC). У підсумку здійснювали загальну хлібопекарську оцінку(OBS).

Статистичну обробку експериментальних даних виконували, як описано в [33] з використанням пакета програм STATISTICA 6.1, SN BXXR502C631824NET3. Враховуючи досить значні варіювання показників якості зерна за роками та різний ступінь варіювання досліджуваних ознак, а також той факт, що селекційні лінії конкурсного випробування вивчалися у різні періоди, для узагальнення отриманих багаторічних даних використовували стандартизовані в межах окремих років значення (різниця між значенням конкретного показника конкретної лінії та середнім значенням відповідного показника у відповідний рік поділена на стандартне відхилення відповідного показника у відповідний рік). Для редукції даних та узагальнення отриманих результатів було проведено кластерний та факторний аналізи.

Погодні умови в роки досліджень зразків конкурсного сортовипробування склалися по різному, як сприятливо для розвитку рослин у різні фази вегетації, так і вкрай негативно. Найбільш сприятливими погодні умови для формування урожайності зерна пшениці м'якої озимої були у 2008, 2015, 2017 та 2022 рр. Посушливі умови перед та після сівби озимих культур у 2009, 2015, 2020 рр. спричиняли зниження польової схожості, запізні та нерівномірні сходи та зниження продуктивного стеблостою і урожайності у наступних 2010, 2016, 2021 рр. Зменшення урожайності 2023 року пов'язане з пізніми строками сівби у 2022 році через несвоєчасну підготовку ґрунту, зумовлену бойовими діями та тривалими роботами з обстеження полів на наявність вибухонебезпечних предметів. Зниження урожайності у 2024 році викликано відсутністю продуктивних опадів з березня до кінця червня, через що не відбулося весняного кущення, зменшились озерненість колоса та маса тисячі зерен.

vitreousness (KV); biochemical – grain protein content (GPC); technological – flour gluten content (FGC) and gluten deformation index (GDI), dough resilience (P), extensibility (L), and balance (P/L), flour strength (W), dough elasticity index (IE), and SDS-sedimentation index (SDS-SI). The baking quality was also assessed: loaf volume (LV), loaf surface score (LSS), loaf shape (LS), loaf appearance score (LAS), loaf crust color (LCC), crumb porosity (CP), crumb elasticity (CE), and crumb color (CC). From these parameters, the overall general baking score (OBS) was calculated.

Experimental data were statistically processed in STATISTICA 6.1 and SN BXXR502C631824NET3, as described in [33]. Taking into account considerable year-to-year variations in grain quality indicators and various degrees of variations in the studied traits, as well as the fact that the breeding lines were tested in competitive trials in different periods, year-standardized values (the difference between the value of a specific indicator of a specific line and the mean value of the corresponding indicator in the corresponding year divided by the standard deviation of the corresponding indicator in the corresponding year) were used to summarize the multi-year data. Cluster analysis and principal component analysis (PCA) were conducted to reduce and summarize data.

The weather in the years of testing of the accessions in competitive trials varied from favorable for the development of plants in different phases of vegetation and to extremely harsh. 2008, 2015, 2017, and 2022 had the most favorable weather for the formation of winter bread wheat grain yield. In 2009, 2015, and 2020, droughts before and after winter crop sowing decreased the field germination; so in the following 2010, 2016, and 2021, sprouts were late and uneven, the productive plant stand was poorer, and the yields were lower. Decreased yields in 2023 were attributed to untimely soil preparation and, consequently, late sowing in 2022 because of hostilities and extended surveys of the fields for explosives. Decreased yields in 2024 were associated with the lack of productive precipitation from March to the end of June, which resulted in no spring tillering; hence, there were fewer kernels per spike and the thousand kernel weight was reduced.

Результати та обговорення

Одними з найдавніших показників якості зерна, які досі використовуються для визначення класності партій зерна, є натура та склоподібність. Середня за дослідженими сортами та лініями натура зерна перевищувала 800 г/л у 2012, 2013, 2014 та 2017 рр., тоді як у несприятливих для наливу зерна умовах 2010, 2018, 2023, 2024 рр. даний показник не перевищував 770 г/л. Серед вивчених ознак цей показник виявився найбільш стабільним, коефіцієнт варіації за лініями складав від 0,9 до 3,6% у межах окремих років, а за роками - 2,6 %. Серед інших показників якості натура зерна у більшості років була слабо пов'язана зі склоподібністю зерна (коефіцієнт кореляції складав 0,2-0,5, а у 2015 році досяг рівня 0,75, винятком став надзвичайно посушливий 2024 рік, коли зв'язок став негативним з $r=-0,26$). У п'яти з років вивчення відзначена слабка позитивна кореляція з пружністю тіста (r від 0,2 до 0,5), а у 2010 році кореляція була негативною ($r=-0,5$). У 2016 та 2018 рр. спостерігалася суттєва позитивна кореляція з числом падання. З рештою показників якості зв'язок натури зерна був незначним та нестабільним за роками.

На склоподібність зерна значною мірою впливають погодні умови року в період дозрівання. У наших дослідженнях склоподібність зерна виявилася однією з найбільш варіабельних ознак як за роками, де коефіцієнт варіації склав 25,9%, так і за лініями в межах окремих років (від 11,7 до 43,9%). Середня за зразками склоподібність 67% і більше виявлялася у 2012, 2019 та 2021 рр., меншою ніж 40% була у 2010, 2015, 2018 та 2020 рр. Склоподібність зерна не була суттєво пов'язана з іншими показниками якості, коефіцієнт кореляції не перевищував значення 0,37. У більшості років спостерігалася слабка кореляція показника з вмістом білка та клейковини, з іншими ознаками якості зерна зв'язок відзначався лише у окремі роки і був слабким.

У роки з середньою урожайністю ліній конкурсного сорто випробування понад 8 т/га (2008, 2015, 2017 та 2022) спостерігалось зменшення вмісту білка в зерні до 11,0–11,5% (табл. 1).

Results and Discussion

Test weight and kernel vitreousness are among the oldest indicators of grain quality, but they are still used to determine the grain class. The mean test weight in the studied cultivars and lines exceeded 800 g/L in 2012, 2013, 2014, and 2017, while under unfavorable conditions for grain filling in 2010, 2018, 2023, and 2024, this indicator did not exceed 770 g/L. Of the studied parameters, this indicator turned out to be the most stable: the coefficient of inter-line variation was 0.9 - 3.6% in individual years, with the annual mean of 2.6%. In most of the years, test weight was weakly correlated with kernel vitreousness (the correlation coefficient was 0.2-0.5; 0.75 in 2015); the exception was 2024, an extremely dry year, when the correlation became negative ($r=-0.26$). In five of the study years, there was a weak positive correlation between test weight and dough resilience ($r = 0.2-0.5$); in 2010, this correlation was negative ($r=-0.5$). In 2016 and 2018, there was a significant positive correlation between test weight and falling number. As to the other quality indicators, their correlations with test weight were insignificant and unstable across the years.

Kernel vitreousness is significantly influenced by weather factors during the ripening period. In our studies, kernel vitreousness turned out to be one of the most variable traits both by year, where the coefficient of variation was 25.9%, and by lines in individual years (from 11.7 to 43.9%). The mean vitreousness of 67% or higher in 2012, 2019 and 2021 and lower than 40% in 2010, 2015, 2018, and 2020. Kernel vitreousness was not significantly correlated with the other quality indicators: the correlation coefficients did not exceed 0.37. In most years, there was a weak correlation between this parameter and protein and gluten contents; the correlations with the other grain quality traits were weak and noted only in some years.

In 2008, 2015, 2017, and 2022, the lines yielded on average over 8 t/ha in the competitive trials and a decrease in grain protein content to 11.0–11.5% was observed in these years (Table 1).

Таблиця 1. Показники якості зерна зразків пшениці м'якої озимої у розсадниках конкурсного сортовипробування (середнє за роками вивчення), 2008–2024 рр.
Table 1. Grain quality indicators of the winter bread wheat accessions grown in competitive trial nurseries (annual mean values), 2008–2024.

Рік / Year	Урожайність, т/га / Yield, t/ha	Нагура зерна, г/л / Test weight, g/L	Склоподібність зерна, % / Kernel vitreousness, %	Вміст білка в зерні, % / Grain protein content, %	Вміст клейковини в борошні, % / Flour gluten content, %	деформація клейковини / Gluten deformation	Пружність тіста, мм / Dough resilience, mm	Розтяжність тіста, мм / Dough extensibility, mm	Збалансованість тіста / Dough balance	Сила борошна, о. а. / Flour strength	Індекс еластичності тіста / Dough elasticity index	Об'єм хліба зі 100 г борошна, мл / Volume of loaf from 100 g of flour, cm ³	Загальна хлібопекарська оцінка, бал / Overall baking score, points
2008	8,93	795	45,0	10,99	23,5	75,3	63,1	93,3	0,73	185	-	484	5,21
2009	6,49	785	51,4	13,77	30,9	87,2	68,0	115,3	0,63	259	-	554	6,60
2010	4,65	764	37,6	14,89	28,8	40,5	73,6	121,5	0,66	329	76,8	743	8,91
2011	7,04	781	46,7	12,78	23,2	39,8	84,5	83,6	1,10	286	66,3	704	8,69
2012	5,88	820	67,5	13,38	26,7	51,5	92,0	86,7	1,12	322	66,5	751	8,87
2013	7,46	810	51,5	12,68	23,2	45,0	99,0	68,8	1,56	280	59,7	687	8,64
2014	6,48	802	40,8	12,54	23,9	43,6	90,5	101,3	0,95	317	57,3	684	8,46
2015	8,04	775	33,8	11,25	21,9	46,9	89,0	67,6	1,52	243	60,0	740	8,74
2016	5,76	775	46,7	12,95	27,0	88,4	66,9	69,1	1,04	174	47,3	597	6,91
2017	8,29	838	58,6	11,49	21,7	47,8	106,6	50,2	2,22	241	56,2	694	8,75
2018	6,88	770	33,1	13,05	23,5	39,9	77,1	79,6	1,09	249	64,8	785	8,89
2019	7,63	792	67,0	13,27	25,3	46,4	85,7	76,9	1,27	279	69,7	733	8,87
2020	7,20	795	38,4	13,84	27,2	80,1	80,2	83,1	1,05	267	62,6	713	8,73
2021	3,08	790	78,6	14,09	33,1	93,8	50,2	93,9	0,60	158	47,4	562	6,87
2022	8,29	771	40,3	11,33	20,4	32,3	87,6	66,6	1,44	253	64,2	587	7,33
2023	4,55	765	59,2	12,00	22,5	35,0	65,3	80,9	0,87	232	77,4	747	8,48
2024	1,98	770	59,6	12,27	22,7	57,6	61,1	65,1	0,98	166	50,8	602	7,34
Середнє / General mean		790	48,7	12,64	24,8	56,8	80,4	81,1	1,15	247	60,4	661	7,92
за роками / Annual mean	6,39	788	50,3	12,74	25,0	55,9	78,9	82,6	1,11	249	61,8	669	8,02
CV	29,77	2,60	25,92	8,60	13,83	36,61	19,02	22,35	37,06	21,35	14,89	12,97	13,66

У 2010 та 2021 рр., при суттєвому зменшенні густоти продуктивного стеблостою, але сприятливих умовах для формування та наливу зернівки, середній вміст білка в зерні перевищував 14%, у 2009 та 2020 роках цей показник також був доволі високим і склав 13,8%, вміст клейковини у борошні у вказані роки перевищував 27%. Якщо розглядати середні значення вмісту білка та клейковини за роками, то спостерігалась зворотна кореляція цих показників з урожайністю ($r=-0,46$ та $-0,44$, відповідно). У більшості років вивчення спостерігалася висока кореляція між вмістом білка в зерні та клейковини в борошні (r від 0,6 до 0,8), обидва показники позитивно корелювали у більшості випадків з індексом деформації клейковини та розтяжністю тіста (r від 0,2 до 0,7), в окремі роки спостерігався зворотний зв'язок з пружністю та збалансованістю тіста.

Одним з найважливіших факторів, що впливають на реологію тіста, є вміст клейковини та її якість. Показник індексу деформації клейковини варіював значно більшою мірою порівняно з вмістом білка та клейковини як за сортами та лініями в межах окремих років (Cv від 20,6 до 44,6%), так і за роками ($Cv=36,6\%$). У більшості років середнє значення відповідало вимогам до першої групи якості клейковини, але у 2011, 2018, 2022 та 2023 рр. клейковина була надто міцною ($ІДК<40$), а у 2009, 2016, 2020 та 2021 – надмірно розтяжною ($ІДК>80$). У більшості років спостерігалася суттєва зворотна кореляція між значеннями показника $ІДК$ та пружності тіста (r від $-0,3$ до $-0,7$), сили борошна (r від $-0,3$ до $-0,8$), індексу еластичності тіста (r від $-0,2$ до $-0,7$), об'ємом хліба (r від $-0,2$ до $-0,7$), загальною хлібопекарською оцінкою (r від $-0,3$ до $-0,8$) та позитивна з розтяжністю тіста (r від 0,3 до 0,6).

Рівень прояву реологічних властивостей тіста варіював за роками та у межах окремих років середньою мірою. Середня за зразками пружність тіста у 2012, 2013, 2014 та 2017 рр. перевищувала 90 мм, тоді як у 2008, 2009, 2016, 2021, 2023 та 2024 рр. була меншою від 70 мм. Розтяжність тіста більшою за 90 мм була у 2008, 2009, 2010, 2014 та 2021 рр., а меншою за 70 мм у 2013, 2015, 2016, 2017, 2022 та 2024 рр. Високе значення пружності або розтяжності тіста ще не гарантує отримання високої сили борошна, для чого потрібна збалансованість обох показників. Сила борошна більше 280 одиниць

In 2010 and 2021, when there was a significant decrease in the productive density, but the conditions for grain setting and filling were favorable, the mean grain protein content exceeded 14%; In 2009 and 2020, this indicator was also quite high, amounting to 13.8%. The flour gluten content in these years exceeded 27%. When we considered the annual mean values of the protein and gluten contents, we noted inverse correlations between these indicators and yield ($r=-0.46$ and -0.44 , respectively). In most years of research, there was a strong correlation between grain protein content and flour gluten content ($r = 0.6-0.8$); both indicators were positively correlated with gluten deformation index and dough extensibility in most cases ($r = 0.2-0.7$); in some years, there were inverse correlations with dough resilience and balance.

Gluten content and quality are among the most important factors affecting dough rheology. The gluten deformation index varied more significantly than the protein and gluten contents across cultivars and lines in individual years ($CV = 20.6-44.6\%$) and across years ($CV=36.6\%$). In most years, the mean value met the requirements for gluten quality Group 1, but in 2011, 2018, 2022, and 2023, gluten was too strong ($GDI<40$), while in 2009, 2016, 2020, and 2021, it was too extensible ($GDI>80$). In most years, there was a significant inverse correlation between GDI and dough resilience (r from -0.3 to -0.7), between GDI and flour strength (r from -0.3 to -0.8), between GDI and dough elasticity index (r from -0.2 to -0.7), between GDI and loaf volume (r from -0.2 to -0.7), and between GDI and overall baking score (r from -0.3 to -0.8); there was a positive correlation between GDI and dough extensibility ($r = 0.3 - 0.6$).

The dough rheological properties moderately varied from year to year and in individual years. The inter-accession mean dough resilience exceeded 90 mm in 2012, 2013, 2014, and 2017, while in 2008, 2009, 2016, 2021, 2023, and 2024, it was below 70 mm. The dough extensibility was higher than 90 mm in 2008, 2009, 2010, 2014, and 2021 and lower than 70 mm in 2013, 2015, 2016, 2017, 2022, and 2024. A high value of dough resilience or extensibility does not guarantee high flour strength, which requires a balance of both indicators. The flour strength of over 280 was recorded 2010, 2011, 2012, 2014, while in 2008, 2016, 2021, and 2024, it was lower than 200. The dough elasticity index of 70 or higher was recorded in 2010, 2019 and, 2023; it was below 60 in 2014, 2017, 2021, and 2024.

альвеографа (о. а.) формувалася в 2010, 2011, 2012, 2014 рр., а у 2008, 2016, 2021 та 2024 рр. була меншою за 200 о. а. Індекс еластичності тіста 70 одиниць і більше був у 2010, 2019 та 2023 рр, а меншим від 60 – у 2014, 2017, 2021 та 2024 рр.

Об'єм хліба зі 100 г борошна без використання розпушувачів у 740 мл і більше був отриманий у 2010, 2012, 2015, 2018 та 2023 рр., а менше від 600 мл – у 2008, 2009, 2016, 2021 та 2022 рр. Загальна хлібопекарська оцінка вище за 8,7 бала відзначена у 2010, 2012, 2018 та 2019 рр., а менша за 8,0 балів – у 2008, 2009, 2016, 2021, 2022 та 2024 рр. Варіювання за роками середніх за зразками показників хлібопекарської оцінки було середнім, коефіцієнти варіації становили від 9 до 15%.

Для узагальнення отриманих багаторічних даних використовувались стандартизовані в межах окремих років значення. Таким чином виділені зразки, які вивчалися не менше трьох років, з середнім стандартизованим значенням природи зерна більше 1,2 Донецька 48, Перлина Лісостепу, Еритр.1463-08, Лют.487-13, Лют.490-13, Проня (Лют. 53-13) та дві сестринські лінії з некрупним, але добре виповненим зерном, Лют. 490 -15, Лют. 449-15, Лют. 470-15, L191-14.

Стандартизоване значення склоподібності більше 1,0 мали Еритр.1463-08, Смуглянка, Еритр.913-10, Лют.490-13, Еритр.14-17, Еритр.1180-18 та лінія, відібрана у розсаднику РВ2 сорту Принада, а менше ніж –1,0 Еритр. 461-09, Лют. 901-10, Еритр. 95-11, Еритр. 778-14, L139-03КН, м'якозерний сорт Мазурок (L137-26-0-3) та його сестринська лінія L137-26-0-2, L195-21, Еритр. 1161-17, Еритр. 55-18, Еритр. 180-18, Еритр. Q 6-15.

Стандартизоване значення вмісту білка в зерні більше ніж 1,2 мали лінії Еритр. 913-10, Еритр. 399-13, Еритр. 188-13, Принада (Лют. 104-11), Лют. 470-15, Лют. 152-16, Еритр. 14-17, Лют. 676-17, Еритр. 923-17, Лют. 1000-17, Лют. 1003-17, Лют. 1152-17, Еритр. 795-21, Еритр. 1120-21, а менше від –1,2 – Лют. 376-07, Лют. 217-13, Лют. 487-13, Еритр. 277-13, А-3-14, Еритр. 1307-15, Малуша (Еритр. 1150-17), Еритр. 55-18, Еритр. 1283-18, L224-5, L244-1 та лінія, відібрана у розсаднику РВ2 сорту Проня. Стандартизоване значення вмісту клейковини у борошні більше 1,0 мали Еритр. 913-10, Еритр. 661-10, Гармоніка (Еритр. 661-10), Принада (Лют. 104-11), Лют. 449-15,

The volume of baking powder-free loaf from 100 g of flour was 740 cm³ or more in 2010, 2012, 2015, 2018, and 2023; it was below 600 cm³ in 2008, 2009, 2016, 2021, and 2022. The overall baking score of higher than 8.7 points was noted in 2010, 2012, 2018, and 2019; it was below 8.0 points in 2008, 2009, 2016, 2021, 2022, and 2024. The year-to-year variations of the mean baking scores of the accessions were medium, with the coefficients of variation ranging 9% to 15%.

To summarize the multi-year data, the year-standardized values were used. Thus, accessions that had been studied for at least three years, with the mean standardized value of test weight of over 1.2, were selected: cv. 'Donetska 48', cv. 'Perlyna Lisostepu', line 'Erythr.1463-08', line 'Lut.487-13', line 'Lut.490-13', line 'Lut. 490-15', line 'Lut. 449-15', line 'Lut. 470-15', line 'L191-14', cv. 'Pronia' (line 'Lut. 53-13') and its two sister lines with small but well-filled kernels.

The standardized kernel vitreousness was higher than 1.0 in 'Erythr.1463-08', cv. 'Smuhlianka', 'Erythr.913-10', 'Lut.490-13', 'Erythr.14-17', 'Erythr.1180-18', and a line selected from cv. 'Prynada' in the second year nursery; it was below 1.0 in 'Erythr. 461-09', 'Lut. 901-10', 'Erythr. 95-11', 'Erythr. 778-14', 'L139-03KH', soft cv. 'Mazurok' (line 'L137-26-0-3') and its sister line, 'L137-26-0-2', 'L195-21', 'Erythr. 1161-17', 'Erythr. 55-18', 'Erythr. 180-18', and 'Erythr. Q6-15'.

The standardized value of grain protein content exceeded 1.2 in lines 'Erythr. 913-10', 'Erythr. 399-13', 'Erythr. 188-13', cv. 'Prynada' (line 'Lut. 104-11'), 'Lut. 470-15', 'Lut. 152-16', 'Erythr. 14-17', 'Lut. 676-17', 'Erythr. 923-17', 'Lut. 1000-17', 'Lut. 1003-17', 'Lut. 1152-17', 'Erythr. 795-21', and 'Erythr. 1120-21'; it was below 1.2 in 'Lut. 376-07', 'Lut. 217-13', 'Lut. 487-13', 'Erythr. 277-13', 'A-3-14', 'Erythr. 1307-15', cv. 'Malusha' (line 'Erythr. 1150-17'), 'Erythr. 55-18', 'Erythr. 1283-18', 'L224-5', 'L244-1', and a line selected from cv. 'Pronia' in the second-year nursery. The standardized value of flour gluten content of over 1.0 was recorded for 'Erythr. 913-10', 'Erythr. 661-10', cv. 'Harmonika' (line 'Erythr. 661-10'), cv. 'Prynada' (line 'Lut. 104-11'), 'Lut. 449-15', 'Erythr. 1378-15', 'Lut. 152-16', 'Erythr. 804-16', 'Lut. 834-16', 'Lut. 676-17', and 'Erythr. 65-19'.

Standardization of gluten deformation index and dough balance allows eliminating lines with both too high and too low values from the breeding process. The mean standardized dough resilience values were higher than 1.2 in 'Erythr. 545-06',

Еритр. 1378-15, Лют. 152-16, Еритр. 804-16, Лют. 834-16, Лют. 676-17, Еритр. 65-19.

За показниками індексу деформації клейковини та збалансованості тіста стандартизація дозволяє вилучити з селекційного процесу лінії як з надто високими значеннями, так і з надто низькими. Середні стандартизованих значень пружності тіста понад 1,2 мали Еритр. 545-06, Еритр. 455-10, Еритр. 237-13, Еритр. 188-13, Мальованка (Еритр. 1472-14), Еритр. 1470-14, Еритр. 1178-15, Еритр. 1235-15, Еритр. 1307-15, L103*-25KH, Еритр. 67-18, Еритр. 180-18, Еритр. 1478-19, Еритр. 478-20, Еритр. 619-20, Еритр. 987-20. Середні стандартизованих значень розтяжності тіста понад 1,0 мали Еритр. 692-08, Лют. 844-10, Еритр. 913-10, Лют. 104-11, Еритр. 275-13, L 77-19KH-0KH-4KH, Мелашка (L146-02-0-4), Еритр. 804-16, Еритр. 1367-19.

Середні стандартизованих значень сили борошна понад 1,0 мали Еритр. 545-06, Фермерка (Еритр.702-06), Влучна, Еритр.237-13, Еритр. 1395-15, L191-18, Еритр. 1178-15, L103*-25KH, Еритр. 804-16, Еритр. 805-16, Еритр. 166-16, Еритр. 67-18, Еритр. 478-20, Еритр. 619-20, Лют. 1387-21, а індексу еластичності тіста – Еритр. 455-10, Еритр. 95-11, Еритр. 1217-15, Еритр. 170-15, Еритр. 190-15, Еритр. 1046-15, Еритр. 1178-15, Еритр. 805-16, Еритр. 806-16, Еритр. 795-21.

Середні стандартизоване значення об'єму хліба зі 100 г борошна без розпушувачів 1,0 та більше мали Еритр. 545-06, Еритр. 1397-08, Еритр. 236-13, Еритр. 237-13, Еритр. 554-16, Еритр. 166-16, Еритр. 444-16, Лют. 319-19, Еритр. 1693-19, Еритр. 429-20, а загальної хлібопекарської оцінки більше 0,5 – Харус (Еритр. 333), Еритр. 1397-08, Еритр. 283-09, Еритр. 461-09, Еритр. 462-09, Еритр. 803-09, Лют. 560-09, Лют. 628-09, Еритр. 275-13, Лют. 48-13, Принада (Лют. 104-11), Еритр. 753-14, Еритр. 1470-14, А-3-14, L 77-27KH-0KH-4KH, Коровайна, Еритр. 1217-15, L191-18, Еритр. 777-16, Еритр. 804-16, Лют. 319-19, Еритр. 1367-19, Лют. 354-20, Еритр. 429-20.

Середні стандартизоване значення показника SDS-седиментації більше 1,0 показали Вигадка (Еритр. p.300-12), Еритр. 48-17, Еритр. 60-17, Еритр. 130-17, Лют. 229-17, Еритр. 287-17, Еритр. 1180-18, Еритр. 478-20, Еритр. 795-21, Лют. 860-21, Еритр. 1120-21.

Середні стандартизовані значення показників якості зерна для сортів, які протягом 2008-2024 років вивчалися не менше 7 років наведені у табл. 2.

‘Erythr. 455-10’, ‘Erythr. 237-13’, ‘Erythr. 188-13’, ‘Maliovanka’ (line ‘Erythr. 1472-14’), ‘Erythr. 1470-14’, ‘Erythr. 1178-15’, ‘Erythr. 1235-15’, ‘Erythr. 1307-15’, ‘L103*-25KH’, ‘Erythr. 67-18’, ‘Erythr. 180-18’, ‘Erythr. 1478-19’, ‘Erythr. 478-20’, ‘Erythr. 619-20’, and ‘Erythr. 987-20’. The mean standardized values of dough extensibility of over 1.0 were noted in ‘Erythr. 692-08’, ‘Lut. 844-10’, ‘Erythr. 913-10’, ‘Lut. 104-11’, ‘Erythr. 275-13’, ‘L 77-19KH-0KH-4KH’, cv. ‘Melashka’ (line ‘L146-02-0-4’), ‘Erythr. 804-16’, and ‘Erythr. 1367-19’.

The mean standardized values of flour strength were over 1.0 in ‘Erythr. 545-06’, cv. ‘Fermerka’ (line ‘Erythr.702-06’), cv. ‘Vluchna’, ‘Erythr.237-13’, ‘Erythr. 1395-15’, ‘L191-18’, ‘Erythr. 1178-15’, ‘L103*-25KH’, ‘Erythr. 804-16’, ‘Erythr. 805-16’, ‘Erythr. 166-16’, ‘Erythr. 67-18’, ‘Erythr. 478-20’, ‘Erythr. 619-20’, and ‘Lut. 1387-21’. The mean standardized values of dough elasticity index exceeded 1 in ‘Erythr. 455-10’, ‘Erythr. 95-11’, ‘Erythr. 1217-15’, ‘Erythr. 170-15’, ‘Erythr. 190-15’, ‘Erythr. 1046-15’, ‘Erythr. 1178-15’, ‘Erythr. 805-16’, ‘Erythr. 806-16’, and ‘Erythr. 795-21’.

The mean standardized values of volume of baking powder-free loaf from 100 g of flour were 1.0 or higher in ‘Erythr. 545-06’, ‘Erythr. 1397-08’, ‘Erythr. 236-13’, ‘Erythr. 237-13’, ‘Erythr. 554-16’, ‘Erythr. 166-16’, ‘Erythr. 444-16’, ‘Lut. 319-19’, ‘Erythr. 1693-19’, and ‘Erythr. 429-20’. The mean standardized values of the overall baking score was more than 0.5 in cv. ‘Kharus’ (line ‘Erythr. 333’), ‘Erythr. 1397-08’, ‘Erythr. 283-09’, ‘Erythr. 461-09’, ‘Erythr. 462-09’, ‘Erythr. 803-09’, ‘Lut. 560-09’, ‘Lut. 628-09’, ‘Erythr. 275-13’, ‘Lut. 48-13’, cv. ‘Prynada’ (line ‘Lut. 104-11’), ‘Erythr. 753-14’, ‘Erythr. 1470-14’, ‘A-3-14’, ‘L 77-27KH-0KH-4KH’, cv. ‘Korovaina’, ‘Erythr. 1217-15’, ‘L191-18’, ‘Erythr. 777-16’, ‘Erythr. 804-16’, ‘Lut. 319-19’, ‘Erythr. 1367-19’, ‘Lut. 354-20’, and ‘Erythr. 429-20’.

The mean standardized values of the SDS-sedimentation index of over 1.0 were intrinsic to cv. ‘Vyhadka’ (line ‘Eryth p.300-12’), ‘Erythr. 48-17’, ‘Erythr. 60-17’, ‘Erythr. 130-17’, ‘Lut. 229-17’, ‘Erythr. 287-17’, ‘Erythr. 1180-18’, ‘Erythr. 478-20’, ‘Erythr. 795-21’, ‘Lut. 860-21’, and ‘Erythr. 1120-21’.

The mean standardized values of grain quality indicators for cultivars that had been studied for at least 7 years (2008-2024) are given in Table 2.

Таблиця 2. Показники якості зерна зразків пшениці м'якої озимої стандартизовані за роками вивчення (значення середні за зразками)*
Table 2. Year-standardized values of the grain quality indicators of the winter bread wheat accessions (mean values for accessions)*

Назва сорту / Cultivar	Кількість років вивчення / Number of study years	Нагура зерна / Test weight	Склоподібність зерна / Kernel vitreousness	Вміст білка в зерні / Grain protein content	Вміст клейковини в борошні / Flour gluten content	Індекс деформації клейковини / Gluten deformation index	Пружність тіста / Dough resilience	Розтяжність тіста / Dough extensibility	Сила борошна / Flour strength	Індекс еластичності тіста / Dough elasticity index	Об'єм хліба / Volume of loaf	Загальна хлібопекарська оцінка / Overall baking score
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Досконала / Doskonala	22	0,22	-0,59	-0,10	0,05	0,60	-0,64	-0,01	-0,67	-0,58	-0,25	-0,14
Дорідна / Doridna	15	0,45	0,38	0,90	0,16	0,52	-0,70	0,55	-0,41	-0,50	-0,57	-0,32
Альянс / Alians	17	-0,02	-0,32	-0,49	-0,69	-0,07	-0,69	0,39	-0,41	-0,01	0,02	0,05
Розкішна / Rozkishna	18	-0,04	-0,46	-0,09	-0,41	-0,31	0,37	-0,69	0,06	0,38	-0,30	-0,26
Астет / Astet	9	0,04	0,91	-0,10	-0,06	-0,54	0,73	-0,21	0,99	0,53	0,56	0,46
Василина / Vasylyna	11	-0,06	0,31	-0,48	-0,21	-0,53	0,65	-0,45	0,57	0,18	0,72	0,44
Харус / Kharus	9	0,35	0,24	-0,76	-0,42	-0,72	0,57	0,02	0,86	0,60	0,76	0,57
Статна / Statna	13	0,39	0,26	-0,34	-0,07	-0,47	0,33	0,30	0,69	0,15	0,34	0,31
Гордовита / Hordovuta	9	-0,12	0,74	-0,74	-0,87	-0,24	0,79	-0,96	0,32	0,03	-0,08	0,25
Диво / Dyvo	16	0,08	0,39	-0,79	0,06	-0,38	0,72	-0,43	0,54	0,16	0,53	0,19
Фермерка / Fermerka	15	0,54	0,57	0,07	-0,04	-0,72	0,88	-0,19	1,11	0,74	0,33	0,21
Запашна / Zapashna	15	-0,01	-0,09	-0,71	-0,75	-0,26	0,74	-0,43	0,48	0,03	-0,06	0,32
Приваблива / Pryvablyva	14	0,85	0,21	0,31	0,64	0,50	-0,36	0,37	-0,16	-0,32	-0,12	0,19
Привітна / Pryvitna	13	0,92	0,19	0,54	0,57	0,34	-0,44	0,04	-0,34	-0,22	-0,34	0,06
Метелиця харківська / Metelytsia Kharkivska	13	-1,34	-0,03	-0,30	-0,20	0,14	-0,46	-0,25	-0,55	0,00	-0,34	-0,57
Вигадка / Vyhadka	13	0,45	0,26	-0,07	-0,22	-0,72	0,91	-0,72	0,57	0,33	0,14	0,14
Здобна / Zdobna	13	0,32	0,16	-0,33	-0,10	-0,19	-0,05	-0,02	-0,03	0,18	0,28	0,01
Гайок / Haiok	13	0,91	0,09	-0,04	0,04	-0,44	0,27	-0,40	0,02	0,22	0,07	-0,12
Проня / Pronia	12	1,22	0,38	-0,77	-0,42	-0,32	0,05	-0,23	-0,14	-0,39	0,13	0,22
Гармоніка / Harmonika	11	-0,15	0,18	0,76	1,15	0,64	-0,61	0,95	-0,02	-0,13	0,41	0,35

продовження таблиці 2												
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Краса ланів / Krasa Laniv	12	0,29	-0,89	-0,15	-0,03	-0,65	-0,03	0,08	0,35	0,77	-0,42	-0,62
Патріотка / Patriotka	10	-0,66	-0,17	-0,11	-0,27	-0,66	0,55	-0,15	0,65	0,78	-0,29	-0,12
Принада / Prunada	10	1,10	0,65	1,27	1,15	-0,42	0,14	0,27	0,62	0,85	0,61	0,55
Мальованка / Maliiovanka	10	0,19	-0,01	0,16	-0,49	-0,79	1,27	-0,52	0,97	0,40	-0,44	0,15
Мавка IP / Mavka IR	10	0,65	0,06	-1,04	-0,94	-0,01	0,33	-0,36	0,04	-0,30	0,50	0,21
Мізинка / Mizynka	10	0,17	-0,05	-0,76	-0,61	-1,03	0,33	-0,23	0,28	0,08	0,06	0,29
Мазурок / Mazyrok	10	-0,55	-1,39	1,06	0,52	1,59	-1,83	0,23	-1,94	-0,76	-0,19	-1,47
Мелашка / Melashka	9	-1,66	-0,13	-0,59	0,44	1,01	-1,39	1,02	-1,08	-0,83	-0,19	-0,26
Газда / Gazda	9	-0,34	-0,91	-0,57	-0,61	-1,18	0,17	-0,19	0,27	0,96	0,23	-0,29
Єднання / Yednannia	7	0,88	-0,56	-0,04	0,29	0,70	-0,15	-0,45	-0,50	-0,78	-0,86	-0,32
Малуша / Malusha	7	0,05	0,00	-1,21	-1,56	0,24	-0,98	0,41	-0,89	-0,50	-0,14	-0,03

Примітка: * Різниця між значенням конкретного показника конкретної лінії та середнім значенням відповідного показника у відповідний рік поділена на стандартне відхилення відповідного показника у відповідний рік

Note: * The difference between the value of a specific indicator of a specific line and the mean value of the corresponding indicator in the corresponding year was divided by the standard deviation of the corresponding indicator in the corresponding year.

Серед сортів високими пружністю тіста, силою борошна та індексом еластичності тіста відрізнялись Харус, Астет, Василина, Фермерка (має Glu-B1a), Патріотка, Мальованка, а низькими – Малуша (носії пшенично-житньої транслокації 1B/1R) [34] та м'якозерний сорт кондитерського напрямку використання Мазурок [35], який крім того закономірно відрізнявся низькою склоподібністю зерна. Високою натурою зерна відзначались сорти Приваблива, Привітна, Принада, Гайок, Проня. Високим вмістом білка в зерні та клейковини в борошні характеризувались Приваблива, Привітна, Гармоніка, Мазурок, при максимальних значеннях у сорту Принада. Об'єм хліба і загальна хлібопекарська оцінка вищими були у сортів Харус, Астет, Василина, Статна, Фермерка, Диво, Гармоніка, Принада, Мавка ІР.

Розгляд зв'язків між середніми стандартизованими значеннями показників якості зерна сортів і ліній, які вивчалися не менше трьох років, показав, що суттєвою для $r > 0,95$ кореляція була між натурою та склоподібністю зерна ($r = 0,30$), між вмістом білка в зерні та клейковини в борошні ($r = 0,67$), вміст білка та клейковини позитивно корелювали з ІДК та розтяжністю тіста ($r = 0,3-0,5$) та негативно з пружністю тіста ($r = -0,2$). Індекс деформації клейковини негативно корелював з пружністю та еластичністю тіста і силою борошна (r від $-0,6$ до $-0,7$) та позитивно – з розтяжністю тіста ($r = 0,39$). Сила борошна була пов'язаною з пружністю тіста ($r = 0,85$) та еластичністю ($r = 0,70$).

Загальна хлібопекарська оцінка була суттєво пов'язана з індексом деформації клейковини ($r = 0,39$), пружністю тіста ($r = -0,37$), силою борошна та індексом еластичності тіста ($r = 0,53$). Невисокі значення коефіцієнтів лінійної кореляції можуть говорити про непрямолінійність зв'язку. Поліноміальні побудови другого ступеня для відображення впливу інших показників якості зерна на загальну хлібопекарську оцінку наведені на рис. 1.

Cultivars 'Kharus', 'Astet', 'Vasylyna', 'Fermerka' (carries Glu-B1a), 'Patriotka', and 'Maliovanka' were distinguished by high levels of dough resilience, flour strength, and dough elasticity index; cv. 'Malusha' (carrier of the 1B/1R wheat-rye translocation) [34] and soft confectionery cv. 'Mazurok' [35] were distinguished by low kernel vitreousness. Cultivars 'Privablyva', 'Privitna', 'Prynada', 'Haiok', and 'Pronia' were distinguished by high test weight; cvs. 'Privablyva', 'Privitna', 'Harmonika', and 'Mazurok' were characterized by high grain protein content and flour gluten content, with the maximum values in cv. 'Prynada'. The loaf volume and the overall baking score were higher in cvs. 'Kharus', 'Astet', 'Vasylyna', 'Statna', 'Fermerka', 'Dyvo', 'Harmonika', 'Prynada', and 'Mavka IR'.

Consideration of the relationships between the mean standardized values of the grain quality indicators in the cultivars and lines that had been studied for at least three years showed significant correlations ($p > 0.95$) between test weight and kernel vitreousness ($r = 0.30$), between grain protein content and flour gluten content ($r = 0.67$); protein and gluten contents were positively correlated with GDI and dough extensibility ($r = 0.3-0.5$) and negatively correlated with dough resilience ($r = -0.2$). Gluten deformation index was negatively correlated with dough resilience, dough elasticity and flour strength (r from -0.6 to -0.7) and positively correlated with dough extensibility ($r = 0.39$). Flour strength was correlated with dough resilience ($r = 0.85$) and elasticity ($r = 0.70$).

The overall baking score was significantly correlated with gluten deformation index ($r = 0.39$), dough resilience ($r = -0.37$), flour strength and dough elasticity index ($r = 0.53$). Low values of the linear correlation coefficients may indicate a nonlinear relationship. Fig. 1 shows second-order polynomials to reflect the influence of other grain quality indicators on the overall baking score.

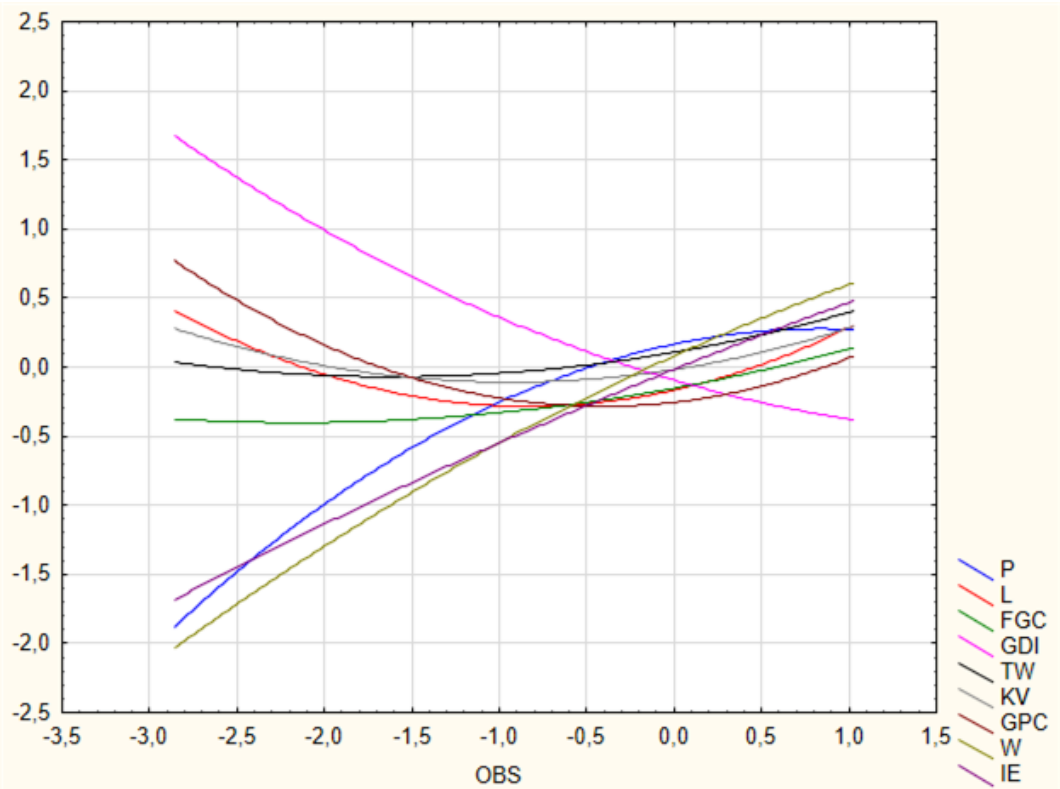


Рис. 1. Зв'язок загальної хлібопекарської оцінки пшениці м'якої озимої з іншими показниками якості зерна, середні за зразками стандартизованих значень за роками вивчення.

Примітка: OBS – загальна хлібопекарська оцінка, P – пружність тіста, L – розтяжність тіста, FGC – вміст клейковини в борошні, GDI – індекс деформації клейковини, TW – натура зерна, KV – склоподібність зерна, GPC – вміст білка в зерні, W – сила борошна, IE – індекс еластичності клейковини.

Fig. 1. Relationships between the overall baking score and other grain quality indicators in winter bread wheat, mean values standardized across years.

Note: OBS – overall baking score, P – dough resilience, L – dough extensibility, FGC – flour gluten content, GDI – gluten deformation index, TW – test weight, KV – kernel vitreousness, GPC – grain protein content, W – flour strength, IE – gluten elasticity index.

Кластеризація ознак якості зерна методом Варда до якої залучили сорти та лінії, що вивчалися не менше трьох років, дозволила виділити чотири кластера з масштабом евклідових відстаней менше 40 %. До першого увійшли ознаки вмісту білка в зерні та клейковини в борошні, індекс деформації клейковини та розтяжність тіста, до другого – усі інші реологічні властивості тіста, до третього – показники якості хліба, до четвертого – склоподібність та натура зерна (рис. 2).

Для редукції даних та узагальнення отриманих результатів було проведено факторний аналіз, до якого залучили сорти та лінії, які вивчалися не менше трьох років за комплексом ознак якості зерна. Методом головних компонент виділено чотири фактори, які пояснюють більше 70% загальної мінливості.

Ward clusterization of grain quality traits in the cultivars and lines that had been studied for at least three years allowed us to identify four clusters with a Euclidean distances of $\leq 40\%$. Cluster 1 included the following characteristics: grain protein content and flour gluten content, gluten deformation index, and dough extensibility; cluster 2 – the other rheological properties of dough; cluster 3 – bread quality indicators; and cluster 4 – kernel vitreousness and test weight (Fig. 2).

To reduce data and summarize the results, we performed PCA, which included the cultivars and lines that had been screened for at least three years for a set of grain quality characteristics. Four principal components (PCs), which account for $> 70\%$ of the total variability, were identified by principal component analysis.

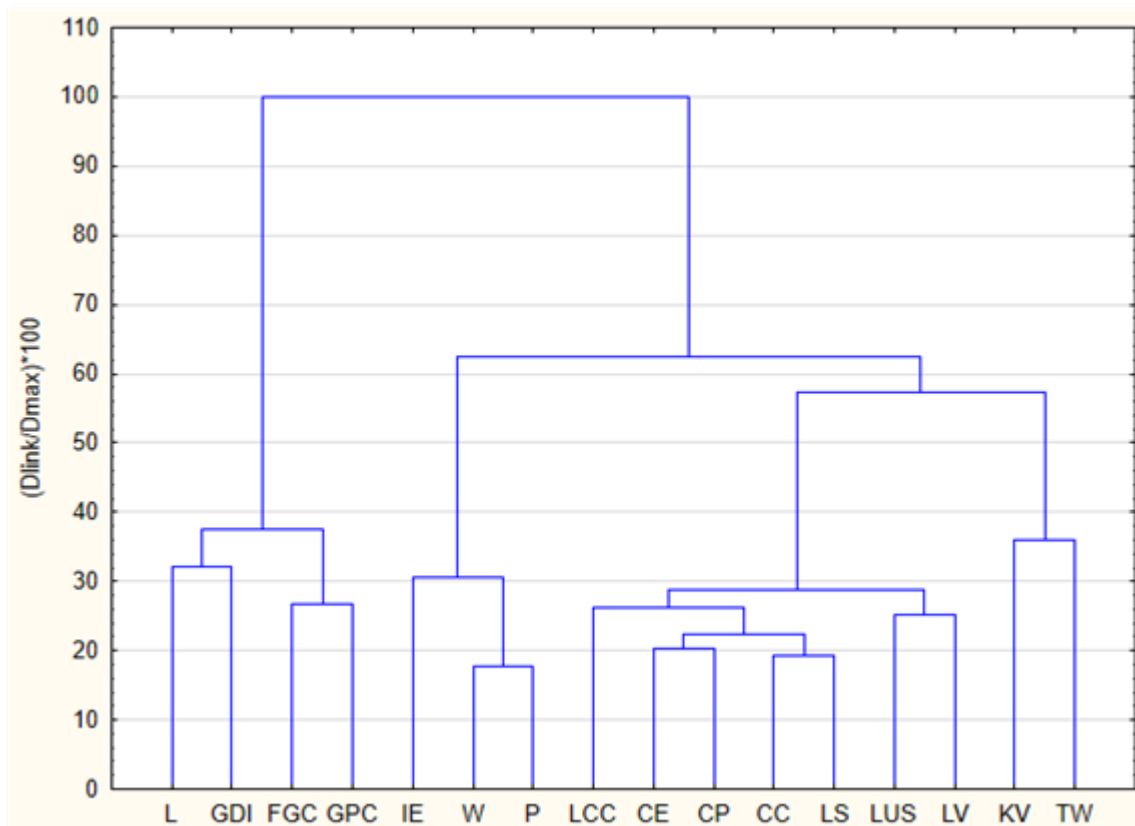


Рис. 2. Ієрархічне дерево показників якості зерна за результатами вивчення ліній пшениці м'якої озимої конкурсного сортовипробування (евклідові відстані, метод Варда).

Примітка: $(Dlink/Dmax)*100$ – масштаб відстаней, L – розтяжність тіста, GDI – індекс деформації клейковини, FGC – вміст клейковини в борошні, GPC – вміст білка в зерні, IE – індекс еластичності клейковини, W – сила борошна, P – пружність тіста, LCC – колір скоринки хлібини, CE – еластичність м'якуша хлібини, CP – пористість м'якуша хлібини, CC – колір м'якуша хлібини, LS – форма хлібини, LUS – оцінка поверхні хлібини, LV – об'єм хлібини, KV – склоподібність зерна, TW – натура зерна.

Figure 2. Dendrogram of the grain quality indicators based on the results of testing the winter bread wheat lines in competitive trials (Euclidean distances, Ward method).

Note: $(Dlink/Dmax)*100$ – distance scale, L – dough extensibility, GDI – gluten deformation index, FGC – flour gluten content, GPC – grain protein content, IE – gluten elasticity index, W – flour strength, P – dough resilience, LCC – loaf crust color, CE – crumb elasticity, CP – crumb porosity, CC – crumb color, LS – loaf shape, LUS – loaf surface score, LV – loaf volume, KV – kernel vitreousness, TW – test weight.

До першого фактора увійшли показники хлібопекарської оцінки (об'єм хліба, форма, оцінка поверхні, забарвлення шкоринки, пористість, еластичність та колір м'якуша) з навантаженнями 0,7–0,8. До другого фактора увійшли реологічні властивості (пружність тіста, сила борошна, індекс еластичності тіста) з навантаженнями 0,8–0,9 та індекс деформації клейковини з від'ємним знаком. До третього фактора увійшли вміст білка, клейковини з навантаженнями 0,8–0,9 та, частково, розтяжність тіста (навантаження 0,6). До четвертого фактора увійшли склоподібність та натура зерна. Таким чином, були отримані результати, дуже близькі до ієрархічної

Principal component 1 included baking indicators (loaf volume, shape, surface score, crust color, porosity, and crumb elasticity and color) with loadings of 0.7–0.8. Principal component 2 included rheological properties (dough resilience, flour strength, dough elasticity index) with loadings of 0.8–0.9 and gluten deformation index with a negative loading. Principal component 3 included protein and gluten contents with loadings of 0.8–0.9 and, partially, dough extensibility (loading 0.6). Principal component 4 included kernel vitreousness and test weight. Thus, we obtained results that were very close to hierarchical clustering.

кластеризації.

Отже для хлібопекарського використання, де потрібні високі хлібопекарські, реологічні і поживні властивості та використання як вихідний матеріал для селекції за даними ознаками підійдуть сорти і лінії з поєднанням високих значень перших трьох факторів: Астет (Еритр.185-98), Фермерка (Еритр. 702-06), Еритр. 913-10, Лют. 943-10, Еритр. 134-13, Еритр. 275-13, Еритр. 377-13, Еритр. 393-13, Принада (Лют. 104-11), Еритр. 669-14, L165-02KH, Коровайна, L191-18, Еритр. 190-15, Лют. 449-15, Лют. 470-15, Еритр. 1178-15, Лют. 1346-15, L103*-25KH, Еритр. 804-16, Еритр. 166-16, Лют. 1152-17, Еритр. 1180-18, Еритр. 81-19, Еритр. 1367-19, Лют. 354-20.

Для заготівлі зерна згідно з ДСТУ 3768:2019 «Пшениця. Технічні умови» [36], де хлібопекарські та реологічні показники не є обов'язковими або взагалі не передбачені, важливими будуть зразки з високими значеннями третього і четвертого факторів: Дорідна (Лют. 415-01), Лют. 561-09, Еритр. 913-10, Лют. 943-10, Лют. 994-10, Приваблива (Лют. 561-09), Привітна (Лют. 1019-10), Еритр. 164-13, Лют. 447-13, Принада (Лют. 104-11), Лют. 449-15, Лют. 470-15, L191-14, Еритр. 14-17, Лют. 676-17, Еритр. 923-17, Еритр. 1180-18, Еритр. 65-19, Еритр. 81-19.

Для кондитерського напряму використання кращими будуть пшениці з низькими реологічними властивостями та склоподібністю [37], тобто факторами 2 і 4, але до фактора 4 також увійшла натура зерна, а низьке значення цього показника не бажане. При виділенні п'яти факторів, які пояснюють більше 75 % загальної мінливості, вдалося розділити четвертий фактор на четвертий, до якого увійшла склоподібність зерна з навантаженням 0,86 і п'ятий – з натурою зерна з навантаженням 0,95. Низькими значеннями факторів 2 і 4 та високими значеннями фактора 3 відзначались Лютиця, Лют. 844-10, Лют. 994-10, Лют. 104-11, Мазурок (L137-26-0-3), L137-26-0-2, Мелашка (L146-02-0-4), L195-21, Еритр. 444-16, Еритр. 263-18.

Hence, for baking purposes, where high baking, rheological and nutritional properties are required, and in breeding oriented to these characteristics, as starting materials, the following cultivars and lines with combinations of high values of the first three PCs are suitable: cv. 'Astet' (line 'Erythr.185-98'), cv. 'Fermerka' (line 'Erythr. 702-06'), 'Erythr. 913-10', 'Lut. 943-10', 'Erythr. 134-13', 'Erythr. 275-13', 'Erythr. 377-13', 'Erythr. 393-13', cv. 'Prynada' (line 'Lut. 104-11'), 'Erythr. 669-14', 'L165-02KH', cv. 'Korovayna', 'L191-18', 'Erythr. 190-15', 'Lut. 449-15', 'Lut. 470-15', 'Erythr. 1178-15', 'Lut. 1346-15', 'L103*-25KH', 'Erythr. 804-16', 'Erythr. 166-16', 'Lut. 1152-17', 'Erythr. 1180-18', 'Erythr. 81-19', 'Erythr. 1367-19', and 'Lut. 354-20'.

For grain harvesting, according to DSTU 3768:2019 "Wheat. Specifications" [36], where baking and rheological indicators are not mandatory or not provided for at all, accessions with high values of PCs 3 and 4 will be important: cv. 'Doridna' (line 'Lut. 415-01'), 'Lut. 561-09', 'Erythr. 913-10', 'Lut. 943-10', 'Lut. 994-10', cv. 'Pryvablyva' (line 'Lut. 561-09'), cv. 'Pryvitna' (line 'Lut. 1019-10'), 'Erythr. 164-13', 'Lut. 447-13', cv. 'Prynada' (line 'Lut. 104-11'), 'Lut. 449-15', 'Lut. 470-15', 'L191-14', 'Erythr. 14-17', 'Lut. 676-17', 'Erythr. 923-17', 'Erythr. 1180-18', 'Erythr. 65-19', and 'Erythr. 81-19'.

In confectionery industry, wheats with low rheological properties and kernel vitreousness [37], i.e. PCs 2 and 4 seem the best ones; however, PC 4 also includes test weight and a low value of this indicator is not desirable. With five PCs accounting for over 75% of the total variability, it was possible to divide PC 4 into a smaller PC 4, which included kernel vitreousness with a loading of 0.86 and PC 5 consisting of test weight with a loading of 0.95. Low values of PCs 2 and 4 and high values of PC 3 were noted in cv. 'Liutytsia', 'Lut. 844-10', 'Lut. 994-10', 'Lut. 104-11', cv. 'Mazurok' (line 'L137-26-0-3'), 'L137-26-0-2', cv. 'Melashka' (line 'L146-02-0-4'), 'L195-21', 'Erytr. 444-16', and 'Erytr. 263-18'.

Висновки

В результаті детального вивчення понад 1200 сортів та селекційних ліній конкурсного сортовипробування пшениці м'якої озимої за ознаками якості зерна в Інституті рослинництва ім. В.Я. Юр'єва НААН протягом 2008–2024 рр. встановлена мінливість їх за роками залежно від погодних умов.

Для узагальнення отриманих багаторічних даних були використані стандартизовані в межах окремих років значення, за якими виділені джерела високої натури зерна, високої та низької склоподібності зерна для селекції твердозерних та м'язозерних сортів, високого вмісту білка і клейковини та її якості, високих реологічних властивостей і хлібопекарських якостей.

Серед сортів високими пружністю тіста, силою борошна та індексом еластичності тіста відрізнялись Харус, Астет, Васирина, Фермерка, Патріотка, Мальованка, а низькими – Малуша та м'язозерний сорт кондитерського напряму використання Мазурок, який крім того відрізнявся низькою склоподібністю зерна.

Високою натурою зерна відзначались сорти Приваблива, Привітна, Принада, Гайок, Проня. Високим вмістом білка в зерні та клейковини в борошні характеризувалися Приваблива, Привітна, Гармоніка, Мазурок, при максимальних значеннях у сорту Принада.

Об'єм хліба і загальна хлібопекарська оцінка вищими були у сортів Харус, Астет, Васирина, Статна, Фермерка, Диво, Гармоніка, Принада, Мавка ІР.

Встановлені зв'язки між ознаками якості зерна, зокрема загальна хлібопекарська оцінка була суттєво пов'язана з індексом деформації клейковини ($r=0,39$), пружністю тіста ($r=-0,37$), силою борошна та індексом еластичності тіста ($r=0,53$).

Для редукції даних та узагальнення отриманих результатів було проведено кластерний та факторний аналіз, за допомогою яких виділено чотири кластери з масштабом евклідових відстаней менше 40% та чотири фактори, які пояснюють понад 70% загальної мінливості, один з яких пов'язаний з хлібопекарськими якостями, інший – з реологічними властивостями, ще два з вмістом білка і клейковини та натурою і склоподібністю зерна. Визначені лінії з поєднанням високих значень різних факторів для різних напрямів використання.

Conclusions

The Yuriev Plant Production Institute of NAAS was elaborately studying grain quality indicators of over 1,200 winter bread wheat cultivars and breeding lines tested in the competitive trials in 2008–2024 and established their year-to-year variability depending on weather conditions.

To summarize the obtained multi-year data, we used the year-standardized values and, based on these values, identified sources of high test weight as well as of high and low kernel vitreousness for the breeding of hard and soft cultivars, respectively, sources of high protein and gluten contents, high gluten quality, high rheological properties, and excellent baking qualities.

Among the cultivars, cv. 'Kharus', 'Astet', 'Vasylyna', 'Fermerka', 'Patriotka', and 'Maliiovanka' were distinguished by high dough resilience, flour strength and dough elasticity index, while cv. 'Malusha' and soft confectionery cv. 'Mazurok' – by low levels of these characteristics; in addition, cv. 'Mazurok' was characterized by low kernel vitreousness.

Cultivars 'Pryvablyva', 'Pryvitna', 'Prynada', 'Haiok', and 'Pronia' had high test weights. Cultivars 'Pryvablyva', 'Pryvitna', 'Harmonika', and 'Mazurok' were characterized by high grain protein content and flour gluten content, with the maximum values in cv. 'Prynada'.

The loaf volume and the overall baking score were high in cvs. 'Kharus', 'Astet', 'Vasylyna', 'Statna', 'Fermerka', 'Dyvo', 'Harmonika', 'Prynada', and 'Mavka IR'.

Relationships between the grain quality traits were evaluated; in particular, overall baking score was significantly correlated with gluten deformation index ($r=0.39$), dough resilience ($r=-0.37$), flour strength, and dough elasticity index ($r=0.53$).

To reduce data and summarize the results, cluster analysis and PCA were conducted. These analyses identified four clusters with a Euclidean distance of < 40% and four PCs that account for > 70% of the total of variability: cluster 1 includes baking qualities, cluster 2 – rheological properties, and two other clusters include protein and gluten contents, test weight and kernel vitreousness. Lines combining high values of different PCs have been selected for different areas of use.

References

1. Bushuk W., Rasper V.F. Wheat: Production, Properties and Quality. Springer Science & Business Media, 2012. 239 p.
2. Biel W., Kazimierska K., Bashutska U. Nutritional value of wheat, triticale, barley and oat grains. *Acta Sci. Pol. Zootech.* 2020. Vol. 19. P. 19–28. DOI: [10.21005/asp.2020.19.2.03](https://doi.org/10.21005/asp.2020.19.2.03)
3. Cacak-Pietrzak G. The use of wheat in various branches of the food industry. - Technological requirements. *Prz. Zboż. Młyn.* 2008. Vol. 52. P. 11–13. [in Polish]
4. Shewry P.R., Hey S.J. The contribution of wheat to human diet and health. *Food Energy Secur.* 2015. Vol. 4. P. 178–202. <https://doi.org/10.1002/fes3.64>
5. Tsenov, N.; Gubatov, T.; Yanchev, I. Evaluation of heritability and genetic advance of some quality parameters in common wheat (*Triticum aestivum* L.) under genotype by environmental interaction. *Agricultural Science and Technology.* 2022. No 2. P. 12–26. DOI: [10.15547/ast.2022.02.015](https://doi.org/10.15547/ast.2022.02.015)
6. Shamim S., Abdullan M., Shair H., Ahmad J., Farooq M., Ajmal S. Evaluation for impact of climate change on wheat (*Triticum aestivum* L.) grain quality and yield traits. *Biological and Clinical Sciences Research Journal.* 2024. Vol. 5(1). 842. <https://doi.org/10.54112/bcsrj.v2024i1.842>
7. Sobko M.G., Glupak Z.I., Kryuchko L.V., Butenko A.O. Formation of yield and grain quality of modern varieties of winter wheat of different geographical origin. *Agrarian innovations.* 2022. No 12. P. 60–69. <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2022.12.10>
8. Raut R.N., Talekar N., Ghule A.L., Pareek S., Afandi F., Abhimanyu G., Shinde S., Jadhav A. A. Genetic Profiling of Quality Traits for Industrial Applications and Agronomic Practices in Bread Wheat (*Triticum aestivum* L.). *Journal of Advances in Biology & Biotechnology.* 2025. Vol. 28, No 4. P. 420–434. <https://doi.org/10.9734/jabb/2025/v28i42202>
9. Payne P.I. Genetics of wheat storage proteins and the effect of allelic variation on bread-making quality. *Annual Review of Plant Physiology.* 1987. Vol. 38. P. 141–153 <https://doi.org/10.1146/annurev.pp.38.060187.001041>
10. Seling S. Bedeutung des Proteingehaltes von Backweizen aus Sicht der Wissenschaft. *Cereal Tech.* 2010. Vol. 64. P. 103–110.
11. Tannhaeuser S.M., Wieser H., Koehler P. Correlation of quality parameters with the baking performance of wheat flours. *Cereal Chem.* 2014. Vol. 91. P. 333–341. <https://doi.org/10.1094/CCHEM-09-13-0194-CESI>
12. Souza E.J., Sneller C., Guttieri M.J., Sturbaum A., Griffey C., Sorrells M., Ohm H., Van Sanford D. Basis for selecting soft wheat for end-use quality. *Crop Sci.* 2012. Vol. 52. P. 21–31. <https://doi.org/10.2135/cropsci2011.02.0090>
13. Sherman J.D., Nash D., Lanning S.P., Martin J.M., Blake N.K., Morris C.F., Talbert L.E. Genetics and end-use quality differences between modern and historical spring wheat. *Crop Sci.* 2014. Vol. 54. P. 1972–1980. <https://doi.org/10.2135/cropsci2013.11.0749>
14. Rozbicki J., Ceglinska A., Gozdowski D., Jakubczak M., Cacak-Pietrzak G., Madry W., Golba J., Piechocinski M., Sobczynski G., Studnicki M., Drzazga T. Influence of the cultivar, environment and management on the grain yield and bread-making quality in winter wheat. *J. Cereal Sci.* 2015. Vol. 61. P. 126–132. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2014.11.001>
15. Oury F.X., Godin C. Yield and grain protein concentration in bread wheat: how to use the negative relationship between the two characters to identify favourable genotypes?. *Euphytica.* 2007. Vol. 157. P. 45–57. <https://doi.org/10.1007/s10681-007-9395-5>
16. Geyer M., Mohler V., Hartl L. Genetics of the Inverse Relationship between Grain Yield and Grain Protein Content in Common Wheat. *Plants.* 2022. Vol. 11, No 16. 2146. <https://doi.org/10.3390/plants11162146>
17. Bhatta M., Regassa T., Rose D.J., Baenziger S., Eskridge P., Santra K.D., Poudel R. Genotype, environment, seeding rate, and top-dressed nitrogen effects on end-use quality of modern Nebraska winter wheat. *Journal of the Science of Food and Agriculture.* 2018. Vol. 98. P. 2830. <https://doi.org/10.1002/jsfa.8916>
18. Akın A., Karaduman Y., Özkaya B. Evaluation of the 100-year evolution of TZARI bread wheat variety development program in terms of bread-making and nutritional quality. *Journal of Cereal Science.* 2025. Vol. 123. 104169. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2025.104169>.
19. Laidig F., Piepho H.P., Rentel D., Drobek T., Meyer U., Huesken A. Breeding progress, environmental variation and correlation of winter wheat yield and quality traits in German official variety trials and on-farm during 1983–2014. *Theor. Appl. Genet.* 2017. Vol. 130. P. 223–245. <https://doi.org/10.1007/s00122-016-2810-3>
20. Kaya Y., Akcura M. Effects of genotype and environment on grain yield and quality traits in bread wheat (*T. aestivum* L.). *Food Sci Tech Camp.* 2014. Vol. 34, Issue 2. P. 386–393. <https://doi.org/10.1590/fst.2014.0041>
21. Bilgin O., Guzman C., Baser I., Crossa J., Korkut K.Z. Evaluation of grain yield and quality traits of bread wheat genotypes cultivated in Northwest Turkey. *Crop Sci.* 2015. Vol. 56. P. 73–84. <https://doi.org/10.2135/cropsci2015.03.0148>

22. Bouchetat F., Ghana R., Himour S., Bouaroudj S., Benfikh LA. Effect of genotype by environment interactions on quality parameters and grain yield of durum wheat. *Biodiversitas*. 2023. Vol. 24, No 10. P. 5565–5571. DOI: [10.13057/biodiv/d241038](https://doi.org/10.13057/biodiv/d241038)
23. Desheva G. Effects of genotype, environment and their interaction on quality characteristics of winter bread wheat. *Journal of Basic and Applied Research in Biomedicine*. 2016. Vol. 2, No 3. P. 363–372.
24. Denčić S., Mladeno N., Kobiljski B. Effects of genotype and environment on breadmaking quality in wheat. *International Journal of Plant Production*. 2011. Vol. 5, No 1. P. 71–82. DOI: <https://doi.org/10.22069/IJPP.2012.721>
25. Williams R.M., O'Brien L., Eagles H.A., Solah V.A., Jayasena V. The influences of genotype, environment, and genotype × environment interaction on wheat quality. *Aust. J. Agric. Res.* 2008. Vol. 59. P. 95–111. <https://doi.org/10.1071/AR07185>
26. Mikulíková D., Masár Š., Horváthová V., Kraic J. Stability of quality traits in winter wheat cultivars. *Czech Journal of Food Sciences*. 2009. Vol. 27, No 6. P. 403–417. DOI: 10.17221/96/2009-CJFS
27. Desheva G., Deshev M. Correlation and regression relationships between main grain quality characteristics in bread winter wheat. *Agriculturae Conspectus Scientificus*. 2022. Vol. 87, No 2. P. 135–143. URI: <https://hrcak.srce.hr/279278> [in Croatian]
28. Park S.H., Bean S.R., Chung O.K., Seib P.A., Levels of Protein and Protein Composition in Hard Winter Wheat Flours and the Relationship to Breadmaking. *Cereal Chemistry*. 2006. Vol. 83. P. 418–423. <https://doi.org/10.1094/CC-83-0418>
29. Mladenov N., Przulj N., Hristov N., Duric V., Milovanovic M., Cultivar-by-Environment Interactions for Wheat Quality Traits in Semiarid Conditions. *Cereal Chemistry*. 2001. Vol. 78. P. 363–367. <https://doi.org/10.1094/CCHEM.2001.78.3.363>
30. Mohammadi R., Armion M., Kahrizi D., Amri A. Efficiency of screening techniques for evaluating durum wheat genotypes under mild drought conditions. *Journal of Plant Production*. 2010. Vol. 4, No 1. P. 11–24.
31. Tkachyk SO, editor. Methodology for qualification examination of plant varieties. Methods of determination of plant production quality parameters. 3rd revised and extended edition. Vinnytsia: FOP Korzun D.Yu., 2017. 159 p. URL: https://www.sops.gov.ua/uploads/page/metodiki/MetodRosl_2023.pdf [in Ukrainian]
32. Leonov O.Yu., Panchenko I.A., Skliarevskiy K.M. et al. Methodical guidelines on evaluation of grain quality in breeding material. Kharkiv : Instytut roslynnytstva im. V.Ya. Yurieva, 2011. 69 p. [in Ukrainian]
33. Ermantraunt E.R., Hoptsi T.I., Kalenska S.M., Kryvoruchenko R.V., Turchynova N.P., Prysiazhniuk O.I. Methods of breeding experimentation (in crop production). Kharkiv : KhNAU im. VV Dokuchaieva, 2014. 229 p. [in Ukrainian]
34. Usova Z., Leonov O.Y., Kozub N.O., Sozinov I.O. Identification of winter common wheat accessions of Kharkiv breeding by protein markers. *Fakty Ekspyrymentalnoi Evolutsii Orhanizmiv*. 2021. Vol. 29. P. 52–57. DOI: <https://doi.org/10.7124/FEEEO.v29.1406> [in Ukrainian]
35. Leonov O.Yu., Sharypina Ya.Yu., Usova Z.V., Suvorova K.Yu., Sakhno T.V. Allelic composition of puroindolinium genes and confectionery properties of flour of soft winter wheat samples. *Plant Varieties Studying and Protection*. 2020. Vol. 16, No 2. P. 217–225. DOI: <https://doi.org/10.21498/2518-1017.16.2.2020.209258>
36. Derzhspozhyvstandart of Ukraine. Wheat. Specifications: State Standard of Ukraine (DSTU) 3768:2019. 2019. 19 p. [in Ukrainian]
37. Makarova O., Khvostenko K., Sokolova N., Fateeva A., Avetisian K. Pastry based on flour with specific characteristics. *Grain Products and Mixed Fodders*. 2022. Vol. 21, No 3. P. 21–28. <https://doi.org/10.15673/gpmf.v21i3.2230>

Надійшла до редакції 15.05.2025 р.
Received 15.05.2025

УДК: 633.3

А.О. Василенко^{1*}, В.І. Січкач², Л.Н. Шевченко¹, Н.О. Вус³, П.М. Солонечний¹,
С.І. Силенко⁴, Р.В. Соломонов⁵, В.І. Сердюк¹, А.В. Глянцев¹

Взаємодія генотип-середовище при екологічному випробуванні сортів гороху у системі АММІ та GGE biplot аналізів

¹Інститут рослинництва ім. В. Я. Юр'єва НААН України, Харків, Україна

²Селекціо-генетичний інститут, Одеса, Україна

³French National Institute for Agriculture, Food, and Environment (INRAE), Dijon, France

⁴Устимівська дослідна станція рослинництва Інституту рослинництва ім. В. Я. Юр'єва, Устимівка, Полтавська обл., Україна

⁵Одеський державний аграрний університет, Одеса, Україна

*E-mail: avase2015@gmail.com

UDC: 633.3

A.O. Vasylenko^{1*}, V.I. Sichkar², L.M. Shevchenko¹, N.O. Vus³, P.M. Solonechnyi¹,
S.I. Silenko⁴, R.V. Solomonov⁵, V.I. Serdyuk¹, A.V. Glyantsev¹

AMMI and GGE Biplot Analysis of Genotype-Environment Interaction in Environmental Trials of Pea Cultivars

¹Yuriev Plant Production Institute of NAAS of Ukraine, Kharkiv, Ukraine

²Plant Breeding and Genetic Institute, Odesa, Ukraine

³French National Institute for Agriculture, Food, and Environment (INRAE), Dijon, France

⁴Ustymivka Experimental Station of Plant Production, Yuriev Plant Production Institute

⁵Odessa State Agrarian University, Odesa, Ukraine

*E-mail: avase2015@gmail.com

Реферат: Представлені результати застосування систем АММІ та GGE biplot аналізів при для узагальнення даних екологічного випробування сортів гороху. Наведені результати розрахунків виявились не тотожними і свідчать про важливість кожного із цих алгоритмів. Так, розподіл зразків гороху за рангами (ASV) у системі АММІ моделі розмістив сорт Гайдук на першому місці, але за результатами GGE biplot аналізу найкращим («ідеальним генотипом») є сорт Оплот. Графічне представлення результатів із зазначенням мегасередовищ та сортами, що є найкращими у цих середовищах – додаткова інформація для корегування селекційних програм із створення адаптивних сортів гороху для різних зон вирощування. Окрема перевага GGE biplot полягає у можливості оцінки інформативності середовища випробування. В нашому дослідженні відрізнялись не тільки точки випробування – Одеська державна дослідна станція(Одеська обл.), Устимівська дослідна станція (Полтавська обл.) та Інститут рослинництва ім. В. Я. Юр'єва (Харківська обл.), а і кожен рік випробування у кожній точці дослідження. Таким чином, застосування систем АММІ та GGE biplot аналізів для обробки результатів екологічного випробування гороху не виключає один одного, а навпаки, надає більш розгорнуту і повну інформацію про результати дослідження.

Ключові слова: екологічне випробування, горох, АММІ, GGE biplot, сорти, урожайність

Abstract: Results of AMMI and GGE biplot analysis summarizing data of environmental trials of pea cultivars are presented. The results of these methods were not identical and indicate the importance of each of these algorithms. Thus, the distribution of pea accessions by ranks (ASV) in the AMMI model placed cv. 'Haiduk' in the first position, but according to the results of the GGE biplot analysis, cv. 'Oplot' was the best ("ideal") genotype. Graphical visualization of results marking megaenvironments and cultivars that are the best in these environments is additional information to adjust breeding programs and to create adaptable pea cultivars for different growing zones. A separate advantage of GGE biplot is that it is able to assess the informativeness of test environments. In our study, not only the trial locations (Odesa State Experimental Station [Odeska Oblast], Ustymivka Experimental Station [Poltavska Oblast] and Yuriev Plant Production

Institute [Kharkivska Oblast]) but also each year of trials at each location differed. Thus, AMMI and GGE biplot analysis, which process data of environmental trials of pea, do not exclude each other, but on the contrary, provide more detailed and complete information.

Key words: environmental trials, pea, AMMI, GGE biplot, cultivars, yield

Вступ

Проведення оцінок у різних екологічних умовах за математичною моделлю S.A. Eberhart та W.A. Russell [1] не дозволяє поруч з оцінкою матеріалу оцінити самі умови дослідження. Зручним інструментом для таких розрахунків є GGE biplot method та AMMI аналіз. Перевага GGE biplot полягає не тільки у наданні інформації про досліджувані генотипи, але й всебічній оцінці середовищ випробування [2, 3].

GGE biplot та AMMI аналіз є ефективними алгоритмами, які застосовують для оцінки результатів випробувань на багатьох культурах – сояшнику [4], гороху [5, 6], сої [7], ячменю [8] та ін. Так, проведене Bezugla та ін. випробування колекційних зразків квасолі у чотирьох різних точках вирощування в Україні: у Східній частині Лісостепу (Харківська обл.), Південній частині Лісостепу (Полтавська обл.); Поліссі (Чернігівська обл.); південному степу (Одеська обл.), дозволило за допомогою розрахунків у системі GGE biplot виділити умовний «ідеальний» генотип і оцінити інформативність точок випробування [9].

У роботі Das та ін. GGE biplot було застосовано для визначення не лише динаміки стійкості і визначення стійких до іржі (*Uromyces viciae-fabae*) генотипів гороху, а й для визначення ідеального місця для тестування. Попередньо у точках розповсюдження хвороби було відібрано з 250 зразків лише 23 перспективних генотипи, потім їх випробовували за обов'язкової інокуляції впродовж двох років поспіль у 6 точках Індії. Отримані результати підтвердили необхідність багаторічного тестування зразків саме у різних точках. Поряд з тим були виділені локації для проведення спрямованої селекції і проведено добір кращих генотипів, що дозволяє ефективно використовувати генетичні ресурси [10]. Osei та ін. застосували GGE biplot для визначення ефективності місцевих ризобій на вигні (*Vigna unguiculata* L. Walp) та арахісі (*Arachis hypogaea* L.) у різних географічних точках Гани. Було показано, що відповідь зразків на інокуляцію значно варіює залежно від місця дослідження, тобто значною виявилась взаємодія факторів середовища та інокуляції, і що саме середовище вносить 71 та 88% варіації для культур вигни та арахісу відповідно [11].

Introduction

S.A. Eberhart and W.A. Russell's mathematical model [1] used to assess data of trials in different environmental conditions allows for assessment of plant cultivars but not conditions themselves. GGE biplot analysis and AMMI are convenient tools for such assessments. The advantage of GGE biplot is not only in providing information about tested genotypes but also in comprehensive evaluation of test environments [2, 3].

GGE biplot analysis and AMMI are effective algorithms that are used to evaluate data of trials of many crops: sunflower [4], pea [5, 6], soybean [7], barley [8], etc. Thus, a trial conducted by Bezugla et al. on bean collection accessions grown in four different locations in Ukraine (eastern forest-steppe [Kharkivska Oblast], southern forest-steppe [Poltavska Oblast], woodlands [Chernihivska Oblast], and southern steppe [Odeska Oblast]) identified an "ideal" genotype and assessed the informativeness of the test locations due to application of GGE biplot analysis [9].

In a study by Das et al., GGE biplot analysis was used not only to determine resistance of pea genotypes to rust (*Uromyces viciae-fabae*) over time and to identify rust-resistant genotypes but also to select the ideal location for trials. Previously, only 23 promising genotypes were selected from 250 accessions at sites of disease spread; then they were tested upon mandatory inoculation for two consecutive years at 6 locations in India. The results confirmed the need for multi-year testing of accessions at different locations. At the same time, locations for targeted breeding and the best genotypes were selected, allowing for the efficient use of genetic resources [10]. Osei et al. used GGE biplot analysis to determine the effectiveness of local rhizobia on cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp) and peanut (*Arachis hypogaea* L.) at different geographical locations in Ghana. It was shown that the responses of accessions to inoculation varied significantly from location to location, that is, the environment-inoculation interaction was significant, and that the environments contributed 71% and 88% to the variations in cowpea and peanut, respectively [11].

Таким чином, проведення розрахунків у системі GGE biplot та AMMI аналіз надає важливу інформацію про взаємодію генотип-середовище, їх вплив та дозволяє проводити об'єктивну оцінку результатів екологічного випробування з різним дизайном. Зважаючи на те, що нами було проведено випробування сортів гороху у трьох локаціях із різним режимами опадів і температури, то цілком логічним було вперше в Україні застосувати цей сучасний алгоритм для аналізу отриманих даних.

Методика

Екологічне випробування проведено для семи сортів гороху селекції IP ім. В.Я. Юр'єва – Царевич, Оплот, Отаман, Меценат, Корвет, Гайдук, Малахіт. Всі сорти – безлисточкового типу, напівкарликові, середньостиглі, окрім сорту Царевич, який належить до середньоранніх.

Сорти гороху вирощували на Одеській державній дослідній станції (ОДДС, с. Хлібодарське Одеського району Одеської області; 46°29'05"пн. ш., 30°35'31"сх. д.), Устимівській дослідній станції рослинництва (УДСР Інституту рослинництва ім. В. Я. Юр'єва, Устимівка Кременчуцького району, Полтавської області, 49°18'21"пн. ш., 33°13'56" сх. д.) та на дослідному полі Інституту рослинництва (IP НААН) ім. В. Я. Юр'єва, що розташоване у с. Елітне Харківського району Харківської області (49°59'31"пн. ш., 36°26'55"сх. д.). За зонами розташування – ОДДС розташована у Південностеповій підзоні зони Степу, УДСР – у Центральній частині, а IP НААН – у Східній частині зони Лісостепу.

Польові досліди проведені відповідно до методики польового дослідження [12, 13] із застосуванням загальноприйнятої технології вирощування гороху. Норма висіву – 1,2 млн. схожих насінин/га, площа ділянок – 10 м².

Паралельно були проведені розрахунки у системі AMMI та GGE biplot аналізів [14].

Аналіз значення стабільності AMMI (ASV) проведено згідно з Purchase та ін. [15], де значення стабільності AMMI (ASV) не є кількісним показником стабільності, але воно кількісно визначає та розподіляє генотипи за рангом на основі їхньої стабільності врожайності. Генотипи з нижчими значеннями ASV вважаються більш стабільними, тоді як ті, що мають вищі значення ASV, вважаються менш стабільними [16]. ASV використовується для порівняння стабільності генотипів, причому нижчі значення вказують на більшу стабільність у різних середовищах. Він розраховується на основі моделі AMMI, яка

Thus, GGE biplot analysis and AMMI provide important information about genotype-environment interactions and their influence and allow for an objective assessment of data of environmental trials with different designs. Given that we conducted trials of pea cultivars at three locations with various precipitation and temperatures, it was quite logical for the first time in Ukraine to apply these modern algorithms to analyze our data.

Methods

Environmental trials were conducted on seven pea cultivars bred at the Yuriev Plant Production Institute: 'Tsarevych', 'Oplot', 'Ataman', 'Metsenat', 'Korvet', 'Haiduk', and 'Malakhit'. All cultivars are leafless, semi-dwarf, and medium-ripening, except for cv. 'Tsarevych', which is medium-early.

The pea cultivars were grown at Odessa State Experimental Station (OSES, Khlibodarske Village, Odeskyi District, Odeska Oblast; 46°29'05"N, 30°35'31"E), Ustymivka Experimental Station of Plant Production (UESPP of the Yuriev Plant Production Institute, Ustymivka, Kremenchukskyi District, Poltavska Oblast, 49°18'21"N, 33°13'56"E) and in the experimental fields of the Yuriev Plant Production Institute (YPPI NAAS) (Elitne village, Kharkivskyi District, Kharkivska Oblast, 49°59'31"N, 36°26'55"E). As to location zones, OSES is located in the south-steppe subzone of the steppe zone; UESPP – in the central part; and YPPI NAAS – in the eastern forest-steppe.

The field experiments were carried out in accordance with the field experimentation methodology [12, 13]. Pea was grown by traditional technology of pea cultivation. The seeding rate was 1.2 million germinable seeds/ha. The plot area was 10 m².

In parallel, calculations were performed by AMMI and GGE biplot analysis [14].

The AMMI stability value (ASV) was analyzed, as Purchase et al. described [15], where the ASV is not a quantitative indicator of stability, but it quantitatively determines and distributes genotypes by rank based on their yield stability. Genotypes with lower ASVs are considered more stable, while those with higher ASVs are considered less stable [16]. ASV is used to compare genotypes' stability, with lower values indicating greater stability across environments. It is calculated in an AMMI

поєднує ANOVA для коригування основних ефектів та аналіз головних компонентів (PCA) для оцінки мультиплікативних ефектів взаємодії генотипу з середовищем. ASV допомагає зрозуміти та візуалізувати складну взаємодію генотипу з середовищем, дозволяючи ідентифікувати стабільні генотипи в різних середовищах та оцінити стабільність врожайності сільськогосподарських культур. ASV можна оцінити за формулою [15].

$$ASV = \sqrt{\left[\frac{SSIPCA1}{SSIPCA2} (IPCA1 \text{ Score}) \right]^2 + (IPCA2 \text{ Score})^2}$$

де ASV – відстань від нуля на двовимірній діаграмі розсіювання балів IPCA1 (аналіз головних компонент взаємодії вісь 1) відносно балів IPCA2. Оскільки бал IPCA1 робить більший внесок у суму квадратів $G \times E$, його потрібно зважити на пропорційну різницю між балами IPCA1 та IPCA2, щоб компенсувати відносний внесок IPCA1 та IPCA2 у загальну суму квадратів $G \times E$. Потім для обчислення відстані від нуля використовується теорема Піфагора [17].

Аналіз індексу селекції генотипу (GSI) розраховувався за такою формулою [18]:

$$GSI = RASV + RY,$$

де RASV – це ранг стабільності AMMI, а RY – ранг середньої врожайності генотипів. У програмах селекції рослин використовуються два типи індексів стабільності. Перший індекс – GSI, де низьке значення GSI вказує на бажані генотипи з високим середнім значенням генотипу та стабільністю. Другий індекс – ASV, де менший бал ASV вказує на стабільніший генотип у різних середовищах [12]. Бал IPCA – це ще один параметр, який використовується для визначення адаптивності генотипу до певних середовищ. Більший бал IPCA (негативний або позитивний) вказує на більш специфічну адаптивність генотипу до певних середовищ [20]; тоді як менший бал IPCA (близький до нуля) вказує на низьку специфічність та стабільніший генотип у різних середовищах.

Для зручності ми надали кожному року і точці випробування відповідні шифри. Так, випробування у IP НААН у 2018 році – X18, у 2020 році – X20. Таким же чином для інших точок випробування: для УДС у 2018 році – Ust18 і у 2020 році – Ust 20., для ОДДС – O18 і O20 відповідно до років випробування.

model, which combines ANOVA to adjust for major effects and principal component analysis (PCA) to estimate multiplicative effects of genotype-by-environment interactions. ASV helps to understand and visualize complex genotype-environment interactions, enabling the identification of stable genotypes across environments and evaluation of crop yield stability. ASV is calculated by the following formula [15].

$$ASV = \sqrt{\left[\frac{SSIPCA1}{SSIPCA2} (IPCA1 \text{ Score}) \right]^2 + (IPCA2 \text{ Score})^2}$$

where ASV – distance from zero on a two-dimensional scatter plot of IPCA1 scores (principal component analysis of interactions, axis 1) relative to IPCA2 scores. Since the IPCA1 score contributes more to the sum of squares $G \times E$, it needs to be weighted by the proportional difference between the IPCA1 and IPCA2 scores to compensate for the relative contributions of IPCA1 and IPCA2 to the total sum of squares $G \times E$. The Pythagorean Theorem is then used to calculate the distance from zero [17].

The Genotype Selection Index (GSI) was calculated using the following formula [18]:

$$GSI = RASV + RY,$$

where RASV – AMMI stability rank and RY – mean yield rank. Two types of stability indices are used in plant breeding. The first index is the GSI, where low GSI values indicate desirable genotypes with high mean performance and stability. The second index is the ASV, where lower ASVs mean more stable genotypes across environments [12]. The IPCA score is another parameter used to determine the adaptability of a genotype to specific environments. A higher IPCA score (negative or positive) indicates a more specific adaptability of a genotype to specific environments [20]; whereas a lower IPCA score (close to zero) indicates a low specificity and a higher stability of a genotype across environments.

For convenience, we assigned each year and trial site a corresponding code. For example, the trial at YPPI NAAS in 2018 was coded as Kh18, in 2020 – as Kh20. Similarly, for other test sites: UESPP in 2018 and 2020 – Ust18 and Ust 20, respectively; OSES – O18 and O20.

Результати та обговорення

На території розташування Одеської державної дослідної станції впродовж періоду вегетації гороху 2018 та 2020 рр. опади були короткочасним і вкрай неефективними, тому рослини гороху із початку вегетаційного періоду відчували значний дефіцит вологи.

На території розташування УДС впродовж років досліджень умови для росту і розвитку рослин гороху були сприятливими – достатня кількість вологи і помірні температури повітря із нетривалими періодами з підвищеними температурами дозволили рослинам реалізувати свій генетичний потенціал і сформувані урожайність на задовільному рівні, що дало змогу об'єктивно оцінити дослідні зразки.

Гідротермічний режим вегетаційного періоду гороху 2018 та 2020 рр. в умовах Харківської області не був ні оптимальним, ні сприятливим. Рослини зазнавали значного стресу через високу денну температуру повітря. Також негативний вплив мала і відсутність достатньої кількості опадів.

В нашому дослідженні, за результатами розрахунків у системі АММІ моделі за рангом RY найкращими були сорти Гайдук (G5) та Оплот (G2) (табл. 1).

За індексом стабільності АММІ (ASV) найкращими були сорти Царевич (G1) та Гайдук (G5) із показником ASV 1 та 2 відповідно.

За сумою рангів GSI найкращим, як і у попередніх розрахунках, був сорт Гайдук. Сорти Царевич і Оплот посіли нижчі ранги, при цьому слід зауважити, що сорт Царевич, на відміну від сортів Оплот та Гайдук, є середньораннім сортом.

У нашому дослідженні, залежно від точок випробування, базові компоненти IPCA 1 (вісь першого головного компонента) та IPCA 2 (вісь другого головного компонента) разом дають від 88,93 до 89,54% загальної мінливості результатів.

Графічна візуалізація результатів GGE biplot на рис. 1 представлена у вигляді багатокутника, що поділений векторами на сектори, і концентричних або овальних фігур які розподіляють і генотипи, і середовища по принципу «хто де переміг» (which-won-where). Таким чином, програма проводить візуалізацію умов випробування і отриманих у цих умовах даних про урожайність. І якщо генотип показав високий рівень урожайності у більшості середовищ, то і, відповідно, від буде «переможцем». Так, на рис. 1 для середовища X18 та X20 (мегасередовище) найкращим був G 5 – сорт Гайдук.

Results and Discussion

On the OSES territory, rains were short and extremely ineffective during the pea growing periods in 2018 and 2020; so pea plants experienced a significant water deficit from the beginning of their vegetation.

In the years of research on the UESPP territory, the conditions for the growth and development of pea plants were favourable: sufficient wetting and moderate air temperatures with short periods of elevated temperatures allowed the plants to fulfil their genetic potentials and give satisfactory yields; hence, we could objectively evaluate the tested accessions.

In the Kharkivska Oblast, the hydrothermal regimen during the pea growing periods in 2018 and 2020 was neither optimal nor favorable. Plants were considerably stressed by high daytime air temperatures. Insufficient precipitation also had a negative impact.

In our study, according to the calculations in the AMMI model, the best cultivars by RY were 'Haiduk' (G5) and 'Oplot' (G2) (Table 1).

According to the ASV, the best cultivars were 'Tsarevych' (G1) and 'Haiduk' (G5) with RASV of 1 and 2, respectively.

According to the sum of GSI ranks, cv. 'Haiduk' turned out to be the best one, as in previous calculations. Cultivars 'Tsarevych' and 'Oplot' took lower ranks; here, it should be noted that cv. 'Tsarevych', unlike cvs. 'Oplot' and 'Haiduk', is medium-early.

In our study, depending on the test locations, the First Interaction Principal Component (IPCA 1; the axis of principal component 1) and the Second Interaction Principal Component (IPCA 2; the axis of principal component 2) together account for 88.93% to 89.54% of the total variability of the results.

The graphical visualization of the GGE biplot results in Fig. 1 is presented as a polygon, which is divided by vectors into sectors, and concentric or oval shapes, which distribute both genotypes and environments according to the "which-won-where" principle. Thus, the program visualizes the test conditions and yields harvested in these conditions. If a genotype yielded a lot in most environments, it will be the "winner". So, in Fig. 1, cv. 'Haiduk' (G5) was the best genotype for the environments Kh18 and Kh20 (megaenvironment).

Таблиця 1. Розподіл зразків гороху по рангах у системі АММІ моделі, (точки випробування IP НААН–ОДДС–УДС), 2018, 2020 рр.

Table 1. Distribution of the pea accessions by ranks in the AMMI model, (test sites: YPPI NAAS–OSES–UESPP), 2018, 2020.

Зразок / Accession		Середня урожайність по досліді / Mean yield		Головні компоненти взаємодії / Principal components		Індекс стабільності АММІ (ASV) / AMMI Stability Value (ASV)		Індекс селекції генотипу (GSI) / Genotype Selection Index (GSI)
Код / Code	Назва / Name	т/га / t/ha	Ранг (RY) / Rank (RY)	Вісь 1 (ІРСА1) / Axis 1 (ІРСА1)	Вісь 2 (ІРСА2) / Axis 2 (ІРСА2)	Показник / Value	Ранг (RASV) / Rank (RASV)	
G1	Оплот / Oplot	2,21	2	-0,36400	0,45045	0,807	5	7
G2	Царевич / Tsarevych	2,08	4	0,08646	-0,19922	0,252	1	5
G3	Отаман / Otaman	1,93	5	-0,13614	-0,45202	0,515	3	8
G4	Меценат / Mesenat	2,11	3	-0,59772	-0,11116	1,109	7	10
G5	Гайдук / Haiduk	2,23	1	0,07936	0,24918	0,287	2	3
G6	Малахит / Malakhit	1,88	7	0,54601	0,05753	1,008	6	13
G7	Корвет / Korvet	1,92	6	0,38602	0,00524	0,712	4	10

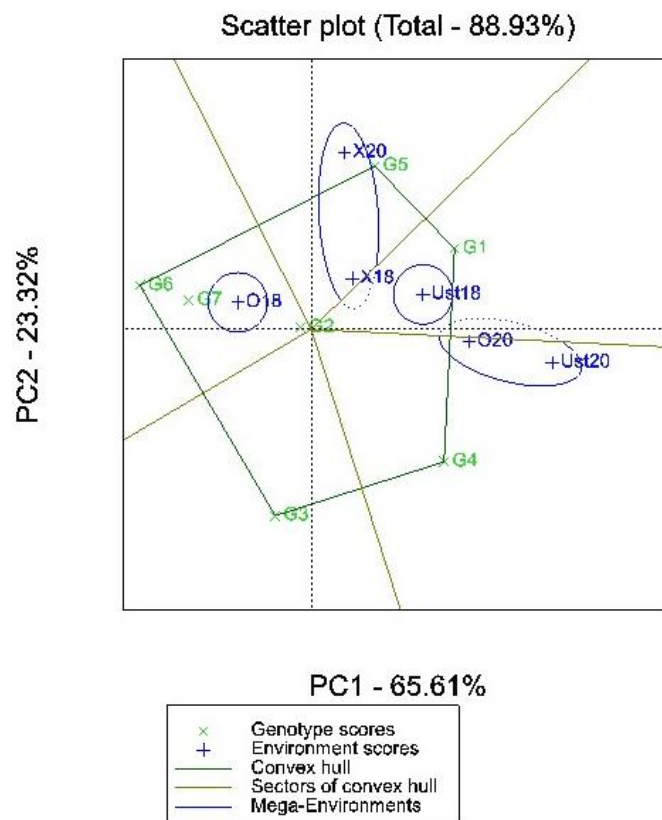


Рис. 1. GGEbiplot: «хто де переміг» (which-won-where), IP НААН–ОДДС–УДС
Fig. 1. The “which-won-where” view of the GGE biplot, YPPI NAAS–OSES–UESPP

Середовища O18 та Ust 20 сформували окреме мегасередовище без явного лідера. Тобто такий підхід виділяє найкращий генотипи для кожного мегасередовища. Полігональний вигляд дводіаграми GGE, що розділяє середовища для рекомендації відповідних генотипів для різних мегасередовищ, узгоджується з кількома дослідженнями для гороху (*Pisum sativum* L.) [21, 22, 23, 24] та інших представників родини бобових *Cajanus cajan* (L.) Millspaugh [25], *Lathyrus sativus* [26] та *Vicia faba* L. [27]. Генотипи, виявлені в таких дослідженнях, є перспективними для включення у складні стратегії селекції, спрямовані на оптимізацію стабільності взаємодії генотипу з середовищем та покращення стабільності врожайності в різних умовах навколишнього середовища [28].

Окрім урахування взаємодії генотип-середовище ще однією перевагою GGE biplot є надання характеристики середовищ досліджень або випробувань. Так, маркери середовища X20 та O20 (рис. 2) є довговекторними, але кут нахилу до вісі абсцис досить великий, що вказує на те, що у таких умовах краще проводити добори на стабільність. Mullualem та ін. [17] також зазначають, що середовища з довгими векторами мають сильнішу здатність диференціювати генотипи порівняно з середовищами з короткими векторами, такої ж думки і Yan і співавт. [29, 30]. Середовище з малим кутом до середньої осі середовища (АЕА) вважається більш репрезентативним порівняно з іншими тестовими середовищами [31].

Так, 2018 рік в умовах ІР НААН був доволі сприятливим, що відобразилось на загальній продуктивності, а 2018 рік в умовах ОДДС виявився вкрай посушливим і спекотним. Середовище X18 має невелику довжину вектору, тобто його край наближений до початку вісі координат, що характеризує його як середовище із низькою інформативністю для диференціації зразків, тобто відгук зразків гороху на умови цього року, скоріше за все, є односпрямованим. Найкращим розподільним середовищем для нашого дослідження був Us18, його вектор має невеликий кут, достатню довжину та достатню наближеність до АЕС – середньої координат середовища (рис. 3). Тобто, роки досліджень за гідротермічним режимом у точках випробування були дійсно різноманітними для отримання об'єктивної оцінки, як потенціалу продуктивності, так і адаптивних властивостей зразків гороху.

The environments O18 and Ust20 formed a separate megaenvironment without a clear leader. That is, this approach highlights the best genotypes for each megaenvironment. The polygonal view of the GGE biplot, which separates environments to recommend appropriate genotypes for different megaenvironments, is consistent with several studies on pea (*Pisum sativum* L.) [21, 22, 23, 24] and other legumes (*Cajanus cajan* (L.) Millspaugh [25], *Lathyrus sativus* [26] and *Vicia faba* L. [27]). Genotypes identified in such studies are promising for inclusion in complex breeding strategies aimed at optimizing the stability of genotype-environment interactions and improving yield stability under different environmental conditions [28].

In addition to taking into account genotype-environment interactions, another advantage of GGE biplot analysis is the characterization of research locations or test environments. Thus, the markers of the environments Kh20 and O20 (Fig. 2) are long-vector, but their angles of inclination to the abscissa axis are quite large, indicating that it is better to select for stability in such conditions. Mullualem et al. [17] also noted that environments with longer vectors showed a stronger ability to differentiate genotypes compared to environments with shorter vectors, and Yan et al. [29, 30] shared the same opinion. Environments with smaller angles to the average environment axis (AEA) are considered more representative compared to other test environments [31].

Thus, 2018 at YPPI NAAS was quite favorable, which was reflected in the overall productivity, and 2018 at OSES turned out to be extremely dry and hot. The environment Kh18 has a short vector and its edge is close to the origin of coordinates, which characterizes it as an environment with low informativeness for the differentiation of accessions, that is, the responses of pea accessions to the conditions of this year are most likely unidirectional. The best differentiating environment in our study was Ust18, as its vector has a small angle, is sufficiently long and close to the average environment coordinate (AEC) (Fig. 3). Indeed, the study years were characterized by diverse hydrothermal regimes at the test sites, enabling us to objectively assess both the performance potentials and adaptability of the pea accessions.

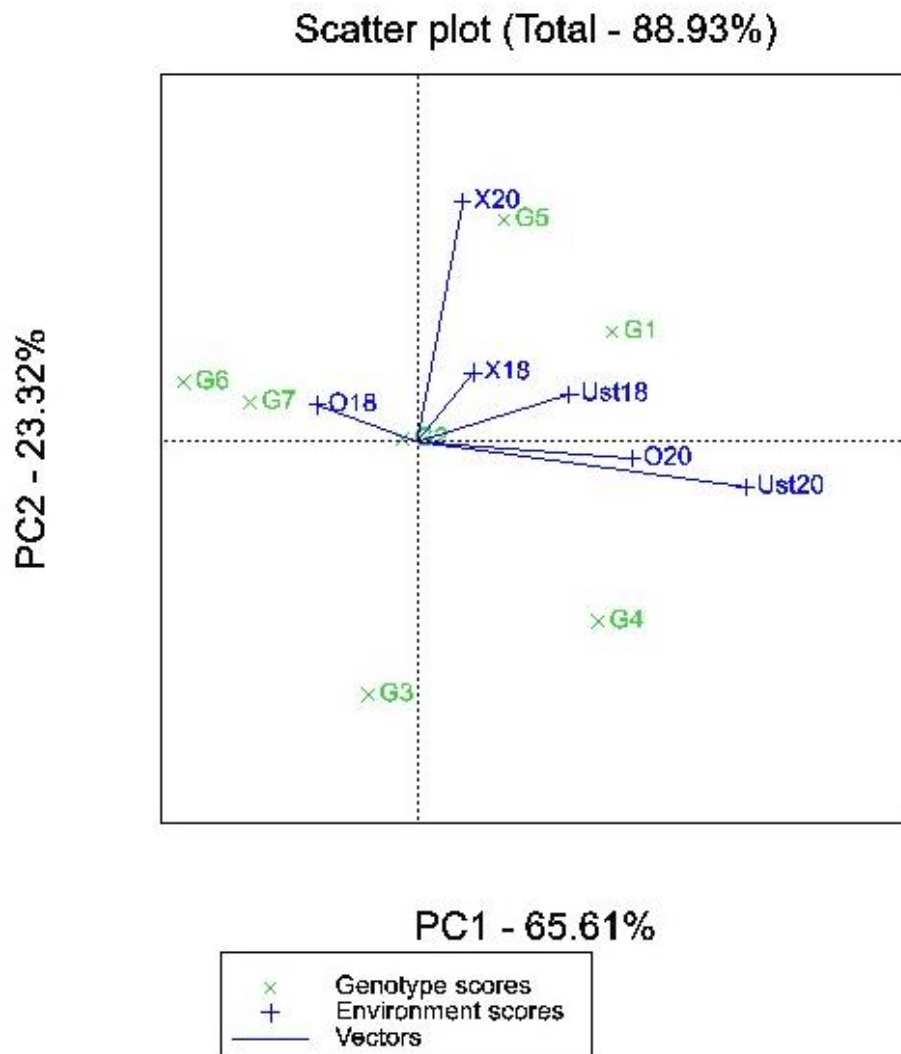


Рис. 2. GGE biplot: інформативність середовищ випробування, IP НААН-ОДДС-УДС
Fig. 2. GGE biplot: informativeness of the test environments, YPPI NAAS-OSSES-UESPP

Таким чином, умови точок випробування у нашому дослідженні і умови років випробування впродовж вегетації гороху значно відрізнялись. Це дозволяє не тільки оцінити вже створені сорти, а й побачити перспективу існуючих селекційних програм і провести їх коригування.

Ранжування генотипів відносно «ідеального», що у системі GGEbiplot являє собою центр системи центричних кіл (рис. 3), показує, що на відміну від розрахунків АММІ, де найкращим був сорт Гайдук, найбільш наближеним до «ідеального» на рис. 3 є тільки G1 – сорт Оплот. В той же час, генотипи, що потрапили за вертикальну вісь, не показали ні значного потенціалу продуктивності, ні високої стабільності у нашому дослідженні.

Thus, the conditions at the test locations in our study and the conditions of the test years during the pea growing periods differed significantly. This allowed us not only to evaluate the existing cultivars but also to see the prospects of current breeding programs and make their adjustments.

Ranking of genotypes relative to the “ideal” one, which is in the center of the centric circles in the GGEbiplot (Fig. 3), shows that unlike AMMI calculations, where cv. ‘Haiduk’ was the best genotype, only G1 (cv. ‘Oplot’) was positioned closest to the “ideal” genotype in Fig. 3. At the same time, the genotypes that fell behind the vertical axis showed neither significant performance potential nor high stability in our study.

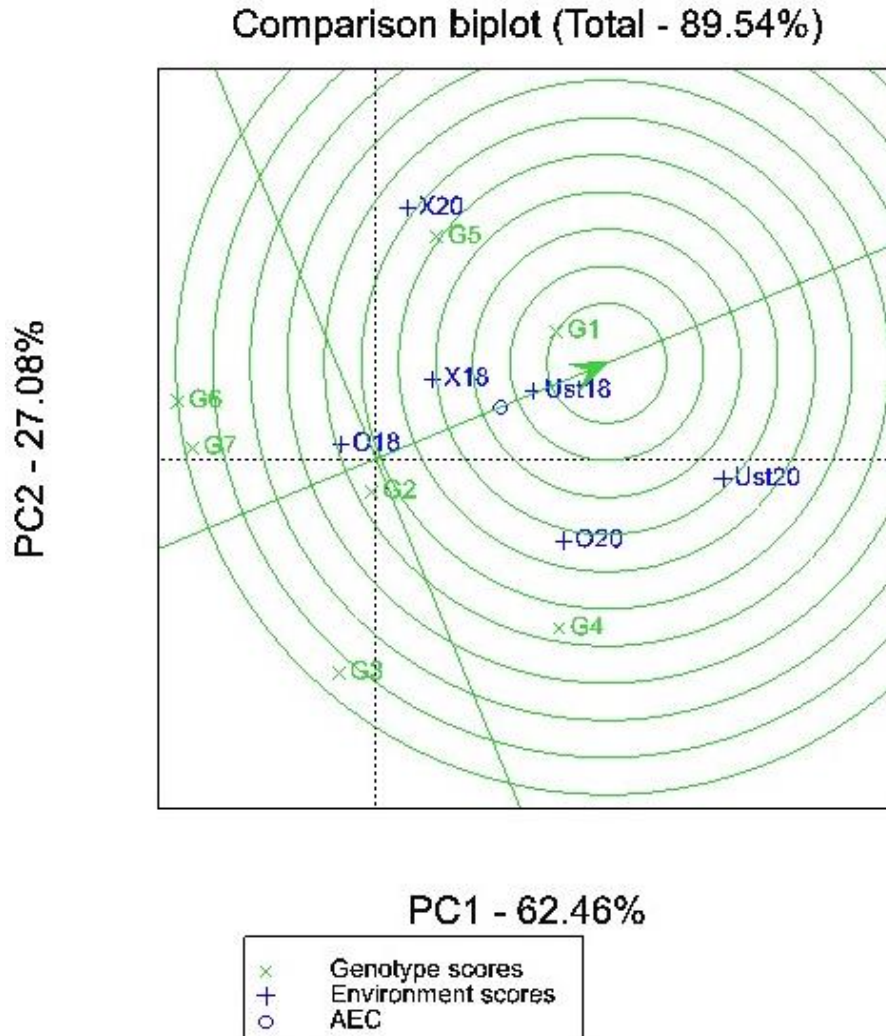


Рис. 3. GGE biplot: стабільність і урожайність зразків відносно «ідеального» генотипу, ІР НААН-ОДДС-УДС
Fig. 3. GGE biplot: yield amount and stability of the accessions relative to the “ideal” genotype, YPPI NAAS-OSSES-UESPP

На рис. 4 представлені проєкції генотипів залежно від середнього значення урожайності і виявленої стабільності.

Напрямок стрілки показує її додатний кінець і, відповідно, розподіляє генотипи за продуктивністю – ближче до стрілки більш продуктивний, а найвіддаленіший – найменш продуктивний генотип. Вертикальна вісь показує стабільність і зразки, які мають високу варіабельність показника урожайності, мають довгі вектори.

Генотип G1 (Оплот) найкращий і за рівнем урожайності, і за рівнем стабільності у випробуванні ІР НААН-ОДДС-УДС (рис. 4), а генотипи G4 (Меценат) та G5 (Гайдук), хоча і мали високий рівень урожайності, але відрізнялись нестабільним її проявом.

Fig. 4 presents projections of genotypes depending on the mean yield and stability.

The direction of the arrow shows its positive end and, accordingly, distributes genotypes by performance: more productive genotypes are closer to the arrow, while the least productive genotype is the furthest from the arrow. The vertical axis shows stability and accessions with highly variable yields have long vectors.

Genotype G1 (cv. ‘Oplot’) was the best in terms of both yield and stability in the trials at YPPI NAAS, OSSES and UESPP (Fig. 4); genotypes G4 (cv. ‘Metsenat’) and G5 (cv. ‘Haiduk’), although they produced high but unstable yields.

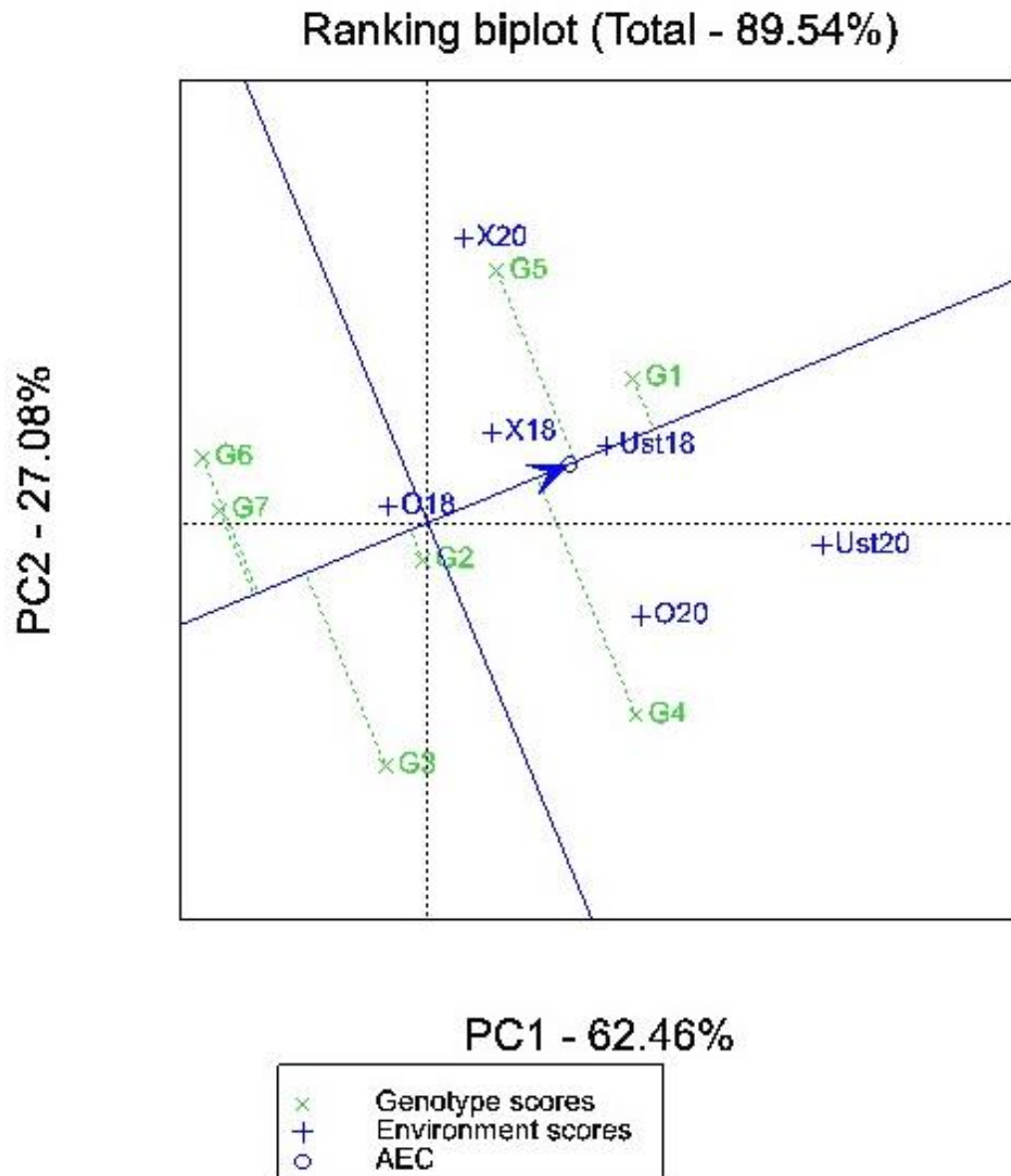


Рис. 4. GGEbiplot: середня урожайність та стабільність, IP НААН-ОДДС-УДС
Fig. 4. GGEbiplot: mean yield and stability, YPPI NAAS-OSES-UESPP

На рис. 5 представлений графік GGEbiplot: «ідеальне середовище». Така ж система концентричних кіл із центром у вигляді стрілки розподіляє середовища випробування за відношенням до «ідеального», як і на рис. 5, де представлено розподіл сортів і ліній гороху щодо «ідеального генотипу».

Точки Ust18 та Ust20 на рис. 5 для розрахунку для умов випробування IP НААН-ОДДС-УДС виявились «ідеальним середовищем» порівняно з точками O18, O20, X18 та X20, які розташовані далеко від центру.

The GGEbiplot in Fig. 5 shows the “ideal environment”. The concentric circles with an arrow in the center distribute the test environments in relation to the “ideal” one, like in Fig. 3, where the pea cultivars and lines are distributed in relation to the “ideal genotype”.

The environments Ust18 and Ust20 in Fig. 5 turned out to be an “ideal environment” compared to the environments O18, O20, Kh18, and Kh20, which are located far from the center.

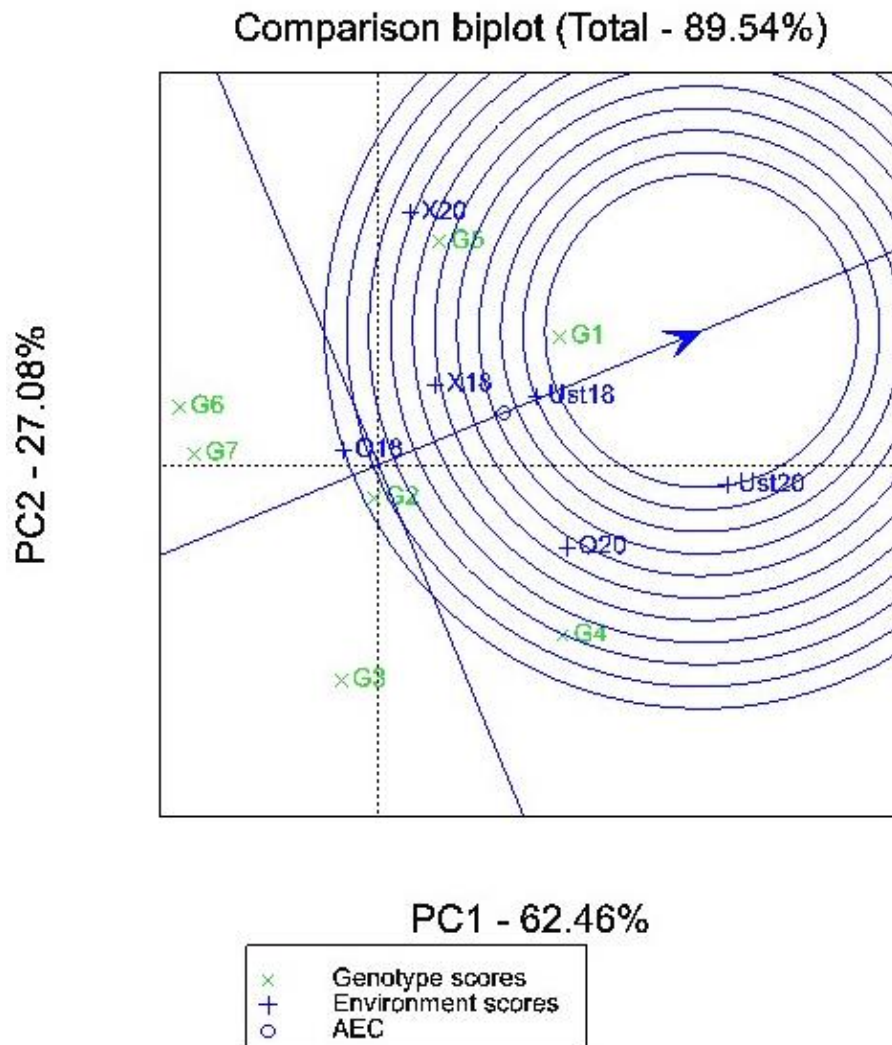


Рис. 5. GGE biplot: «ідеальне середовище», IP НААН-ОДДС-УДС
Fig. 5. GGE biplot: “ideal environment”, YPPI NAAS-OSSES-UESPP

Якщо подивитись на рівень урожайності зразків гороху, що представлений на графіках (рис. 1, 2) та у табл. 1, то можна зробити висновок, що «ідеальне середовище», то не середовище із найбільшим рівнем урожайності, а, скоріш за все, те середовище, де зразки показують односпрямовану реакцію на умови вирощування із різницею у рівні прояву показника «урожайність» між собою, що зумовлена генетичним наповненням сорту. Це наочно демонструє рис. 6 – GGEbiplot: інформативність середовища.

На цих рисунках розподіл за інформативністю представлений таким же чином, як і на рис. 4 (рівень середньої урожайності і стабільності для зразків).

Considering the pea yields in the graphs (Fig. 1, 2) and Table 1, we can conclude that the “ideal environment” is not the environment with the highest yield, but rather the environment where cultivars respond unidirectionally to growing conditions, with inter-cultivar differences in yield determined by genetic features of cultivars. This is clearly illustrated by Fig. 6.

In these figures, the distribution of the environments by informativeness is visualized in the same way as in Fig. 4 (mean yield and stability for the accessions).

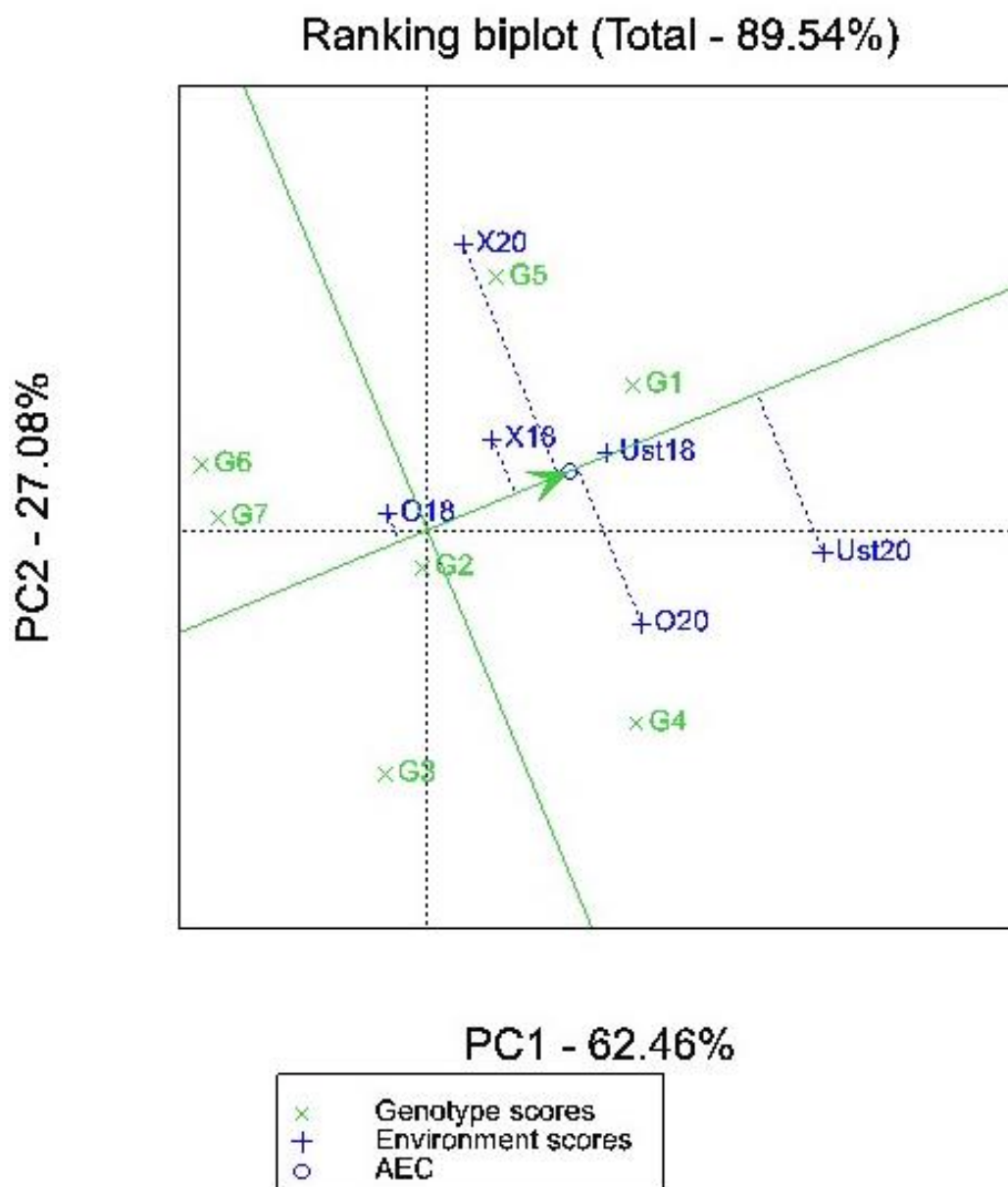


Рис. 6. GGEbiplot: інформативність середовища, IP НААН–ОДДС–УДС
Fig. 6. GGEbiplot: informativeness of the environments, YPPI NAAS-OSSES-UESPP

Так, середовище X18 було більш інформативним, ніж X20 та O20 – довгий вектор до вісі АЕС показує різноспрямованість у цих точках (роках) реакції зразків, що проходили випробування. На рис. 6 точка Ust18 розташована безпосередньо на осі АЕС, а точка Ust20 розташована на відстані і має недовгий вектор. Найдовший вектор на цьому рисунку у точці X20, на відміну від точки X18, у якої вектор зовсім короткий. Тобто у розрахунку для IP НААН–ОДДС–УДС найбільш інформативні точки Ust18 та X18.

The environment Kh18 was found to be more informative than Kh20 and O20: a long vector to the AEC shows the multidirectionality of the accessions' responses at these sites (years). In Fig. 6, the environment Ust18 is located right on the AEC, and the environment Ust20 is located at a distance and has a short vector. The environment Kh20 has the longest vector in this figure, unlike the environment Kh18 with a very short vector. That is, Ust18 and Kh18 are the most informative environments in the YPPI NAAS-OSSES-UESPP trials.

Висновки

З огляду на отримані результати, можна дійти висновку, що створені в Інституті рослинництва сорти гороху добре реалізують свій потенціал в широкому діапазоні зон вирощування, що свідчить про ефективність селекційного процесу.

Таким чином, екологічне випробування і досі є дієвим і інформативним дослідженням. А проведений аналіз отриманих результатів в системі алгоритмів АММІ та GGE biplot аналізів надає вичерпну інформацію про всі елементи екологічного випробування, як середовища (їх інформативність і відмінність), так і генотипи (рівень урожайності і його стабільність), а також їх взаємодію.

Conclusions

Having analyzed the results, we can conclude that the pea cultivars bred at the YPPI NAAS fulfil their potentials well in a wide range of growing zones, indicating the effectiveness of breeding algorithms.

Thus, environmental trials are still an effective and informative approach and analysis of data by AMMI and GGE biplot methods provides comprehensive information about all elements of an environmental trial, both environments (their informativeness, i.e. differentiating capacity, and differences) and genotypes (yield amount and stability), and genotype-environment interactions.

References

1. Eberhart S. A., Russell W. A. Stability parameters for comparing varieties. *Crop Sci.* 1966. Vol. 6(1). P. 36–40.
2. Yan W., Pageau D., Frégeau-Reid J., Durand J. Assessing the representativeness and repeatability of test locations for genotype evaluation. *Crop Sci.* 2011. Vol. 51(4). P. 1603–1610. [10.2135/cropsci2011.01.0016](https://doi.org/10.2135/cropsci2011.01.0016)
3. Yang X., Soliman A. A., Hu C., Yang F., Lv M., Yu H., Wang Y., Zheng A., Dai Z., Li Q., Yang Y., Yang J., Zhang Y., Niu W., Wang L., He Y. Yield Adaptability and Stability in Field Pea Genotypes Using AMMI, GGE, and GYT Biplot Analyses. *Agriculture.* 2023. Vol. 13. 1962. <https://doi.org/10.3390/agriculture13101962>
4. Ansarifard I., Mostafavi K., Khosroshahli M., Bihanta Reza M., Ramshini H. A study on genotype–environment interaction based on GGE biplot graphical method in sunflower genotypes (*Helianthus annuus* L.). *Food Sci. Nutr.* 2020. 00:1–8. <https://doi.org/10.1002/fsn3.1610>.
5. Yihunie T. A., Gesesse C. A. GGE Biplot Analysis of Genotype by Environment Interaction in Field Pea (*Pisum sativum* L.) Genotypes in Northwestern Ethiopia. *J. Crop Sci. Biotechnol.* 2018. Vol. 21. P. 67–74. <https://doi.org/10.1007/s12892-017-0099-0>
6. Girgel U., Cokkizgin A. GGE BILOT analysis in wild (*Pisum sativum* L. subsp. *elatius* and subsp. *sativum*) and cultivated pea (*Pisum sativum* L.) genotypes in Northern and Southern Turkey. *Applied Ecology and Environmental Research.* 2020. Vol. 18(1). P. 1237–1251. https://doi.org/10.15666/aeer/1801_12371251
7. Moraes Cunha Gonçalves G., Ferreira-Gomes R. L., Almeida Lopes Â. C., Melo Jorge Vieira P. F. Adaptability and yield stability of soybean genotypes by REML/BLUP and GGE Biplot. *Crop Breeding and Applied Biotechnology.* 2020. Vol. 20(2). e282920217. <http://dx.doi.org/10.1590/1984-70332020v20n2a33>
8. Solonechnyi P. N. AMMI and GGE biplot analysis of genotype-environment interaction of spring barley lines. *Vavilovskiy Zhurnal Genetiki i Seleksii.* 2017. Vol. 21(6). P. 657–662. <https://doi.org/10.18699/VJ17.283> [in Russian]
9. Bezugla O. M., Kobzyeva L. N., Vus N. M., Solonechnyi P. M. Environmental trials of a model population of *Phaseolus vulgaris* L. in contrast climates. *Plant Breeding and Seed Production.* 2020. Vol. 118. P. 8–21. <https://doi.org/10.30835/2413-7510.2020.222257>
10. Das A., Parihar A. K., Saxena D., Singh D., Singha K. D., Kushwaha K. P. S., Chand R., Bal R. S., Chandra S., Gupta S. Deciphering genotype-by- environment interaction for targeting test environments and rust resistant genotypes in field pea (*Pisum sativum* L.). *Front. Plant Sci.* 2019. Vol. 10. 825. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00825>
11. Osei O, Abaidoo RC, Opoku A, Rouws JRC, Boddey RM, Ahiabor BDK, Rouws LFM. Native bradyrhizobium strains from Ghana can enhance grain yields of field-grown cowpea and groundnut. *Front. Agron.* 2020, 2:2. <https://doi.org/10.3389/fagro.2020.00002>.
12. Methodology of state variety trials of agricultural crops. K., 2000. Issue 1. 100 p. [in Ukrainian]
13. Methodology of state variety trials of agricultural crops. K., 2001. Issue 2. 68 p. [in Ukrainian]
14. GGE biplot. 2011. URL: www.ggebiplot.com

15. Purchase J. L., Hatting H., van Deventer C. S. Genotype \times environment interaction of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) in South Africa: II. Stability analysis of yield performance. *South African J. Plant Soil.* 2000. Vol. 17(3). P. 101–107. <https://doi.org/10.1080/02571862.2000.10634878>
16. Amelework A. B., Bairu M. W., Marx R., Laing M., Venter S. L. Genotype \times environment interaction and stability analysis of selected cassava cultivars in South Africa. *Plants.* 2023. Vol. 12(13). 2490. <https://doi.org/10.3390/plants12132490>
17. Mullualem D., Tsega A., Mengie T., Fentie D., Kassa Z., Fassil A., Wondaferew D., Gelaw T. A., Astatkie T. Genotype-by-environment interaction and stability analysis of grain yield of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes using AMMI and GGE biplot analyses, *Heliyon.* 2024. Vol. 10(12). e32918. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e32918>
18. Farshadfar E. Incorporation of AMMI stability value and grain yield in a single non-parametric index (GSI) in bread wheat Pakistan *J. Biol. Sci.* 2008. Vol. 11(14). P. 1791-1796. <https://doi.org/10.3923/pjbs.2008.1791.1796>
19. Pour-Aboughadareh A., Khalili M., Pocza P., Olivoto T. Stability indices to deciphering the genotype-by-environment interaction (GEI) effect: an applicable review for use in plant breeding programs *Plants.* 2022. Vol. 11 (3). 414. <https://doi.org/10.3390/plants11030414>
20. Goa Y., Mohammed H., Worku W., Urage E. Genotype by environment interaction and yield stability of cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) genotypes in moisture limited areas of Southern Ethiopia *Heliyon.* 2022. Vol. 8(3). e09013. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e09013>
21. Achenef G., Yilma G., Yimam K. Assessment of phenotypic stability and adaptability of elite field pea (*Pisum sativum* L) genotypes in Arsi zone. *Ethiopia J. Agric. Food Res.* 2024. Vol. 18(1). 101427. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2024.101427>
22. Daba S. D., Kiszonas A. M., McGee R. J. Selecting high-performing and stable pea genotypes in multi-environmental trial (MET): applying AMMI, GGE-biplot, and BLUP procedures. *Plants.* 2023. Vol. 12. 2343. <https://doi.org/10.3390/plants12122343>
23. Haile GA, Tesfaye D. Response of field pea (*Pisum sativum* L.) genotypes for grain yield in a multi-environment trial in Southeastern Ethiopia. *Heliyon.* 2024. Vol. 10(15). e35233. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e35233>
24. Kebede G. Y., Eritro T. A., Gutu D. T. Genotype \times environment interaction and stability analysis of advanced field pea (*Pisum sativum* L.) genotypes in Southeastern Ethiopia. *Ecol. Genet. Genom.* 2024. Vol. 33. 100302. <https://doi.org/10.1016/j.egg.2024.100302>
25. Rao P. J. M., Sandhyakishore N., Sandeep S., Neelima G., Rao P. M., Das D. M., Saritha A. Evaluation of performance and yield stability analysis based on AMMI and GGE-biplot in promising pigeonpea [*Cajanus cajan* (L.) Millspaugh] genotypes. *Legum Res.* 2022. Vol. 45(11). P. 1414–1420. <https://doi.org/10.18805/LR-4299>
26. Pourmohammad A., Vaezi B., Jozeyan A., Hassanpouraghdam M. B. GGE biplot analysis of genotype \times environment interaction and forage yield stability in grass pea (*Lathyrus sativus*) genotypes. *Genetika.* 2024. Vol. 56(1). P. 75–87. <https://doi.org/10.2298/GENSR2401075P>
27. Wondaferew D., Mullualem D., Bitewlgn W., Kassa Z. 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 Biol.* 2024. Vol. 24(1). 1108. <https://doi.org/10.1186/s12870-024-05829-4>
28. Sharma A., Yadav R., Sheoran R., Kumar P. Evaluation of genotype \times environment interactions for seed yield in field pea (*Pisum sativum* L.) genotypes using multivariate analysis model. *Euphytica* 2025, 221:58. <https://doi.org/10.1007/s10681-025-03507-6>
29. Yan W., Tinker N.A. Biplot analysis of multi-environment trial data: principles and applications *Can. J. Plant Sci.* 2006. Vol. 86(3). :P. 623-645. <https://doi.org/10.4141/P05-169>,
30. Yan W., Holland J. B. A heritability-adjusted GGE biplot for test environment evaluation. *Euphytica.* 2010. Vol. 171 (3). P. 355-369. <https://doi.org/10.1007/s10681-009-0030-5>
31. Frutos E., Galindo M. P., Leiva V. An interactive biplot implementation in R for modeling genotype-by-environment interaction *Stoch. Environ. Res. Risk Assess.* 2014. Vol. 28(7). P. 1629-1641. <https://doi.org/10.1007/s00477-013-0821-z>

Надійшла до редакції 20.05.2025 р.
Received 20.05.2025

УДК: 633.854.78:631.527.53(477.52)

Д.В. Чуйко^{1*}, В.В. Кириченко^{1,2}, В.В. Білик¹

Агробіологічна оцінка гібридів соняшника в умовах Східної України

¹Державний біотехнологічний університет, Харків, Україна

²Інститут рослинництва ім. В.Я. Юр'єва НААН України, Харків, Україна

*E-mail: chuiko93ua@gmail.com

UDC: 633.854.78:631.527.53(477.52)

D.V. Chuiko^{1*}, V.V. Kyrychenko^{1,2}, V.V. Bilyk¹

Agrobiological Evaluation of Sunflower Hybrids in Eastern Ukraine

¹State Biotechnological University, Kharkiv, Ukraine

²Yuriev Plant Production Institute of NAAS of Ukraine, Kharkiv, Ukraine

*E-mail: chuiko93ua@gmail.com

Реферат: Наведено результати агробіологічної оцінки 28 гібридів соняшника в умовах Лісостепової зони Східної України, придатних до поширення в Україні і внесених до Державного реєстру сортів рослин. Визначено рівень продуктивності, біометричних ознак та елементів структури врожаю гібридів різного генетичного походження. Польові дослідження проводили у 2023–2024 рр. на базі ННВЦ «Дослідне поле Докучаєвське» Державного біотехнологічного університету. Вивчено такі ознаки, як кількість листків, висота рослин, діаметр кошика, маса 1000 насінин, натура та продуктивність кошика. Умови вегетації 2023 та 2024 рр. відрізнялися значними кліматичними варіаціями, що дало можливість оцінити попередню адаптивність гібридів до стресових факторів. Установлено вірогідну кореляцію між основними елементами структури врожаю. Найвищу біологічну урожайність (до 3,7 т/га) сформували гібриди української селекції Блиск, Гусяр, Равелін, Кадет та Альдазор. Кластерний аналіз за господарськими ознаками дозволив виокремити три групи гібридів, що відрізнялися за рівнем урожайності та адаптивними властивостями. Отримані дані свідчать про доцільність використання кластеризації як інструменту комплексної оцінки гібридів соняшника для умов Східної України. Результати можуть бути використані у виробництві для оптимального підбору високопродуктивних гібридів соняшника для Лісостепової зони України.

Ключові слова: соняшник, гібрид, продуктивність, селекція, кластерний аналіз, господарські ознаки.

Abstract: Twenty-eight sunflower hybrids, which are suitable for dissemination in Ukraine and included in the State Register of Plant Varieties, were evaluated for agrobiological traits in the forest-steppe zone of Eastern Ukraine and the results are presented. The performance, biometric characteristics and yield components were determined in hybrids of different genetic origins. The field studies were conducted at the Educational, Scientific and Production center "Dokuchaievskoe Experimental Field" of the State Biotechnological University in 2023–2024. Such characteristics as the number of leaves, plant height, head diameter, thousand seed weight, test weight, and head productivity were determined. The climatic conditions of vegetation in 2023 and 2024 significantly varied, enabling us to assess the preliminary adaptability of the hybrids to stressors. There were significant correlations between major components of yield. The highest biological yield (up to 3.7 t/ha) was formed by Ukrainian hybrids 'Blysk', 'Husliar', 'Ravelin', 'Kadet', and 'Aldazor'. Cluster analysis by economic characteristics allowed us to identify three groups of hybrids that differed in yield and adaptability. The data obtained indicate the feasibility of clusterization as a tool for comprehensive evaluation of sunflower hybrids for the conditions of Eastern Ukraine. The results can be used in production to optimally select high-yielding sunflower hybrids for the forest-steppe zone of Ukraine.

Key words: sunflower, hybrid, performance, breeding, cluster analysis, economic characteristics.

Вступ

Соняшник (*Helianthus annuus* L.) – одна з головних продовольчих культур України, а соняшникова олія четверта за обсягом виробництва у світі (після пальмової, соєвої та ріпакової) [1–4]. Світові посівні площі під соняшником згідно з даними FAOSTAT за останні 60 років зросли більше ніж у 4,5 раза, від 6,7 млн. га у 1961 році до більше ніж 30,0 млн. га у 2024 році, а валові збори за вказаний період збільшилися з 6,8 млн. т. до 58,6 млн.т., що є наслідком активного розвитку селекції соняшника та впровадження нових технологій вирощування [5–7].

За даними Державної служби статистики України, у 2024 році посівні площі соняшнику в Україні становили 4,9 млн.га [8]. Забезпечення такої великої посівної площі потребує наявності якісного посівного матеріалу, а також гібридів та сортів соняшнику, придатних для вирощування у різних природно-кліматичних зонах України, таких, що мають підвищені показники адаптивності та урожайності. Станом на 2025 рік у Державному реєстрі сортів рослин, придатних для поширення в Україні, зареєстровано 1089 гібридів та 10 сортів-популяцій соняшнику однорічного [9].

Відкриття у ХХ столітті цитоплазматичної чоловічої стерильності у соняшника та ряду інших перехреснозапильних культур дозволило перевести сільське господарство з вирощування сортів-популяцій на гетерозиготні гібриди. Цей процес призвів до суттєвого підвищення урожайності, стійкості до хвороб і шкідників, покращення якості продукції та дав новий розвиток селекції соняшнику [6, 10, 11, 14]. Більшість його гібридів у світі – прості міжлінійні, меншу частку складають трилінійні [12, 13].

Метою роботи було вивчення колекції гібридів соняшнику, що внесені до Державного реєстру сортів рослин, придатних для поширення в Україні, за комплексом цінних господарських ознак в умовах Лісостепової зони Східної України. За результатами проведення польового, лабораторного та статистичного аналізу розроблено рекомендації з підбору кращих гібридів соняшнику для вирощування в умовах Лісостепової зони Харківської області.

Introduction

Sunflower (*Helianthus annuus* L.) is one of the main food crops of Ukraine, and sunflower oil ranks fourth in terms of global production (after palm, soybean and rapeseed oils) [1–4]. According to FAOSTAT, the world's sunflower acreage has experienced more than 4.5-fold increase over the past 60 years, from 6.7 million hectares in 1961 to 30.0 million hectares in 2024, and gross harvests have increased from 6.8 million tons to 58.6 million tons over the specified period, which is a consequence of the intensive development of sunflower breeding and the introduction of new growing technologies [5–7].

According to the State Statistics Service of Ukraine, in 2024, the sunflower-sown area in Ukraine amounted to 4.9 million hectares [8]. Such a large acreage requires that top-quality seeds be available. Sunflower hybrids and cultivars suitable for cultivation in different natural and climatic zones of Ukraine, with increased adaptability and yield, are also in demand. As of 2025, 1,089 hybrids and 10 cultivars-populations of common sunflower are registered in the State Register of Plant Varieties Suitable for Dissemination in Ukraine [9].

The discovery of cytoplasmic male sterility in sunflower and several other cross-pollinated crops in the 20th century allowed agriculture to switch from growing cultivars-populations to heterozygous hybrids. This considerably raised yield and resistance to diseases and pests, improved product quality, and prompted further development of sunflower breeding [6, 10, 11, 14]. Most of sunflower hybrids in the world are simple interline hybrids, while three-line ones make up a smaller proportion [12, 13].

Our purpose was to screen the assortment of sunflower hybrids included in the State Register of Plant Varieties Suitable for Dissemination in Ukraine for a set of valuable economic characteristics in the conditions of the forest-steppe zone of Eastern Ukraine. Based on the results of field surveys, laboratory tests and statistical analysis, recommendations were developed for the selection of the best sunflower hybrids for cultivation in the forest-steppe of the Kharkivska Oblast.

Методика

Польові дослідження проведені у 2023 та 2024 рр. на дослідному полі ННВЦ «Дослідне поле Докучаєвське» Державного біотехнологічного університету (географічні координати місця проведення – 49.903806, 36.446012).

Роботу виконували згідно зі стандартами Державного сортовипробування [15]. Сівбу проводили у другій декаді травня ручними саджалками, схема посіву 70×25 см, в трьох разовій повторності, попередник чорний пар. Розміщення дослідних ділянок систематичне [16]. Облікова ділянка становила 16,8 м². Додаткове підживлення на посівах не проводили. Для боротьби з бур'янами використовували суміш ґрунтових гербіцидів Дуал Голд (960 г/л S-метолахлор) та Гезагард (500 г/л прометрин) за два тижні до сівби, норма внесення 2,0 л/га.

Матеріалом слугували 28 гібридів соняшнику різного генетичного та географічного походження. Більш детальна характеристика досліджуваних гібридів наведена у табл. 1.

Погодні умови вегетаційного періоду 2023 року для соняшнику характеризувалися підвищеними температурами та достатніми показниками опадів. У травні середня добова температура становила 18,6°C (+2,4°C до норми середньої багаторічної), у червні – 23,0°C (+3,1°C), у липні – 25,4°C (+4,2°C), у серпні – 17,5°C (+2,3°C), у вересні – 17,5°C (+2,3°C). Опади розподілялися нерівномірно: травень – 32,0 мм (-11,7 мм до норми середньої багаторічної), червень – 32,0 мм (-33,7 мм), липень – 153,8 мм (+88,3 мм), вересень – 26,9 мм (-18,5 мм). Загальна річна кількість опадів перевищила норму на 18,9 мм.

У 2024 році погодні умови були нестабільними й критичними. Температура у травні була 16,5°C (+0,4°C), у червні – 22,3°C (+2,1°C), у липні – 22,3°C (+4,6°C), у серпні – 23,3°C (+2,8°C), у вересні – 20,5°C (+5,3°C). Опадів було значно менше від норми – 92,1 мм замість 275,1 мм за багаторічними показниками. У травні випало лише 17,3 мм (-26,4 мм), у червні – 49,3 мм (-14 мм), у липні – 18,5 мм (-53,2 мм), у серпні – 7,0 мм (-44 мм), у вересні – 0 мм (-45,4 мм). Таким чином, рослини соняшнику протягом усього періоду вегетації страждали від сильного дефіциту вологи та високих температур повітря.

Статистичний обробіток даних проводили у програмному середовищі PAST 4.17 [17].

Methods

The field studies were conducted at the Educational, Scientific and Production center "Dokuchaevske Experimental Field" of the State Biotechnological University (geographic coordinates of the study location - 49.903806, 36.446012) in 2023–2024.

The work was carried out in accordance with the standards of the state variety trials [15]. The hybrids were sown within the second 10 days of May with manual planters. The sowing pattern was 70×25 cm, in three replications. The predecessor was black fallow. The experimental plots were arranged systematically [16]. The record plot area was 16.8 m². No additional fertilizers were applied on the crops. To control weeds, a mixture of soil herbicides, Dual Gold (960 g/L S-metolachlor) and Gezaguard (500 g/L promethrin), was used at a dose of 2.0 L/ha two weeks before sowing.

Twenty-eight sunflower hybrids of different genetic and geographical origins were studied. A more detailed description of the studied hybrids is given in Table 1.

In 2023, the weather during the sunflower growing period was characterized by elevated temperatures and sufficient precipitation. In May, the average daily temperature was 18.6°C (+2.4°C to the multi-year average), in June – 23.0°C (+3.1°C), in July – 25.4°C (+4.2°C), in August – 17.5°C (+2.3°C), in September – 17.5°C (+2.3°C). The precipitation was unevenly distributed: May – 32.0 mm (-11.7 mm to the multi-year average), June – 32.0 mm (-33.7 mm), July – 153.8 mm (+88.3 mm), September – 26.9 mm (-18.5 mm). The total annual precipitation exceeded the multi-year average by 18.9 mm.

In 2024, the weather was unstable and harsh. The temperature in May was 16.5°C (+0.4°C), in June – 22.3°C (+2.1°C), in July – 22.3°C (+4.6°C), in August – 23.3°C (+2.8°C), in September – 20.5°C (+5.3°C). The precipitation amount was significantly less than the multi-year average: 92.1 mm instead of 275.1 mm. In May, only 17.3 mm (-26.4 mm) fell, in June – 49.3 mm (-14 mm), in July – 18.5 mm (-53.2 mm), in August – 7.0 mm (-44 mm), in September – 0 mm (-45.4 mm). Thus, sunflower plants suffered from a severe water deficit and high air temperatures throughout the growing period.

Data were statistically processed in PAST 4.17 software package [17].

Таблиця 1. Характеристика та походження досліджуваних гібридів соняшнику
Table 1. Characteristics and origins of the studied sunflower hybrids

Назва гібрида українською / Ukrainian name	Назва гібрида англійською / English name	Оригінатор / Originator	Країна / Country	Група стиглості* / Ripeness group*
Гусяр	Husliar	Інститут рослинництва ім. В.Я. Юр'єва НААН / Yuriev Plant Production Institute of NAAS	UA	Середньоранній / Medium-early
Славсон	Slavson		UA	Скоростиглий / Fast-ripening
Равелін	Ravelin		UA	Середньоранній / Medium-early
Феномен	Fenomen		UA	Середньоранній / Medium-early
Кадет	Kadet		UA	Ранньостиглий / Early-ripening
Блиск	Blysk		UA	Ранньостиглий / Early-ripening
Драйв	Draiv		UA	Середньоранній / Medium-early
Златсон	Zlatson		UA	Середньоранній / Medium-early
Ярило	Yarylo		UA	Ранньостиглий / Early-ripening
ЕС Саксон	ES Sakson	ТОВ "Науково-виробнича фірма "Еліта-Селект" / LLC "Scientific and Production Firm "Elita-Select"	UA	Середньоранній / Medium-early
ЕС Берекет	ES Bereket		UA	Середньоранній / Medium-early
НС Х 6749	NS H 6749	Інститут польовництва та овочівництва, м. Нові Сад / Institute of Field and Vegetable Crops, Novi Sad	RS	Середньоранній / Medium-early
НС Таурус	NS Taurus		RS	Середньостиглий / Medium-ripening
Си Діамантіс	SY Diamantis	Syngenta	CH	Середньостиглий / Medium-ripening
Суомі	Suomi		CH	Ранньостиглий / Early-ripening
Си Бакарді	SY Barbati		CH	Середньостиглий / Medium-ripening
НК Неома	NK Neoma		FR	Середньостиглий / Medium-ripening
Си Експерто	SY Experto		CH	Середньостиглий / Medium-ripening
НК Конді	NK Kondi		FR	Середньостиглий / Medium-ripening
Суміко	Sumiko		CH	Середньоранній / Medium-early
Альдазор	Aldazor	ТОВ «Науково-виробниче підприємство «Агро-Ритм» / LLC "Scientific and Production Enterprise "Agro-Rhythm"	UA	Середньоранній / Medium-early
Гранд Адмірал	Hrand Admiral	Скакун Вадим Михайлович / Skakun Vadym Mykhailovych	UA	Середньоранній / Medium-early
ЕС Белла	ES Bella	Lidea	FR	Ранньостиглий / Early-ripening
LG 5478	LG 5478	Limagrain	FR	Середньоранній / Medium-early
P64LP130	P64LP130	Corteva Agriscience	UA	Середньостиглий / Medium-ripening
P64LE25	P64LE25		US	Середньоранній / Medium-early
P64LE99	P64LE99		US	Середньостиглий / Medium-ripening
PR64F66	PR64F66		AT	Середньоранній / Medium-early

* – дані Українського інституту експертизи сортів рослин.

* – data from the Ukrainian Institute of Plant Variety Examination.

Результати та обговорення

Кількість листків на рослині є важливою ознакою, що забезпечує повноцінний розвиток рослини та формування якісного насіння, а у соняшнику це у першу чергу впливає на накопичення вмісту олії. Кількість листків у соняшнику визначається взаємодією кількох генетичних факторів. У виду виявили кілька кількісних локусів ознак (QTL), пов'язаних із цією характеристикою, що локалізовані на різних хромосомах. Хромосоми 1, 6, 7, 9, 15, 17: локуси QTL яких впливають на кількість листків на головному стеблі. Водночас локус QTL на хромосомі 15 контролює до 57 % фенотипової варіації соняшнику [18, 19].

За результатами проведених нами досліджень середнє значення (за 2023–2024 рр.) кількості листків на головному стеблі досліджуваних гібридів варіювало у межах 26,3–31,2 шт. Найменшу кількість листків на головному стеблі мали гібриди P64LE99 ($26,3 \pm 0,1$ шт.), ES Берекет ($26,8 \pm 0,4$ шт.) та P64LE25 ($27,2 \pm 1,1$ шт.), а їх найвище значення зафіксовано у гібридів Драйв ($32,2 \pm 0,4$ шт.), Златсон ($30,6 \pm 0,4$ шт.) та Суміко ($30,6 \pm 0,8$ шт.). Такий розподіл перебуває у відповідних межах (26–32 шт.) кількості листків у гетерозиготних гібридів, що були встановлені Marinković & Škorić у дослідженнях генетичного контролю кількості листя у гібридів F1 [20]. Також польові результати збігаються з дослідженнями інших авторів та попередніми нашими на різних гібридах соняшнику [4, 6, 21–24].

Інша фенотипова ознака, що нами досліджувалася у гібридів – висота рослини. Формування даної ознаки відбувається під впливом комплексу генів (наприклад Rht1), що мають адитивну дію, та умов навколишнього середовища (у тому числі технології вирощування) [25–27]. У досліджуваній нами колекції виділено дві основні фенотипові групи – високі та дуже високі гібриди соняшнику. Такі гібриди, як: Блиск, Суміко, НС Х 6749, LG 5478, P64LP130, Сі Експерто, НС Таурус формували найвищі показники висоти у межах від 181 до 194 см. Слід відзначити, що окрім гібридів Блиск та P64LP130, інші мають закордонне походження, що може бути однією із причин їх фенотипової

Results and Discussion

The number of leaves per plant is an important characteristic that ensures the full development of the plant and formation of top-quality seeds, and in sunflower it primarily affects oil accumulation. The number of leaves in sunflower is determined by interactions between several genetic factors. Several quantitative trait loci (QTL) associated with this characteristic, localized on different chromosomes, were detected in the species. Chromosomes 1, 6, 7, 9, 15, 17: QTL that affect the number of leaves on the primary stem. At the same time, a QTL on chromosome 15 controls up to 57% of the phenotypic variations in sunflower [18, 19].

In our studies, the mean (2023–2024) number of leaves on the primary stem of the studied hybrids varied within 26.3–31.2. The fewest number of leaves on the primary stem was observed in hybrids (hybs.) ‘P64LE99’ (26.3 ± 0.1), ‘ES Bereket’ (26.8 ± 0.4) and ‘P64LE25’ (27.2 ± 1.1); and the greatest number of leaves was recorded for hybs. ‘Draiv’ (32.2 ± 0.4), ‘Zlatson’ (30.6 ± 0.4) and ‘Sumiko’ (30.6 ± 0.8). This distribution corresponds the limits (26–32 leaves) of this characteristic for heterozygous hybrids, which were established by Marinković & Škorić in studies of genetic control of the number of leaves in F1 hybrids [20]. The field findings also agree with other authors’ data and our previous data on different sunflower hybrids [4, 6, 21–24].

Another phenotypic trait that we studied in hybrids is plant height. This trait is influenced by several genes (for example, Rht1), which have an additive effect, and environmental conditions (including growing technology) [25–27]. In the assortment we studied, two major phenotypic groups were distinguished: tall and very tall sunflower hybrids. Hybrids, such as ‘Blyks’, ‘Sumiko’, ‘NS X 6749’, ‘LG 5478’, ‘P64LP130’, ‘Si Experto’, and ‘NS Taurus’ had the tallest plants of 181–194 cm. It should be noted that, except for hybs. ‘Blyks’ and ‘P64LP130’, the others are foreign, and different germplasm that was used for their

відмінності та іншої генетичної плазми, що була використана при їх створенні.

Найбільша група соняшнику представлена високими гібридами з висотою у межах від 160 см (Ярило) до 179 см (Альдазор). Найменші показники висоти переважно формувалися у гібридів ранньостиглої та середньоранньої груп (табл. 1), таких як Ярило, ЕС Белла, PR64F66, ЕС Берекет та інші, у межах 160–164 см у середньому за роки дослідження. Така особливість зумовлена саме впливом скорочення періоду вегетації рослини, що спостерігається не лише у соняшнику, а й інших рослин [28–30]. Вплив умов вирощування є одним з головних факторів зміни висоти рослини, що у наших дослідженнях відзначається показниками стандартного відхилення від середнього значення від $\pm 9,7$ до $\pm 26,7$ за роки дослідження та залежно від гібрида (рис. 1).

creation may explain their phenotypic distinction.

The largest group comprised tall sunflower hybrids of 160 cm ('Yarylo') to 179 cm ('Aldazor'). The shortest plants were mainly intrinsic to early-ripening and medium-early hybrids (Table 1), such as 'Yarylo', 'ES Bella', 'PR64F66', 'ES Bereket', and others, with the mean height of 160–164 cm in the study years. This feature is attributed to reduced vegetation period, a pattern that is observed not only in sunflower but also in other plants [28–30]. The influence of growing conditions is one of major factors changing plant height and in our studies it was reflected as standard deviation of from ± 9.7 to ± 26.7 in different hybrids in the study years (Fig. 1).

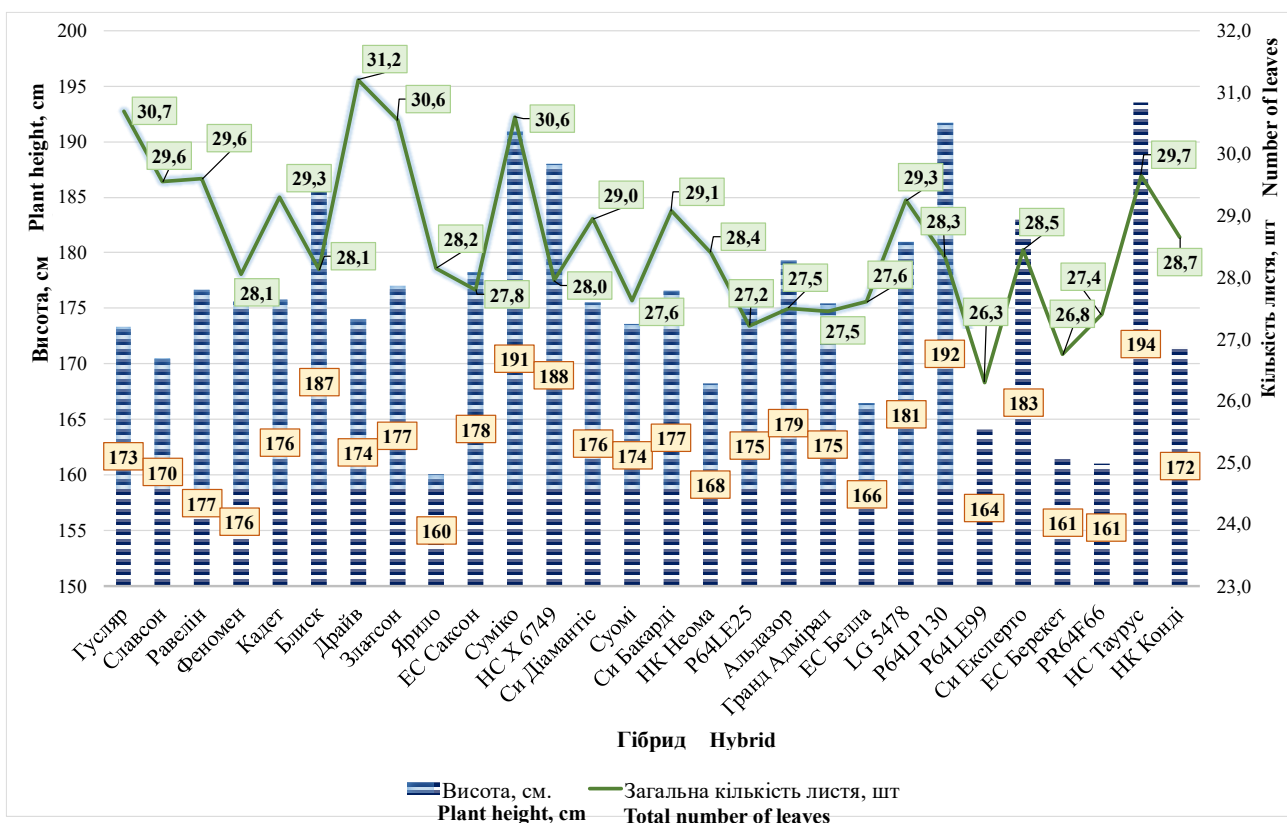


Рис. 1. Характеристика гібридів соняшнику за ознаками висоти та загальної кількості листків, середнє за 2023–2024 рр.

Fig. 1. Plant height and total number of leaves in the sunflower hybrids, mean for 2023–2024.

Формування елементів структури урожаю досліджуваних гібридів соняшнику у наших дослідках відбувалося під впливом біотичних факторів, формування яких залежало від погодних умов (надмірне зволоження у 2023 році та екстремальна нестача вологи у 2024 році). Аналізуючи дані за ознакою діаметр кошика, можна відзначити певну відмінність залежно від походження гібридів. Так, найвищі показники за даною ознакою формували майже всі гібриди селекції Інституту рослинництва ім. В.Я. Юр'єва НААН України, а також гібриди ЕС Саксон та Суміко, у межах від 16,0±1,1 см (ЕС Саксон) до 17,6±0,6 см (Славсон). Найменшим діаметром кошика за роки дослідження характеризувалися гібриди Сі Бакарді (13,8±0,2 см), Сі Діамантіс (14,1±1,4 см) та Ярило (14,3±0,7 см).

Продуктивність кошика у середньому за роки дослідження сильно варіювала (Coeff. Var. = 12,6 %) залежно від гібрида соняшнику та від року вирощування. Найвищі показники продуктивності кошика були встановлені у гібридів: Гусляр (63,2±10,9 г), Славсон (58,7±11,6 г), Равелін (62,5±1,1 г), Кадет (61,0±4,5 г), Блиск (67,5±6,8 г), Альдазор (61,3±2,0 г), LG 5478 (60,2±10,9 г) та НС Таурус (57,2±7,9 г). Найменш продуктивними серед досліджуваних гібридів в умовах Харківської області виявилися Гранд Адмірал (41,1±9,6 г), ЕС Белла (40,1±4,1 г) та Ярило (41,3±9,9 г). Маса 1000 насінин мала позитивні кореляційні зв'язки з продуктивністю кошика $r=0,67$ та ознакою діаметр кошика $r=0,51$, що збігається з низкою інших досліджень [31–34]. Серед досліджуваних гібридів найбільша маса 1000 насінин була встановлена у гібридів ЕС Саксон (65,9±18,9 г), Блиск (65,8±4,4 г), P64LE25 (61,0±12,5 г), Альдазор (60,2±5,3 г) та P64LE99 (60,5±4,5 г).

Натура насінневої маси є комплексною ознакою, що характеризує фізичні, біохімічні та сортові особливості насіння гібридів. У наших дослідженнях встановлено середню зворотну кореляційну залежність між ознаками натури насіння та продуктивністю кошика на рівні $r= -0,43$. Така особливість ймовірно є наслідком того, що у більш продуктивних гібридів насіння, що формується, має крупнішу фракцію, що сприяє збільшенню міжнасінневих пустот, що відзначали й інші дослідники [35].

The yield components in the studied sunflower hybrids were affected by biotic factors, which depended on weather conditions (excessive moisture in 2023 and extreme lack of moisture in 2024). Analyzing head diameter, we could note a certain difference depending on the hybrids' origins. Thus, the largest heads were formed by almost all hybrids bred by the Yuriev Plant Production Institute of NAAS of Ukraine as well as by hybs. 'ES Sakson' and 'Sumiko': from 16.0±1.1 cm ('ES Sakson') to 17.6±0.6 cm ('Slavson'). The smallest heads were formed by hybs. 'Si Bacardi. (13.8±0.2 cm), 'Si Diamantis. (14.1±1.4 cm) and 'Yarylo' (14.3±0.7 cm).

The mean head productivity varied greatly (CV = 12.6 %) depending on hybrids and cultivation years. The most productive heads were recorded for hybs. 'Husliar' (63.2±10.9 g), 'Slavson' (58.7±11.6 g), 'Ravelin' (62.5±1.1 g), 'Kadet' (61.0±4.5 g), 'Blyks' (67.5±6.8 g), 'Aldazor' (61.3±2.0 g), 'LG 5478' (60.2±10.9 g), and 'NS Taurus' (57.2±7.9 g). The least productive heads were intrinsic to hybs. 'Hrand Admiral' (41.1±9.6 g), 'ES Bella' (40.1±4.1 g) and 'Yarylo' (41.3±9.9 g). Thousand seed weight was positively correlated with head productivity ($r=0.67$) and head diameter ($r=0.51$), which is in agreement with several other studies [31–34]. Among the studied hybrids, the greatest thousand seed weight was observed in hybs. 'ES Sakson' (65.9±18.9 g), 'Blyks' (65.8±4.4 g), 'P64LE25' (61.0±12.5 g), 'Aldazor' (60.2±5.3 g), and 'P64LE99' (60.5±4.5 g).

Test weight is a complex trait that characterizes the physical, biochemical and varietal features of hybrid seeds. In our studies, there was a moderate inverse correlation between test weight and head productivity ($r= -0.43$). This feature is probably a consequence of the fact that more productive hybrids form larger seeds, contributing larger interseed spaces, which was also noted by other researchers [35].

The lowest test weight was determined in high-yielding hybs. 'Kadet' (372±42.0 g/L), 'Blyks' (378±12.0 g/L), 'P64LE25' (393±9.0 g/L), and 'Aldazor' (389±15.0 g/L), and the

Найменші показники натуре насіння були встановлені для високопродуктивних гібридів Кадет (372±42,0 г/л), Блиск (378±12,0 г/л), P64LE25 (393±9,0 г/л) та Альдазор (389±15,0 г/л), а найбільші для гібридів Сі Діамантіс, LG 5478, Суомі та Славсон у межах від 440 г/л до 450 г/л у середньому за роки дослідження (табл. 2).

highest test weight – in hybs. ‘Si Diamantis’, ‘LG 5478’, ‘Suomi’, and ‘Slavson’ (440-450 g/L on average over the study years) (Table 2).

Таблиця 2. Показники елементів структури урожаю гібридів соняшника, середнє за 2023–2024 рр.
Table 2. Yield components in the sunflower hybrids, mean for 2023–2024.

Назва гібрида	Діаметр кошика, см.	Продуктивність кошика, г	Маса 1000 насінин, г	Натура, г/л
Гусяр / Husliar	16,9±1,0	63,2±10,9	57,6±4,8	403±37,0
Славсон / Slavson	17,6±0,6	58,7±11,6	53,5±4,5	440±20,0
Равелін Ravelin	16,8±0,2	62,5±1,1	56,5±2,2	392±34,0
Феномен / Fenomen	16,2±0,0	48,4±10,4	50,4±1,8	421±41,0
Кадет / Kadet	17,3±0,9	61,0±4,5	56,0±1,4	372±42,0
Блиск / Blysk	16,1±1,1	67,5±6,8	65,8±4,4	378±12,0
Драйв / Draiv	16,2±0,2	52,2±10,8	48,6±5,3	402±42,0
Златсон / Zlatson	15,5±0,0	54,3±10,9	45,0±2,7	375±29,0
Ярило / Yarylo	14,3±0,7	41,3±9,9	39,1±3,5	409±33,0
ЕС Саксон / ES Sakson	16,0±1,1	58,5±20,7	65,9±18,9	392±16,0
Суміко / Sumiko	16,1±1,1	55,6±2,5	58,9±7,9	431±47,0
НС Х 6749 / NS Н 6749	15,5±0,5	47,2±5,9	43,2±6,0	435±31,0
Сі Діамантіс / SY Diamantis	14,1±1,4	51,6±21,3	51,6±13,6	450±0,0
Суомі / Suomi	15,5±1,2	51,5±6,8	50,3±3,9	444±28,5
Сі Бакарді / SY Barbati	13,8±0,2	52,0±8,0	41,7±0,0	415±19,0
НК Неома / NK Neoma	15,3±0,4	54,7±12,6	48,9±10,9	412±16,0
P64LE25	14,5±1,0	57,6±16,1	61,0±12,5	393±9,0
Альдазор / Aldazor	15,5±0,7	61,3±2,0	60,2±5,3	389±15,0
Гранд Адмірал / Hrand Admiral	14,8±1,3	41,1±9,6	45,1±10,0	420±28,0
ЕС Белла / ES Bella	14,6±1,3	40,1±4,1	42,9±6,8	429±51,0
LG 5478	14,4±0,4	60,2±10,9	44,9±4,1	450±36,0
P64LP130	14,3±1,4	55,0±7,2	43,6±0,6	406±22,0
P64LE99	14,9±1,3	53,3±3,7	60,5±4,5	423±31,0
Сі Експерто / SY Experito	15,5±0,3	54,5±1,3	51,4±1,8	397±39,0
ЕС Берекет / ES Bereket	14,7±0,4	48,6±13,3	44,1±5,8	404±44,0
PR64F66	14,4±0,5	49,6±3,4	51,6±2,5	427±11,5
НС Таурус / NS Taurus	14,8±0,6	57,2±7,9	42,6±4,3	391±29,0
НК Конді / NK Kondi	14,7±0,2	49,8±4,0	44,7±1,6	414±20,0
Min	13,8	40,1	39,1	372
Max	17,6	67,5	65,9	450
SE	0,2	1,3	1,4	4,2
SD	1,0	6,8	7,6	22,1
CV	6,6	12,5	15,0	5,4

Біологічна урожайність прямо пропорційна продуктивності кошика, вона більш наочно описує потенціал урожайності гібрида соняшнику в умовах виробництва даного регіону. Відповідно до отриманих нами результатів лідерами за біологічною урожайністю є гібриди української селекції Гусяр (3,5±0,6 т/га), Равелін (3,4±0,1 т/га), Блиск (3,7±0,4 т/га), Альдазор (3,4±0,1 т/га) та Кадет (3,4±0,3 т/га). У трійку найменш урожайних гібридів за підсумками 2023–2024 рр. увійшли ЕС Белла (2,2±0,2 т/га), Гранд Адмірал (2,3±0,5 т/га) та Ярило (2,3±0,5 т/га) (рис. 2).

Biological yield is directly proportional to head productivity; it more clearly describes the yield potential of a sunflower hybrid under the production conditions of a given region. According to our results, the leaders in biological yield are Ukrainian hybs. ‘Husliar’ (3.5±0.6 t/ha), ‘Ravelin’ (3.4±0.1 t/ha), ‘Blyks’ (3.7±0.4 t/ha), ‘Aldazor’ (3.4±0.1 t/ha), and ‘Kadet’ (3.4±0.3 t/ha). The three least productive hybrids according to the results in 2023–2024 included hybs. ‘ES Bella’ (2.2±0.2 t/ha), ‘Hrand Admiral’ (2.3±0.5 t/ha) and ‘Yarylo’ (2.3±0.5 t/ha) (Fig. 2).

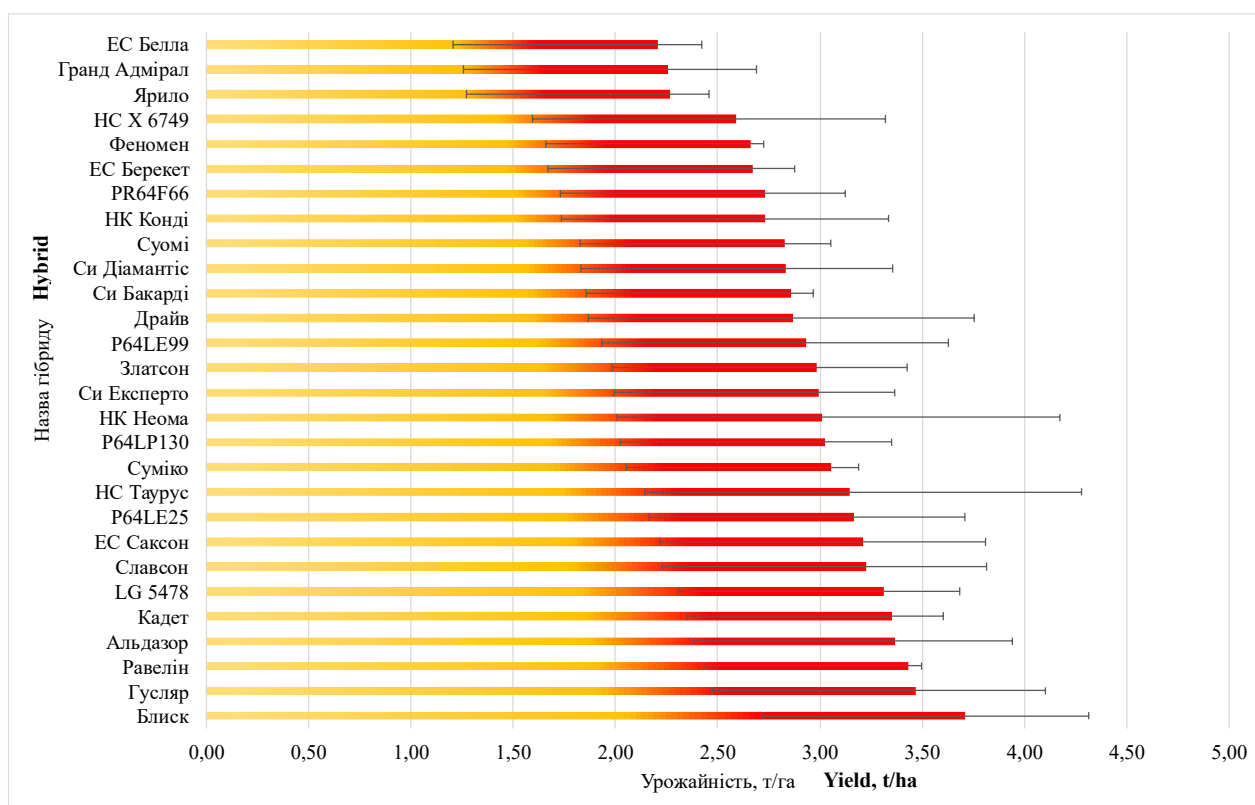


Рис. 2. Розрахунок біологічної урожайності досліджуваних гібридів соняшнику, середнє за 2023–2024 рр.
Fig. 2. Calculation of biological yield of the studied sunflower hybrids, average for 2023–2024.

Кластерний аналіз, проведений за сукупністю господарських ознак (висота рослин, кількість листків, діаметр кошика, продуктивність кошика, маса 1000 насінин та натура насіння), дозволив виділити три чітко окреслені кластери серед 28 досліджуваних гібридів соняшнику (рис. 3). Метод ієрархічної кластеризації (UPGMA, евклідова відстань) застосовано у програмному середовищі PAST 4.17.

До першого кластеру увійшли гібриди Гусяр, Славсон, Равелін, Кадет, Блиск, Альдазор, LG 5478, НС Таурус та P64LP130.

Cluster analysis conducted by the set of economic characteristics (plant height, number of leaves, head diameter, head productivity, thousand seed weight, and test weight) allowed us to identify three clearly defined clusters among the 28 studied sunflower hybrids (Fig. 3). Hierarchical clusterization (UPGMA, Euclidean distance) was conducted in the PAST 4.17 software package.

Cluster 1 included hybs. ‘Husliar’, ‘Slavson’, ‘Ravelin’, ‘Kadet’, ‘Blysk’, ‘Aldazor’, ‘LG 5478’, ‘NS Taurus’, and ‘P64LP130’. They

Вони відзначалися високими значеннями продуктивності кошика (58,7–67,5 г), маси 1000 насінин (до 65,9 г) та урожайності (до 3,7 т/га), що свідчить про їх генетично зумовлений потенціал до формування високого врожаю.

Другий кластер включав гібриди Феномен, Драйв, Златсон, Суомі, Сі Діамантіс, Сі Бакарді, НК Неома, Сі Експерто, НК Конді та Суміко. Ці форми продемонстрували середні значення основних показників та відносно стабільність за умов вегетації 2024 року, що вказує на їх адаптивність до умов стресу, зумовленого високими температурами і дефіцитом вологи.

До третього кластеру увійшли гібриди Ярило, ЕС Белла, Гранд Адмірал, ЕС Берекет, PR64F66, P64LE99, P64LE25 та НС Х 6749, які мали нижчі показники урожайності (2,2–2,5 т/га), маси 1000 насінин та натури. Ймовірно, ці гібриди менш адаптовані до Лісостепової зони Східної України або потребують інших технологічних заходів вирощування (рис. 3).

Отримані результати свідчать про наявність значної фенотипової варіабельності серед гібридів та підтверджують доцільність використання кластерного аналізу як інструменту для оцінки гібридів соняшника.

showed high head productivity (58.7–67.5 g), thousand seed weight (up to 65.9 g) and yield (up to 3.7 t/ha), indicating their genetically determined potentials for high yields.

Cluster 2 included hybs. ‘Fenomen’, ‘Draiv’, ‘Zlatson’, ‘Suomi’, ‘SY Diamantis’, ‘SY Bacardi’, ‘NK Neoma’, ‘SY Experto’, NK Kondi, and ‘Sumiko’. These forms demonstrated medium values of the main parameters and relative stability in 2024, indicating their adaptability to stressful conditions inflicted by high temperatures and water deficit.

Cluster 3 included hybs. ‘Yarylo’, ‘ES Bella’, ‘Hrand Admiral’, ‘ES Bereket’, ‘PR64F66’, ‘P64LE99’, ‘P64LE25’, and ‘NS X 6749’, which yielded less (2.2–2.5 t/ha) and had lower thousand seed weight and test weight. These hybrids are probably less adapted to the forest-steppe zone of Eastern Ukraine or require other farming techniques (Fig. 3). These results suggest considerable inter-hybrid phenotypic variability and confirm the feasibility of using cluster analysis as a tool for evaluation of sunflower hybrids.

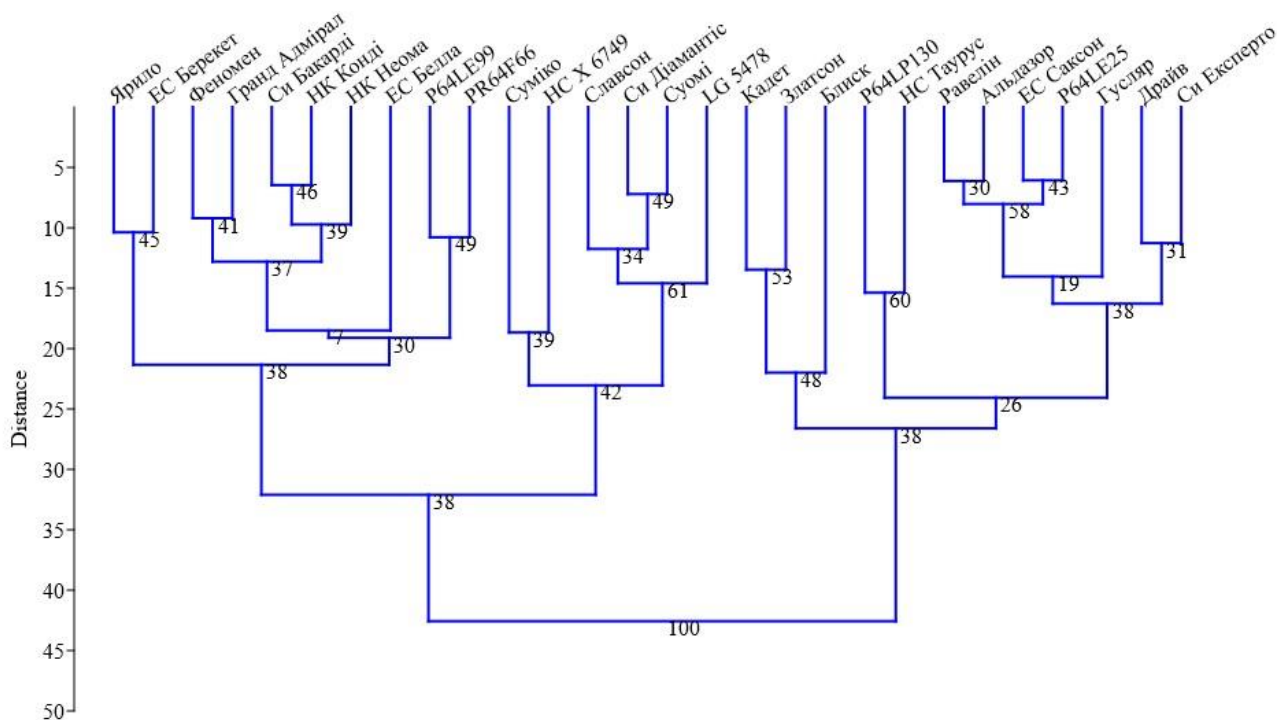


Рис. 3. Кластерний аналіз досліджуваних гібридів соняшника.

Fig. 3. Cluster analysis of the studied sunflower hybrids.

Висновки

У результаті дослідження встановлено суттєву фенотипову варіабельність серед 28 гібридів соняшнику за показниками продуктивності, морфометричних характеристик та елементів структури врожаю. Найвищу біологічну урожайність в умовах Східної України продемонстрували гібриди української селекції Блиск, Гусяр, Равелін, Кадет та Альдазор, що свідчить про їх високий адаптивний та генетичний потенціал. Виявлено вірогідні позитивні кореляційні зв'язки між діаметром кошика, масою 1000 насінин та продуктивністю кошика, що дозволяє розглядати ці ознаки як важливі селекційні критерії при відборі перспективних форм. У той же час зворотна кореляція між натурою насіння та продуктивністю вказує на потребу комплексного підходу при оцінці сортів. Кластерний аналіз дав змогу виокремити три основні групи гібридів за господарськими ознаками, що підкреслює ефективність використання цього методу для підбору гібридів соняшнику у виробництві. Отримані результати можуть бути корисними у практиці виробництва та подальшій селекційній роботі для удосконалення асортименту гібридів соняшнику, адаптованих до кліматичних умов лісостепової зони Східної України.

Conclusions

The study revealed significant phenotypic variability among 28 sunflower hybrids in terms of performance, morphometric characteristics and yield components. The highest biological yields in Eastern Ukraine were produced by Ukrainian hybs. 'Blyks', 'Husliar', 'Ravelin', 'Kadet', and 'Aldazor', indicating their high adaptive and genetic potentials. There were significant positive correlations between head diameter and productivity as well as between thousand 1000 seed weight and head productivity, which allows us to consider these characteristics as important breeding criteria when selecting promising forms. At the same time, there was an inverse correlation between test weight and productivity, suggesting the need for a comprehensive approach to evaluation of hybrids and cultivars. Cluster analysis made it possible to distinguish three major groups of hybrids by economic characteristics, emphasizing the effectiveness of this method for selecting sunflower hybrids in production. These results may be useful in production practice and further breeding to improve the assortment of sunflower hybrids adapted to the climatic conditions of the forest-steppe zone of Eastern Ukraine.

References

1. Vasytkovska K., Andriienko O., Vasytkovskyi O., Andriienko A., Volodymyr P., Malakhovska V. Dynamics of export potential of sunflower oil in Ukraine. *Helia*. 2021. Vol. 44(74). P. 115–123. <https://doi.org/10.1515/helia-2021-0001>.
2. Pilorgé E. Sunflower in the global vegetable oil system: situation, specificities and perspectives. *OCL*. 2020. Vol. 27. P. 34. <https://doi.org/10.1051/ocl/2020028>.
3. Anushree S., André M., Guillaume D., Frédéric F. Stearic sunflower oil as a sustainable and healthy alternative to palm oil. A review. *Agron. Sustain. Dev.* 2017. Vol. 37. P. 1–10. <https://doi.org/10.1007/s13593-017-0426-x>.
4. Chuiko D. Plant growth regulator effects on sunflower parents and F1 hybrids. *Žemės ūkio mokslai*. 2021. Vol. 28(2). <https://doi.org/10.6001/zemesukiomokslai.v28i2.4508>.
5. FAOSTAT. Crops and livestock products: Sunflower seed [cited 20 March 2025]. <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL/visualize>.
6. Dimitrijevic A., Horn R. Sunflower hybrid breeding: from markers to genomic selection. *Front. Plant Sci.* 2018. Vol. 8. P. 2238. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.02238>.
7. Seiler G.J., Qi L.L., Marek L.F. Utilization of sunflower crop wild relatives for cultivated sunflower improvement. *Crop Sci.* 2017. Vol. 57(3). P. 1083–1101. <https://doi.org/10.2135/cropsci2016.10.0856>.
8. State Statistics Service of Ukraine. Economic statistics / Economic activities / Agriculture, forestry and fisheries [cited April 1, 2025]. <https://www.ukrstat.gov.ua/> [in Ukrainian].
9. Ministry of Agrarian Policy and Food of Ukraine. State Register of Plant Varieties Suitable for Dissemination in Ukraine [updated March 17, 2025]. <https://minagro.gov.ua/file-storage/reyestr-sortiv-roslin> [in Ukrainian].
10. Leclercq P. Une sterilité mâle cytoplasmique chez le tournesol. *Ann. Amélior. Plant.* 1969. Vol. 19. P. 99–106.
11. Veat F. Changes in sunflower breeding over the last fifty years. *OCL*. 2016. Vol. 23(2). P. D202. <https://doi.org/10.1051/ocl/2016006>.
12. Andrienko V.V., Syvenko O.A. Breeding value of parents for creation of simple and three-line sunflower hybrids. *Selektsiia ta Nasinnytstvo*. 2017. (111). P. 8–17. <https://doi.org/10.30835/2413-7510.2017.104881> [in Ukrainian].
13. Kyrychenko V.V., Makliak K.M., Varenyk B.F., Kutishcheva N.M., Trotsenko V.I. Expression of economic characteristics in three-line sunflower hybrids in different agroclimatic zones of Ukraine. *Visnyk Sumskoho Ahrarnoho Natsionalnoho Universytetu. Series: Ahronomiia i Biolohiia*. 2016. (9). P. 129–133. [in Ukrainian].

14. Chuiko D.V. Evaluation of sunflower starting material for breeding-valuable traits. *Selektsiia i Nasinnytstvo*. 2022. (121). P. 6–14. <https://doi.org/10.30835/2413-7510.2022.260986> [in Ukrainian].
15. Volkodav V.V. Methodology of state trials of agricultural crop varieties. Kyiv: Derzhavna Komisiia Ukrainy po Vyprobuvanniu ta Okhoroni Sortiv Roslyn, 2000. 100 p. [in Ukrainian].
16. Hoptsi T.I., Proskurnin M.V. Genetic and statistical methods in breeding. Kharkiv: KhNAU, 2003. 103 p. [in Ukrainian].
17. Hammer Ø., Harper D.A. Past: paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontol. Electron*. 2001. Vol. 4(1). P. 1.
18. Radanović A., Miladinović D., Cvejić S., Jocković M., Jocić S. Sunflower genetics from ancestors to modern hybrids—A review. *Genes*. 2018. Vol. 9(11). P. 528. <https://doi.org/10.3390/genes9110528>.
19. Soroka A.I., Lyakh V.A. Polygenic inheritance of bracts number in sunflower. *Helia*. 2019. Vol. 42(71). P. 221–228. <https://doi.org/10.3390/genes9110528>.
20. Marinković R., Škorić D. Examination of heritability of certain quantitative traits of sunflower (*H. annuus* L.). *Prod. Process. Cultivars*. 1984. Vol. 1. P. 161–167.
21. Chuiko D.V. Performance and yield components in sunflower genotypes treated with plant growth regulators. *Visnyk KhNAU. Series: Roslynnytstvo, Selektsiia i Nasinnytstvo, Plodoovochivnytstvo*. 2020. Vol. 1(2). P. 114–127. [in Ukrainian].
22. Soroka A.I., Lyakh V.A. Inheritance of two types of modified leaf venation in sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Indian J. Genet. Plant Breed.* 2015. Vol. 75(1). P. 75–78. <http://dx.doi.org/10.5958/0975-6906.2015.00009.7>.
23. Makliak K.M., Sharypina Ya.Yu., Kyrychenko V.V. Inheritance of the number of dry and yellow leaves after anthesis in common sunflower. *Selektsiia i Nasinnytstvo*. 2017. (111). P. 74–87. <https://doi.org/10.30835/2413-7510.2017.104889> [in Ukrainian].
24. Hutianskyi R.A., Kolomatska V.P. Effect of seeding rates on biometric parameters and yield of new sunflower hybrids. *Selektsiia i Nasinnytstvo*. 2024. (126). P. 62–73. <https://doi.org/10.30835/2413-7510.2024.318864> [in Ukrainian].
25. Xiao S., Chen S.Y., Zhao L.Q., Wang G. Density effects on plant height growth and inequality in sunflower populations. *J. Integr. Plant Biol.* 2006. Vol. 48(5). P. 513–519. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7909.2006.00265.x>.
26. Nagashima H., Terashima I. Relationships between height, diameter and weight distributions of *Chenopodium album* plants in stands: effects of dimension and allometry. *Ann. Bot.* 1995. Vol. 75(2). P. 181–188. <https://doi.org/10.1006/anbo.1995.1010>.
27. Kandil A.A., Sharief A.E., Odam A.M.A. Response of some sunflower hybrids (*Helianthus annuus* L.) to different nitrogen fertilizer rates and plant densities. *Int. J. Environ. Agric. Biotechnol.* 2017. Vol. 2(6). P. 238990. <http://dx.doi.org/10.22161/ijeab/2.6.26>.
28. Segrestin J., Navas M.L., Garnier E. Reproductive phenology as a dimension of the phenotypic space in 139 plant species from the Mediterranean. *New Phytol.* 2020. Vol. 225(2). P. 740–753. <https://doi.org/10.1111/nph.16165>.
29. Ingegneri L.M., Quinn M.P., Hulting A.G., Mallory-Smith C.A. A short growing season negatively affects progeny vigor in jointed goatgrass (*Aegilops cylindrica*). *Agric. Sci.* 2015. Vol. 6(3). P. 315–324. <http://dx.doi.org/10.4236/as.2015.63032>.
30. Yang Q., Lin G., Lv H., Wang C., Yang Y., Liao H. Environmental and genetic regulation of plant height in soybean. *BMC Plant Biol.* 2021. Vol. 21. P. 1–15. <https://doi.org/10.1186/s12870-021-02836-7>.
31. Melnyk A.V., Melnyk T.I., Akuaku D., Makarchuk A.V. Comparative analysis of correlations between morphological traits and performance of confectionery sunflower varieties in the Left-Bank Forest-Steppe of Ukraine. *Visnyk Sums'koho Ahrarnoho Natsionalnoho Universytetu. Series: Ahronomiia i Biolohiia*. 2016. Vol. 9(32). P. 117–120. [in Ukrainian].
32. Kharytonenko N.S., Kyrychenko V.V., Kolomatska V.P., Antsyferova O.V., Sheliakina T.A., Suprun O.H., Liutenko V.S. Correlations between valuable economic traits and quality indicators in sunflower lines with altered contents of tocopherol isomers. *Selektsiia i Nasinnytstvo*. 2019. (116). P. 63–70. <https://doi.org/10.30835/2413-7510.2019.190457> [in Ukrainian].
33. Makliak K.M., Kyrychenko V.V. Oil output as an integral sign of the economic value of sunflower hybrids at elevated temperatures. *Selektsiia i Nasinnytstvo*. 2016. (110). P. 90–100. <https://doi.org/10.30835/2413-7510.2016.87615> [in Ukrainian].
34. Chuiko D.V. Formation of increased productivity of sunflower genotypes depending on plant growth regulators in the Eastern Forest-Steppe of Ukraine: Doctor of Philosophy Thesis: 201 – Agronomy. Kharkiv, 2021. 220 p. [in Ukrainian].
35. Vedmedeva K.V., Busarov P.Yu. Characteristics of sunflower seeds based on results of studying phenotypes and husk strength. *Scientific & Technical Bulletin of the Institute of Oilseed Crops NAAS*. 2024. (36). P. 16–27. [in Ukrainian].

Надійшла до редакції 14.04.2025 р.
Received 14.04.2025

УДК: 633.854.78:631.527:575

О.А. Сивенко*, В.П. Коломацька, Н.В. Кузьмишина, В.І. Сивенко,
С.А. Чумаченко

Морфобіологічні особливості нових ліній-відновників фертильності соняшнику

Інститут рослинництва ім. В.Я. Юр'єва НААН України, Харків, Україна

*E-mail: yuriev1908sunflower@gmail.com

UDC: 633.854.78:631.527:575

О.А. Syvenko*, V.P. Kolomatska, N.V. Kuzmyshyna, V.I. Syvenko,
S.A. Chumachenko

Morphobiological Traits of New Sunflower Lines - Fertility Restorers

Yuriev Plant Production Institute of NAAS of Ukraine, Kharkiv, Ukraine

*E-mail: yuriev1908sunflower@gmail.com

Реферат: Визначено ознаки відмінності нових ліній-відновників фертильності соняшнику за морфологічними ознаками рослини, стебла, листка і кошика та їх різноманіття за ознаками продуктивності і вмісту олії в насінні. За рівнем продуктивності виділено ранньостиглі ліній-відновники фертильності: однокошикові лінії X 0013 В і X 1807 В (40,98 і 42,32 г, відповідно) і багатокошикову лінію X 1809 В (25,04 г). За вмістом олії в насінні виділено лінію ЛГВ і значенням ознаки 53,91%. За масою 1000 насінин найвище значення мала лінія X 0013 В – 75,8 г, яка може становити інтерес для селекції на крупноплідність. Виділено цінні ліній-відновники фертильності соняшнику X 1807 В і X 1818 В з тривалістю вегетаційного періоду 90 і 96 діб та періодом цвітіння 19 і 15 діб, що поєднують високий рівень продуктивності (42,32 г і 25,99 г) зі стійкістю до збудника несправжньої борошнистої роси. Виділено ранньостиглі лінії X 1803 В і X 1809 В, що належать до гіллястих форм, з тривалістю періоду «сходи-цвітіння» 54 та 56 діб, які мали продуктивність рослини на рівні ліній-тестерів (19,39 г та 25,04 г відповідно), а за вмістом олії в насінні достовірно їх перевищили (49,22 % та 49,16 %). За результатами експертизи в Національному Центрі генетичних ресурсів рослин України ліній-відновники фертильності соняшнику X 1807 В, X 1818 В (однокошикові) та X 1803 В і X 1809 В (багатокошикові) перевищили лінію-тестер X 720 В за продуктивністю та іншими селекційними ознаками. Лінії включено до Банку генетичних ресурсів рослин України.

Ключові слова: соняшник, лінія-відновник фертильності, морфологічні ознаки, продуктивність, вміст олії в насінні, маса 1000 насінин, стійкість до хвороб

Abstract: Distinctness traits in new sunflower lines- fertility restorers were described: morphological characteristics of the plant, stem, leaf, and head. The lines' diversity was determined for performance traits and oil content in seeds. The following early-ripening lines - fertility restorers were distinguished by performance: mono-headed lines 'Kh 0013 V' and 'Kh 1807 V' (40.98 and 42.32 g, respectively) and multi-headed line 'Kh 1809 V' (25.04 g). Line 'LHV' was distinguished by seed oil content (53.91%). The greatest thousand seed weight of 75.8 g was recorded for line 'Kh 0013 V', which may be of interest for breeding for large fruits. We identified valuable sunflower lines - fertility restorers, 'Kh 1807 V' and 'Kh 1818 V', with vegetation periods of 90 and 96 days, respectively, and flowering periods of 19 and 15 days; the lines combine great performance (42.32 g and 25.99 g) with resistance to the pathogen of downy mildew. We also selected two early-ripening, branched lines, 'Kh 1803 V' and 'Kh 1809 V', with lengths of the "emergence-anthesis" period of 54 and 56 days, respectively; the lines showed plant performance similar to that of the tester lines (19.39 g and 25.04 g, respectively) and significantly were superior to the latter in terms of seed oil content (49.22% and 49.16%). According to the results of the examination by the National Center for Plant Genetic Resources of Ukraine, sunflower lines - fertility restorers 'Kh 1807 V', 'Kh 1818 V' (mono-headed), 'Kh 1803 V' and 'Kh 1809 V' (multi-headed) were superior to tester line 'Kh 720 V' in terms of performance and other breeding traits. The lines were included in the Bank of Plant Genetic Resources of Ukraine.

Key words: sunflower, line - fertility restorer, morphological traits, performance, seed oil content, thousand seed weight, disease resistance.

Вступ

Соняшник є цінною олійною культурою з високим вмістом жиру та білка, продукти переробки якого мають широке використання. Україна входить до переліку країн – світових лідерів з виробництва цієї культури та експорту соняшникової олії, що підтверджує її важливість для економічного розвитку країни [1]. Вирощування соняшнику є економічно вигідною справою, при цьому прибутковість безпосередньо залежить від рівня його урожайності [2]. Зважаючи на це, подальше збільшення валових зборів насіння товарного соняшнику може бути досягнуте насамперед за рахунок впровадження у виробництво високоврожайних гібридів [3].

Також сучасні гібриди повинні мати не тільки високий потенціал врожайності, але й бути адаптованими до умов вирощування, стійкими до небезпечних хвороб. Порушення сівозмін при вирощуванні соняшнику призводить до розвитку хвороб та виникнення більш агресивних шкідливих організмів. Це зумовлює необхідність селекційної роботи на стійкість до збудників основних патогенів, важливим етапом якої є оцінка та створення стійкого вихідного матеріалу [4, 5]. При створенні таких гібридів вирішальне значення має генетичне різноманіття вихідних батьківських компонентів, які забезпечують високу урожайність в різних умовах.

Проведення аналізу генетичного різноманіття лінійного матеріалу, в тому числі і вітчизняного походження, є важливим кроком до розуміння генетичної основи сучасної селекції соняшнику. Сформовані каталоги ліній соняшнику активно використовуються для підбору вихідного матеріалу для селекційних програм [6]. Оцінка та характеристика генетичного різноманіття соняшнику є важливою через зростання потреб у сортовому вдосконаленні [7, 8].

Також ці знання є важливими для поповнення новими зразками генетичних банків рослин, які відіграють ключове значення для забезпечення селекційних програм вихідним матеріалом.

У роботі Ведмедевої та Носаль показано, що ретельний підбір вихідних форм з генетичного різноманіття колекцій соняшнику позитивно впливає на створення високогетерозисних гібридів [9]. Дослідженнями Filippi та ін. підтверджено, що успішний підбір вихідних форм для селекції залежить від генетичного різноманіття генотипів соняшнику [10].

Основними вимогами до ліній-відновників фертильності соняшнику є висока комбінаційна

Introduction

Sunflower is a valuable oilseed crop with high oil and protein contents and its products are widely used. Ukraine is among the world leaders in this crop cultivation and sunflower oil export, confirming its importance for the country's economic development [1]. Sunflower growing is an economically profitable business and its profitability directly depends on yield [2]. In view of this, a further increase in the gross harvest of commercial sunflower seeds can be achieved primarily by introducing high-yielding hybrids into production [3].

In addition, modern hybrids are supposed not only to have high yield potentials but also to be adapted to growing conditions and resistant to dangerous diseases. Non-observance of crop rotations in sunflower cultivation leads to the development of diseases and emergence of more aggressive harmful organisms. This necessitates breeding for resistance to pathogens of major pathogens, where assessments and creation of resistant starting materials are important stages [4, 5]. Upon creating such hybrids, the genetic diversity of initial parental components is of decisive importance, as they ensure high yields under various conditions.

Analysis of the genetic diversity of lines, including domestic ones, is an important step towards understanding the genetic basis of modern sunflower breeding. Catalogs of sunflower lines are extensively used to select starting materials for breeding programs [6]. Evaluation and characterization of the sunflower genetic diversity is important because of the growing need for varietal improvement [7, 8].

This knowledge is also vital for enriching plant genetic banks with new accessions, as the banks play a key role in providing breeding programs with starting materials.

Vedmedieva and Nosal showed that careful selection of initial forms from the genetic diversity of sunflower collections beneficially affected the creation of highly heterotic hybrids [9]. Filippi et al. confirmed that the successful selection of initial forms for breeding depended on the genetic diversity of sunflower genotypes [10].

The main requirements for sunflower lines - fertility restorers are as follows: high combining ability, long anthesis, resistance to

здатність, більш тривалий період цвітіння, стійкість до збудників хвороб, особливо до несправжньої борошнистої роси та оптимальний морфотип, що забезпечує технологічність їх вирощування на ділянках гібридизації. Доцільно залучати до схрещування лише кращі лінії з прогнозованою їх високою цінністю, пристосованістю до різноманітних середовищ існування, котрі мають значну мінливість біотичних і абіотичних ознак [11-13].

Добір вихідного матеріалу для залучення в селекційні програми проводиться за його відповідністю комплексу певних ознак і властивостей, серед яких високий рівень продуктивності і якості, адаптивність до біо- та абіотичних факторів, технологічність. Разом з цим, селекція нових гібридів соняшнику стримується труднощами в організації вирощування генетично чистих батьківських ліній та гібридів. Для контролю за механічним та біологічним засміченням пропонується їх генетичне маркування [14]. Морфологічні ознаки рослин соняшнику можна використовувати як маркерні ознаки. Візуально їх можна добре розрізнити, і, на відміну від біохімічних методів, вони не потребують великих затрат для їх визначення. Ідентифікація ліній соняшнику за морфологічними ознаками є ефективним методом для виділення цінних зразків з генетичного різноманіття [15].

Встановлено, що існування широкого діапазону варіацій для більшості ознак серед інбредних ліній соняшнику, зокрема різноманітність морфологічних ознак, може впливати на господарські ознаки гібридів [16].

У зв'язку з викладеним у роботі вивчали генетичне різноманіття лінійного матеріалу соняшнику та особливості нових ліній за комплексом ознак і властивостей з метою поповнення селекційних програм матеріалом, цінним для створення гібридів.

Методика

Дослідження проводили протягом 2023 – 2024 рр. на полях селекційної сівозміни Інституту рослинництва ім. В.Я. Юр'єва НААН України (сел. Елітне, Харківський район, Харківська обл.).

Погодні умови років досліджень (2023-2024 рр.) впродовж вегетаційного періоду соняшнику мали певні особливості. В цілому, 2023 рік можна охарактеризувати як жаркий і вологий. Відзначено перевищення середньодобової температури повітря в липні, серпні і вересні середньої багаторічної на 0,3, 0,6 і 2,7°C, відповідно.

diseases, especially downy mildew, and an optimal morphotype, which ensures the technological effectiveness of their cultivation in hybridization plots. It is advisable to involve in crossing only the best lines with predicted high value, adaptability to various environments, and significant variability of biotic and abiotic characteristics [11-13].

Starting materials for inclusion in breeding programs are selected by sets of desirable characteristics and features, including high performance, quality, adaptability to biotic and abiotic factors, and technological effectiveness. At the same time, the breeding of new sunflower hybrids is hampered by difficulties in organizing the cultivation of genetically pure parental lines and hybrids. To control mechanical and biological contamination, their genetic marking is proposed [14]. Morphological traits of sunflower plants can be used as marker characteristics. They can be clearly distinguished visually, and, unlike biochemical parameters, their determination is cheap. Identification of sunflower lines by morphological traits is an effective method to distinguish valuable accessions from genetic diversity [15].

It was found that wide variations of most characteristics among inbred sunflower lines, in particular the diversity of morphological traits, could affect economic characteristics of hybrids [16].

In connection with the above, the genetic diversity of sunflower lines and the features of new lines were screened for a set of traits and characteristics in order to supplement breeding programs with valuable material for creating hybrids.

Methods

The study was conducted in the crop rotation fields of the Yuriev Plant Production Institute of NAAS of Ukraine (Elitne Village, Kharkivskyi District, Kharkivska Oblast) in 2023 – 2024.

The weather during the sunflower growing periods in the research years (2023-2024) had certain peculiarities. In general, 2023 was hot and wet. The average daily air temperature in July, August and September was higher than the multi-year average by 0.3, 0.6

Кількість опадів у липні була вищою за середню багаторічну на 91,0 мм. За погодними умовами 2024 рік можна охарактеризувати як жаркий і посушливий. В літні місяці (червень, липень, серпень) відзначено перевищення середньодобової температури повітря середньої багаторічної на 2,1, 5,6 і 2,7°C відповідно. За опадами найбільшу кількість відзначено в червні (49,0 мм). Критичну нестачу опадів спостерігали в період наливу насіння (серпень) – 7,0 мм, а у вересні вони були взагалі відсутні.

Матеріалом досліджень були нові лінії-відновники фертильності соняшнику Інституту рослинництва ім. В. Я. Юр'єва НААН: ЛГВ, X 0013 В, X 1803 В, X 1807 В, X 1809 В, X 1818 В, X 06134 В, X 2301 В.

Планування, організацію та проведення польових досліджень проводили згідно з методиками [17, 18] з урахуванням зональних особливостей вирощування соняшнику [19].

Зразки соняшнику висівали на дворядковій ділянці площею 9,8 м², стандартним методом. Сівбу виконували ручними селекційними саджалками з шириною міжряддя 70 см та в рядку між рослинами 25 см. Густоту рослин формували в фазі другої пари справжніх листків шляхом ручної проривки, в кожному гнізді залишали по одній рослині.

Бальну оцінку ліній соняшнику за морфологічними ознаками було проведено візуально за рівнем прояву ознаки [20, 21]. Лінійний матеріал вивчено за тривалістю періоду від сходів до цвітіння, врожайністю, продуктивністю з однієї рослини, масою 1000 насінин, висотою рослини [18]. Аналіз вмісту олії у насінні визначали за методом ядерно-магнітного резонансу [22]. Оцінку стійкості соняшнику до несправжньої борошнистої роси проведено у польових умовах за стандартними фітопатологічними методиками визначення поширеності хвороб [23].

Результати та обговорення

Лінії-відновники фертильності соняшнику в 2023-2024 рр. було вивчено за селекційними та цінними господарськими ознаками. За результатами фенологічних спостережень встановлено, що за тривалістю періоду від сходів до фізіологічної стиглості лінії перебували в межах від 99 до 103 діб, а тривалістю періоду від сходів до цвітіння – від 54 до 64 діб (табл. 1). За проявом селекційних ознак лінії було порівняно з батьківськими компонентами зареєстрованих гібридів соняшнику – ультраранньостиглою лінією X 720 В та середньоранньостиглою лінією

and 2.7°C, respectively. The precipitation amount in July was higher than the multi-year average by 91.0 mm. The weather in 2024 was hot and dry. In the summer months (June, July, August), the average daily air temperature was 2.1, 5.6 and 2.7°C higher than the multi-year average, respectively. The largest amount of precipitation was recorded in June (49.0 mm). A critical lack of precipitation was observed during the seed filling period (August, 7.0 mm) and in September (no precipitation at all).

New sunflower lines - fertility restorers bred at the Yuriev Plant Production Institute of NAAS were studied: 'LHV', 'Kh 0013 V', 'Kh 1803 V', 'Kh 1807 V', 'Kh 1809 V', 'Kh 1818 V', 'Kh 06134 V', and 'Kh 2301 V'.

The field surveys were planned, organized and conducted, as described in [17, 18], with due account for the zonal peculiarities of sunflower cultivation [19].

The sunflower lines were sown in two-row plots of 9.8 m² by the standard method with manual breeding planters. The inter-row spacing was 70 cm and the inter-plant distance in the rows was 25 cm. Plant density was adjusted in the phase of the second pair of true leaves by manual thinning out, leaving one plant in each nest.

The morphological traits in the sunflower lines were visually scored by expression levels of these traits [20, 21]. In the lines, the "emergence – anthesis" period, yield, plant performance, thousand seed weight, and plant height were measured [18]. The oil content in seeds was determined by nuclear magnetic resonance [22]. The sunflower resistance to downy mildew was assessed in the field using standard phytopathological methods for determining disease prevalence [23].

Results and Discussion

The sunflower lines - fertility restorers were screened in 2023-2024 for breeding and valuable economic traits. Phenological observations showed that the "emergence – physiological ripeness" periods in the lines lasted from 99 to 103 days, and the "emergence – anthesis" periods – from 54 to 64 days (Table 1). As to the breeding traits expression, the lines were compared with the parents of registered sunflower hybrids - ultra-early line 'Kh 720 V' and the medium-early line 'Kh 4413 V'.

X 4413 B.

Найбільш ранньостиглою була лінія X 1807 B з тривалістю вегетаційного періоду 90 діб. Ця лінія в попередні роки вивчення за тривалістю вегетаційного періоду також була віднесена до ультраранньостиглої групи. У ліній ЛГВ, X 1809B, X 1818B і X 2301B тривалість періоду від сходів до фізіологічної стиглості становила 99 діб, а від сходів до цвітіння від 56 до 62 діб. Як і більшість вивчених ліній, вони відносяться до ранньостиглої групи.

The most early-ripening line was ‘Kh 1807 V’, with a growing period of 90 days. In previous years, this line was also classed as ultra-early by its growing period length. In lines ‘LHV’, ‘Kh 1809V’, ‘Kh 1818V’, and ‘Kh 2301V’, the “emergence - physiological ripeness” and “emergence – anthesis” periods lasted 99 and 56-62 days, respectively. Like most of the studied lines, they belong to the early-ripening group.

Таблиця 1. Характеристика ліній-відновників фертильності соняшнику за тривалістю вегетаційного періоду та його етапами, 2023-2024 рр.

Table 1. Characterization of the sunflower lines - fertility restorers by growing period and its stages, 2023-2024.

Лінія / Lines	Тривалість періоду «сходи-фізіологічна стиглість», діб / “Emergence - physiological ripeness” period, days	Тривалість періоду «сходи-цвітіння», діб / “Emergence – anthesis” period, days	Тривалість періоду цвітіння, діб / Anthesis length, days
ЛГВ* / LHV*	99	60	25
X0013B / Kh0013V	103	62	8
X1803B* / Kh1803V*	101	54	26
X1807B / Kh1807V	90	55	19
X1809B* / Kh1809V*	99	56	29
X1818B / Kh1818V	96	59	15
X06134B* / Kh06134V*	103	64	19
X2301B / Kh2301V	99	62	16
X720B* / Kh720V*	89	58	23
X4413B* / Kh4413V*	104	61	19
середнє / Mean	98,3	59,7	19,2
HP _{0,05} / LSD _{0,05}	3,5	2,4	1,8

Примітка: * - гіллясті форми

Note: * - branched forms

Вірогідно більшу тривалість вегетаційного періоду відносно середнього значення мали лінії X 0013 B, X 06134 B і X 4413 B, які відповідають середньоранньостиглій групі (103, 103, 104 доби).

Важливою селекційною ознакою для ліній-відновників фертильності, які відіграють роль запилювача, є тривалість періоду цвітіння. Найбільш тривале цвітіння збільшує ймовірність якісного запилення материнських ліній на ділянках гібридизації. Тривалість періоду цвітіння у ліній-відновників фертильності варіювала від 8 до 29 діб. Найбільш тривалим цей період був у багатокошикових ліній ЛГВ, X 1809 B, який становив 25 і 29 діб відповідно, що перевищує тестерну лінію X 720 B (23 доби). Порівняно

Lines ‘Kh 0013 V’, ‘Kh 06134 V’ and ‘Kh 4413 V’ had significantly longer growing periods in comparison with the mean value; hence, they correspond to the medium-early group (103, 103, 104 days, respectively).

Anthesis length is an important breeding characteristic for lines - fertility restorers that act as pollinators. The longest flowering increases the probability of high-quality pollination of female lines in hybridization plots. The anthesis length in the lines - fertility restorers varied from 8 to 29 days. The longest anthesis was recorded for multi-headed lines ‘LHV’ and ‘Kh 1809 V’ (25 and 29 days, respectively); it was longer than that in the tester line, ‘Kh 720 V’ (23 days). Early-ripening mono-headed lines ‘Kh 1807 V’ and ‘Kh 2301

тривалим цвітінням відрізнялись ранньостиглі однокошикові лінії X 1807 В і X 2301 В із значенням ознаки 19 і 16 діб. Найменшою тривалістю відрізнялась однокошикова лінія X 0013 В – 8 діб.

Як відзначено вище, три з вивчених ліній віднесено до багатокосикових форм. У цих ліній кількість бічних галузень відповідає кількості бічних кошиків (табл. 2). Подвійне галузнення характерне для ранньостиглої лінії X 1809 В, яка мала найбільшу кількість бічних кошиків (11 шт.) і найтриваліший період цвітіння – 29 діб.

Висота рослини є важливою морфологічною ознакою для ідентифікації генотипів соняшнику, а її мінливість в стресових умовах, як свідчать дані Ghaffari та Toorchi – одним із критеріїв адаптивності [24]. Нові лінії мали висоту рослини від 96,1 до 157,3 см. Лінія X 1809 В була на рівні лінії-тестера X 720 В.

V’ also had relatively long flowering of 19 and 16 days long. Mono-headed line ‘Kh 0013 V’ had the shortest anthesis of 8 days long.

As noted above, three of the studied lines were classed as multi-headed forms. In these lines, the number of lateral branches corresponds to the number of lateral heads (Table 2). Double branching is intrinsic to early-ripening line ‘Kh 1809 V’, which had the greatest number of lateral heads (11) and the longest anthesis (29 days).

Plant height is an important morphological trait in identification of sunflower genotypes, and its variability under stressful conditions, as evidenced by Ghaffari and Toorchi’ data, is a criterion for adaptability [24]. The new lines were 96.1 to 157.3 cm tall. Line ‘Kh 1809 V’ was as tall as the tester line (‘Kh 720 V’).

Таблиця 2 Характеристика ліній-відновників фертильності соняшнику за морфологічними ознаками, 2023-2024 рр.

Table 2 Characterization of the sunflower lines - fertility restorers by morphological traits, 2023-2024.

Лінія / Lines	Кількість бічних галузень, шт. / Number of lateral branches	Кількість бічних кошиків, шт. / Number of lateral heads	Висота рослини, см / Plant height, cm	Діаметр кошика, см / Head diameter, cm
ЛГВ* / LHV*	9	9	138,7	9,5
X0013В / Kh0013V	-	-	155,6	14,9
X1803В* / Kh1803V*	5	5	119,4	9,0
X1807В / Kh1807V	-	-	119,7	13,3
X1809В* / Kh1809V*	6	11	96,1	8,3
X1818В / Kh1818V	-	-	136,6	19,0
X06134В* / Kh06134V*	8	8	157,3	9,2
X2301В / Kh2301V	-	-	130,2	15,6
X720В* / Kh720V*	5	8	96,5	9,6
X4413В* / Kh4413V*	4	4	149,6	8,3
середнє / Mean	-	-	131,1	11,9
ЛГВ* / LHV*	-	-	12,4	0,7

Примітка: * - гіллясті форми

Note: * - branched forms

У гіллястих ліній відзначено високі величини діаметра центрального кошика, які знаходились в межах від 8,3 см до 9,5 см. А

In the branched lines, the central head diameter was long, ranging 8.3 cm to 9.5 cm. In the mono-headed lines (‘Kh 2301 V’, ‘Kh

значення діаметра кошика у однокошикових ліній X 2301 В, X 0013 В і X 1807 В сягало 15,6 см, 14,9 см і 13,3 см відповідно. За даними Balalić та ін. діаметр кошика впливає на кількість квіток та кількість насіння у кошику, що є важливими передумовами для врожайності [25].

В табл. 3 наведено характеристику ліній за цінними господарськими ознаками. Слід відзначити, що за продуктивністю рослини виявлено найбільше варіювання ознаки – від 12,31 до 42,32 г/рослину. Це зумовлено генетичним потенціалом ліній та їх адаптивністю до умов року, що потребує аналізу багаторічних досліджень. Найвищу продуктивність сформували однокошикові лінії X 0013 В і X 1807 В – 40,98 і 42,32 г, відповідно. Найвище значення продуктивності – 25,04 г/рослини серед багатокошикових ліній відзначено у лінії X 1809 В. Про істотне різноманіття вихідного матеріалу соняшнику за продуктивністю та його ознаками повідомляється в дослідженнях [26-27].

0013 V' and Kh 1807 V'), the head diameter amounted to 15.6 cm, 14.9 cm and 13.3 cm, respectively. According to Balalić et al., the head diameter affects the number of flowers and the number of seeds per head, which are important prerequisites for yield [25].

Table 3 shows valuable economic traits of the lines. It should be noted that plant performance was the most variable trait, ranging 12.31 to 42.32 g/plant. This is attributed to the lines' genetic potentials and their adaptability to the year's conditions and requires long-term research. The highest performance was recorded for mono-headed lines 'Kh 0013 V' and 'Kh 1807 V': 40.98 and 42.32 g, respectively. Among the multi-headed lines, the best performance of 25.04 g/plant was seen in line 'Kh 1809 V'. Considerable variability of performance and other traits was also reported for sunflower starting materials in other studies [26-27].

Таблиця 3 Характеристика ліній відновників фертильності соняшнику за цінними господарськими ознаками, 2023-2024 рр.

Table 3 Characterization of the sunflower lines - fertility restorers by valuable economic traits, 2023-2024.

Лінія / Lines	Продуктивність, г/рослину / Performance, g/plant	Маса 1000 насінин, г / 1000 seed weight, g	Вміст олії в насінні,% / Seed oil content,%
ЛГВ* / LHV*	20,39	42,3	53,91
X0013В / Kh0013V	40,98	75,8	44,53
X1803В* / Kh1803V*	19,39	49,6	49,22
X1807В / Kh1807V	42,32	54,0	43,55
X1809В* / Kh1809V*	25,04	36,0	49,16
X1818В / Kh1818V	25,99	38,5	39,54
X06134В* / Kh06134V*	12,31	28,0	45,73
X720В* / Kh720V*	18,87	39,5	45,18
X4413В* / Kh4413V*	10,16	28,0	47,18
середнє / Mean	22,0	40,8	45,1
ЛГВ* / LHV*	3,3	4,8	2,4

Примітка: * - гіллясті форми

Note: * - branched forms

Також лінія ЛГВ значно відрізнялась від інших за вмістом олії в насінні – 53,91%, що є досить високим значенням. У середньому у вивчених ліній вміст олії становив 45,10%. Вірогідно високі значення за цією ознакою виявлено у ліній X 1803 В (49,22%) і X 1809 В (49,16 %). Низьким вмістом олії відрізнялась

In addition, line 'LHV' line significantly differed from the others in terms of seed oil content – 53.91%, which is a rather high value. The mean oil content in the studied lines was 45.10%. Significantly high values of this trait were detected in lines 'Kh 1803 V' (49.22%) and 'Kh 1809 V' (49.16%). Early-ripening line

ранньостигла X 1818 В (39,54 %).

За масою 1000 насінин відзначено різноманіття в межах 28,0– 75,8 г, при цьому найвище значення мала лінія X 0013 В – 75,8 г, яка може представляти інтерес для селекції на крупноплідність. Результати Носаль та ін. показали, що відбір ліній за масою 1000 насінин створює можливості для отримання нових крупноплідних гібридів соняшнику [29].

Таким чином, за результатами досліджень (2023–2024 рр.) виділено цінні однокосикові лінії-відновники фертильності соняшнику X 1807 В і X 1818 В, з тривалістю вегетаційного періоду 90 і 96 діб та періодом цвітіння 19 і 15 діб відповідно, що поєднують високий рівень продуктивності (42,32 і 25,99 г/рослину, відповідно) з стійкістю до збудника несправжньої борошнистої роси. Отже лінії X 1807 В і X 1818 В можна рекомендувати, як вихідний матеріал для селекційної роботи.

Ультраранньостигла лінія X 1807 В і ранньостигла лінія X 1818 В, які є однокосиковими формами, з висотою рослини 124,0 і 136,6 см відповідно, перевищили лінії-тестери X 720 В і X 4413 В за продуктивністю. Ранньостиглі лінії X 1803 В і X 1809 В, що належать до гіллястих форм, з висотою рослини 119,4 см і 96,1 см відповідно, мали продуктивність рослини на рівні ліній-тестерів, а за вмістом олії в насінні достовірно їх перевищили.

В польових умовах лінії-відновники фертильності оцінено на стійкість до збудника несправжньої борошнистої роси. Лінія ЛГВ мала стійкість до хвороби на рівні 7 балів, інші вивчені лінії були стійкими (9 балів). Стійкість на рівні 5 балів відзначено у лінії-тестера X 720 В.

За результатами польового вивчення ліній-відновники фертильності соняшнику було оцінено за морфологічними ознаками. Виявлено чотири лінії, які мали галузнення, з них лінія X 1803 В лише біля верхівки та лінії X 1809 В, ЛГВ, X 06134 В за всією висотою рослини. Лінії-відновники фертильності з розгалуженням рослини мають переваги над однокосиковими, забезпечуючи більш тривале цвітіння та продукування більшої кількості пилку. Лінії X 0013 В, X 1807 В, X 1818 В, X 2301 В мали однокосикові рослини.

Під час вегетації в умовах підвищеної сонячної інсоляції, лінії з кошиками, оберненими донизу мають більш виповнене продуктивне насіння. Серед дослідженого матеріалу відзначено положення кошиків у ліній

‘Kh 1818 V’ (39.54%) was noticeable for low oil content.

The thousand seed weight varied within 28.0– 75.8 g, with the greatest weight of 75.8 g in line ‘Kh 0013 V’, which may be of interest for breeding for large fruits. Nosal et al. demonstrated that the selection of lines by thousand seed weight created opportunities for developing new large-fruited sunflower hybrids [29].

Thus, based on the results obtained in 2023–2024, valuable mono-headed sunflower lines - fertility restorers ‘Kh 1807 V’ and ‘Kh 1818 V’ were identified; their vegetation lasted 90 and 96 days, respectively; their anthesis duration was 19 and 15 days, respectively; they combined high performance (42.32 and 25.99 g/plant, respectively) with resistance to the pathogen of downy mildew. Therefore, lines ‘Kh 1807 V’ and ‘Kh 1818 V’ can be recommended as starting materials for breeding.

In ultra-early line ‘Kh 1807 V’ and early-ripening line ‘Kh 1818 V’, which are mono-headed forms, plants were 124.0 and 136.6 cm tall, respectively, and these lines outperformed the tester lines, ‘Kh 720 V’ and ‘Kh 4413 V’ in terms of productivity. Early-ripening lines ‘Kh 1803 V’ and ‘Kh 1809 V’, which are branched forms, with a plant height of 119.4 cm and 96.1 cm, respectively, showed plant performance similar to that of the tester lines and were significantly superior to the latter in terms of seed oil content.

In the field, the lines - fertility restorers were evaluated for resistance to the pathogen of downy mildew. Line ‘LHV’ showed a 7-point resistance to this disease; the other studied lines were even more resistant (9 points). A 5-point resistance was noted in the tester line (‘Kh 720 V’).

The sunflower lines - fertility restorers were also screened for morphological traits. Four branched lines were identified; of them, line ‘Kh 1803 V’ was branched only near the top, while lines ‘Kh 1809 V’, ‘LHV’ and ‘Kh 06134 V’ were branched along the entire stem. Branched lines - fertility restorers have advantages over mono-headed lines, ensuring longer anthesis and production of more pollen. Lines ‘Kh 0013 V’, ‘Kh 1807 V’, ‘Kh 1818 V’, and ‘Kh 2301 V’ had mono-headed plants.

During vegetation under increased solar insolation, lines with heads turned downwards have more filled productive seeds. As to head

X 1803 В, X 1807 В, X 1818 В обернене до низу разом із сильним викривленням стебла, у лінії X 1809В положення кошика обернене до низу з легким викривленням стебла; лінії X 0013 В та ЛГВ мали кошик напівобернений донизу разом із стеблом.

Разом з цим, небажаною ознакою в умовах Лісостепу України є поєднання у ліній обернених на 180° кошиків з опуклою їх формою, що зумовлює накопичення надмірної вологи при дощовій погоді в період дозрівання та сприяє ураженню кошиків сірою і білою гнилями. До ліній, що мали злегка опуклу форму кошика, віднесено лінії X 0013 В, X 1803 В, X 1809 В. Лінія X 1807 В мала сильно опуклу форму кошику, а лінія X 1818 В за формою кошику з боку сім'янок була деформована.

Оцінено лінії за морфологічними ознаками листків, а саме кольором, формою та розташуванням жилок листка, які є ознаками вирізняльності ліній та сприяє їх ідентифікації. Лінія X 1809 В мала рослини з листками темно-зеленого забарвлення. За пухирчастістю листків досліджувані лінії майже не відрізнялись, маючи слабкий рівень ознаки або її відсутність.

Виділено лінію X 1809 В з сильно увігнутою формою листа у поперечному розрізі, що є важливою ознакою для селекції толерантних до загушення гібридів соняшнику. Лінія X 1807 В мала загострену форму верхівки листа, інші лінії мали форму верхівки листа від вузькотрикутної до широкотрикутної.

При еректоїдному типі прикріплення листків рослини мають менший кут від стебла ніж звичайний, що забезпечує краще їх освітлення в посіві. В селекційній роботі лінії з еректоїдним типом прикріплення листків використовують для створення гібридів, пристосованих для вирощування в загущених посівах. Виділено лінії X 1803 В, X 06134 В, X 1809 В з вищою висотою верхівки листа відносно місця прикріплення листкової пластини (еректоїдний тип прикріплення листків).

Оцінено морфологічні ознаки язичкових і трубчастих квіток у ліній соняшнику. Всі досліджувані лінії мали оранжево-жовті язичкові квітки за кольором, нещільні та широко-яйцевидні за формою. Трубчасті квітки мали наявне продукування пилку та забарвлення жовтого кольору. Відзначено лінії X 1803 В та X 1818 В із зовнішніми листками-обгортками за формою чітко округлі. Лінії X 0013 В, X 1807 В, X 1809 В, ЛГВ, X 2301 В

position in the studied lines, lines 'Kh 1803 V', 'Kh 1807 V' and 'Kh 1818 V' had heads turned downwards and strongly curved stems; line 'Kh 1809 V' had heads turned downwards and slightly curved stems; and lines 'Kh 0013 V' and 'LHV' had heads and stems half-turned downwards.

At the same time, dome-shaped and flipped over heads are an undesirable feature for lines in the Forest-Steppe of Ukraine, as they accumulate excessive moisture in rainy weather during the ripening period, which promotes spread of gray and white rots on heads. Lines 'Kh 0013 V', 'Kh 1803 V' and 'Kh 1809 V' had slightly convex heads. Line 'Kh 1807 V' had pronouncedly dome-shaped heads and line 'Kh 1818 V' had heads deformed on the achene side.

The lines were evaluated for morphological traits of their leaves, viz. color, shape and location of the leaf veins, which are distinctness traits helping to identify lines. Line 'Kh 1809 V' had dark-green leaves. The studied lines had almost identically little knobbed leaves: this trait was weakly expressed or absent at all.

Line 'Kh 1809 V' was distinguished because of strongly concave leaves in cross section, which is an important trait for the breeding of thickening-tolerant sunflower hybrids. Line 'Kh 1807 V' had leaves with pointed tips; in the other lines, leaf tip shapes were from narrowly triangular to broadly triangular.

With the erectoid attachment of leaves, plants have a smaller angle from the stem than usual, providing better illumination of them in the crop. In breeding, lines with the erectoid attachment of leaves are used to create hybrids adapted for growing in thickened crops. Lines 'Kh 1803 V', 'Kh 06134 V' and 'Kh 1809 V' were distinguished due to a higher position of leaf tips relative to the location of leaf plate attachment (erectoid attachment of leaves).

Morphological traits of ray and disk flowers were evaluated in the sunflower lines. All studied lines had orange-yellow broadly ovoid ray flowers, loose arranged. Disk flowers were yellow and visibly produced pollen. Lines 'Kh 1803 V' and 'Kh 1818 V' with clearly rounded outer involucre bracts were singled out. Lines 'Kh 0013 V', 'Kh 1807 V', 'Kh 1809 V', and 'LHV', 'Kh 2301 V' had elongated outer involucre bracts, and line 'Kh 1807 V'

мали видовжені зовнішні листки обгортки, а лінія X 1807 В з довгою верхівкою та світло-зеленим кольором зовнішніх листків обгортки.

За розміром сім'янки представлені лінії були дрібні (ЛГВ, X 1803 В) та середні (X 1807 В, X 1809 В, X 1818 В, X 0013 В). Сім'янки лінії X 1809 В мали видовжену форму. Лінії з видовженою формою, на відміну від округлих форм, мають перевагу за кількістю насінин в кошику, забезпечуючи більшу продуктивність рослини. За основним кольором сім'янок всі представлені лінії мали чорне забарвлення. Лінії X 2301 В, X 1803 В, X 1807 В та X 1818 В мали сім'янку чорного кольору з слабо вираженими сірими смугами по краях та між краями. X 1809 В, X 0013 В, ЛГВ мала сім'янки чорного кольору без смужок.

Таким чином, визначено відмінність нових ліній-відновників фертильності соняшнику за морфологічними ознаками рослини, стебла, листка і кошика, що дає можливість їх ідентифікації при використанні в селекційних програмах.

За результатами експертної оцінки в Національному центрі генетичних ресурсів рослин України ліній соняшнику X 1803 В, X 1807 В, X 1809 В, X 1818 В підтверджено високі показники цінних господарських ознак та стійкість до біотичних чинників у ліній в порівнянні зі тестерами. Лінії X 1807 В (UE0101437), X 1818 В, (UE0101435), X 1803 В (UE0101438), X 1809 В (UE0101436) включено до Банку ресурсів рослин України (довідка НЦГРРУ № 387 від 15.11.2023 р.) вони зареєстровані як джерела, що поєднують ознаки продуктивності та якості з стійкістю до несправжньої борошнистої роси.

Висновки.

Визначено ознаки відмінності нових ліній-відновників фертильності соняшнику за морфологічними ознаками рослини, стебла, листка і кошика та їх різноманіття за ознаками продуктивності та вмісту олії в насінні.

За рівнем продуктивності виділено ранньостиглі лінії-відновники фертильності: однокошикові лінії X 0013 В і X 1807 В (40,98 і 42,32 г відповідно) і багаткошикову лінію X 1809 В (25,04 г). За вмістом олії в насінні виділено лінію ЛГВ і значенням ознаки 53,91 %. За масою 1000 насінин найвище значення мала лінія X 0013 В – 75,8 г, яка може представляти інтерес для селекції на крупноплідність.

Виділено цінні лінії-відновники фертильності соняшнику X 1807 В і X 1818 В з

had light-green outer involucre bracts with elongated tips.

As to achene size, the lines under investigation had small ('LHV', 'Kh 1803 V') or medium ('Kh 1807 V', 'Kh 1809 V', 'Kh 1818 V', 'Kh 0013 V') achenes. In line 'Kh 1809 V', achenes were elongated. Lines with elongated achenes, unlike those with rounded ones, have more seeds per head, ensuring better plant performance. As to achene color, all presented lines had black achenes. Lines 'Kh 2301 V', 'Kh 1803 V', 'Kh 1807 V', and 'Kh 1818 V' had black achenes with weakly pronounced gray stripes along and between the edges. Lines 'Kh 1809 V', 'Kh 0013 V' and 'LHV' had black achenes without stripes.

Thus, the distinctness of the new sunflower lines- fertility restorers was determined by morphological traits of the plant, stem, leaf, and head, enabling identification of the lines when used in breeding programs.

According to the results of expert evaluation by the National Center for Plant Genetic Resources of Ukraine, sunflower lines 'Kh 1803 V', 'Kh 1807 V', 'Kh 1809 V', and 'Kh 1818 V' were confirmed as having high values of valuable economic traits and resistance to biotic factors compared to the testers. Lines 'Kh 1807 V' (UE0101437), 'Kh 1818 V', (UE0101435), 'Kh 1803 V' (UE0101438), and 'Kh 1809 V' (UE0101436) have been added to the Bank of Plant Genetic Resources of Ukraine (NCPGRU certificate No. 387 dated 11/15/2023); they are registered as sources that combine performance and quality traits with resistance to downy mildew.

Conclusions.

The distinctness traits, i.e. morphological traits of the plant, stem, leaf and, and head were investigated in the new sunflower lines - fertility restorers; their diversity in terms of performance characteristics and seed oil content was evaluated.

By performance, the following early-ripening lines - fertility restorers were distinguished: mono-headed lines 'Kh 0013 V' and 'Kh 1807 V' (40.98 and 42.32 g, respectively) and multi-headed line 'Kh 1809 V' (25.04 g). As to seed oil content, line 'LHV' was distinguished (53.91%). Line 'Kh 0013 V' had the greatest thousand seed weight of 75.8 g; hence, it may be of interest for breeding for large fruits.

тривалістю вегетаційного періоду 90 і 96 діб та періодом цвітіння 19 і 15 діб відповідно, що поєднують високий рівень продуктивності (42,32 і 25,99 г відповідно) зі стійкістю до збудника несправжньої борошнистої роси.

Виділено ранньостиглі лінії X 1803 В і X 1809 В, що належать до гіллястих форм, з тривалістю періоду «сходи-цвітіння» 54 та 56 діб відповідно, вони мали продуктивність рослини на рівні ліній-тестерів (19,39 та 25,04 г відповідно), а за вмістом олії в насінні вірогідно їх перевищили (49,22 та 49,16% відповідно).

За результатами експертизи в Національному Центрі генетичних ресурсів рослин України лінії-відновники фертильності соняшнику: X 1807 В, X 1818 В (однокошикові) та X 1803 В, X 1809 В (багатокошикові) перевищили лінію-тестер X 720 В за продуктивністю та іншими селекційними ознаками. Лінії включено до Банку генетичних ресурсів рослин України.

The valuable sunflower lines - fertility restorers, 'Kh 1807 V' and 'Kh 1818 V' with vegetation periods of 90 and 96 days and anthesis periods of 19 and 15 days, respectively, were selected; they combined high performance (42.32 and 25.99 g, respectively) with resistance to the pathogen of downy mildew.

Early-ripening lines 'Kh 1803 V' and 'Kh 1809 V', which are branched forms, with the "emergence-anthesis" periods of 54 and 56 days, respectively, were identified; they yielded as much as the tester lines (19.39 and 25.04 g, respectively) were significantly superior to the latter in terms of seed oil content (49.22 and 49.16%, respectively).

According to the results of the examination by the National Center for Plant Genetic Resources of Ukraine, sunflower lines - fertility restorers 'Kh 1807 V', 'Kh 1818 V' (mono-headed), 'Kh 1803 V', and 'Kh 1809 V' (multi-headed) were superior to the tester line ('Kh 720 V') in terms of performance and other breeding traits. The lines have been added to the Bank of Plant Genetic Resources of Ukraine.

References

1. Vear F. Changes in sunflower breeding over the last fifty years. OCL – Oilseeds and fats, Crops and Lipids. 2016. Vol. 23, No 2. D202. <https://doi.org/10.1051/ocl/2016006>
2. Kyrychenko V.V., Kobyzeva L.N., Kolomatska V.P., Makliak K.M., Leonova N.M., Ohurtsov Yy.Ye., Buriak Yu.I., Riabchun V.K., Domaratskyi Ye.O., Dobrovolskyi A.V., Kozlova O.P., Syvenko O.A., Syvenko V.I., Andriienko V.V., Minets T.V., Klymenko I.I., Klymenko I.V., Kuzmyshyna N.V., Sadovoi O.O. Lebedenko Ye.O., Suchkova V.M. Methodological foundations of sunflower production process management. Kharkiv, 2022. 528 p. <https://yuriev.com.ua/assets/files/knigi/metodologichni-osnovi-2022.pdf> [in Ukrainian]
3. Zhybak M.M., Khrystenko G.M. Grain market in Ukraine: price situation and development problems in war conditions. Ahrosvit. 2024. No 6. <https://doi.org/10.32702/2306-6792.2024.6.23> [in Ukrainian]
4. Haddan A.Z., Ghaffari M., Hervan, E.M., Alizadeh B. Impact of parent inbred lines on heterosis expression for agronomic characteristics in sunflower. Czech Journal of Genetics and Plant Breeding. 2020. Vol. 56(3). P.123-132. <https://doi.org/10.17221/100/2019-CJGPB>
5. Kirichenko V.V., Sivenko V.I., Maklyak Ye.N. et al. Results of theoretical studies and their application in sunflower breeding. Visnyk Ukrainskoho Tovarystva Henetykiv i Selektioneriv. 2014. Vol. 12. No 1. P. 113 –121. [in Russian]
6. Kyrychenko V.V., Syvenko V.I., Syvenko O.A. et al. Catalog of sunflower lines - pollen fertility restorers. Kharkiv, 2015. 36 p. [in Ukrainian]
7. Seiler G.J., Qi L.L.; Marek L.F. Utilization of Sunflower Crop Wild Relatives for Cultivated Sunflower Improvement. Crop Science. 2017. Vol. 57. P. 1083-1101. <https://doi.org/10.2135/cropsci2016.10.0856>
8. Hilli H.J., Immadi S. Principle Component Analysis and Diversity Studies in Sunflower Lines (*Helianthus annuus*). Indian Journal of Agricultural Research. 2025. Vol. 59(4). P. 560-565. <https://doi.org/10.18805/IJARE.A-5996>.
9. Vedmedieva K.V., Nosal O.O. Evaluation of large-fruited sunflower lines for quantitative morphological traits. Naukovo-Tekhnichniy Biuletyn Instytutu Oliinykh Kultur NAAN. 2020. No 29. P. 46-55. <https://doi.org/10.36710/ioc-2020-29-05> [in Ukrainian]
10. Filippi C.V., Merino G.A., Montecchia J.F. et al. Genetic diversity, population structure and linkage disequilibrium assessment among international sunflower breeding collections. Genes. 2020. Vol. 11, 283. <https://doi.org/10.3390/genes11030283>
11. Conțescu E.L., Anton F.G. Study of the genetic diversity of some wild sunflower species using ISSR markers. Romania Agricultural Reserch. 2023. No. 40. P. 31-37. <https://doi.org/10.59665/rar4004>

12. Ilchenko A.S., Varenik B.F., Karapira S.I. Breeding evaluation of new self-pollinated sunflower (*Helianthus annuus* L.) lines that are resistant to sulfonylurea herbicides and downy mildew [*Plasmopara halstedii* (Farl.) Berl. et. de Toni]. Plant Varieties Studying and Protection. 2024. Vol. 20, No 1. P. 19-25. doi: 10.21498/2518-1017.20.1.2024.300134 [in Ukrainian]
13. Reddy Y.P.K., Reddy B.R.P., Shanthi P., Venkataramanamma K. Study on Genetic Diversity in 45 Elite Sunflower Inbred Lines (*Helianthus annuus* L.). Journal of Scientific Research and Reports. 2024. Vol. 30. P. 551–559. <https://doi.org/10.9734/jsrr/2024/v30i92382>
14. Medvedeva N., Borisenko O. Morphological markers in the selection of sunflower lines. International Congress of Geneticists and Breeders from the Republic of Moldova, Republica Moldova, 2021, Ediția 11, P. 101. <https://doi.org/10.53040/cga11.2021.079>
15. Makhova T.V., Vedmediev S.R., Poliakov O.I. Creation of databases of phenotypic traits and selection of special-purpose sunflower lines. Naukovo-Tekhnichniy Biuleten Instytutu Oliinykh Kultur NAAN. 2023. No 35. P. 51-62. <https://doi.org/10.36710/IOC-2023-35-05> [in Ukrainian]
16. Vedmedieva K.V., Makhova T.V. Influence of genes for marker morphological traits of sunflower lines on economic qualities of hybrids. Naukovo-Tekhnichniy Biuleten Instytutu Oliinykh Kultur NAAN. 2019. No 27. P. 27-34. <https://doi.org/10.36710/ioc-2019-27-03> [in Ukrainian]
17. Litun P.P., Proskurnin N.V., Goptsiy T.I. Methods of field breeding experiments. Kharkiv, 1996. 271 p. [in Russian]
18. Methodology of state trials of agricultural crop varieties. Issue 1. General part. Kyiv, 2000. 100 p. [in Ukrainian]
19. Optimization of oilseed raw material production in Ukraine by 2025 (methodological guidelines). 4th supplemented edition/Edited by V.V. Kyrychenko. Instytut Roslynyystva im. V.Ya. Yurieva NAAN. Instytut Oliinykh Kultur NAAN. Seleksiino-Henetychniy Instytut-NTsNS, 2020. 108 p. [in Ukrainian]
20. Kyrychenko V.V., Petrenkova V.P., Kryvosheieva O.V. et al. Identification of morphological traits of sunflower (*Helianthus* L.). Kharkiv: Instytut Roslynyystva im. V.Ya. Yurieva UAAN. 2007. P. 22 – 25. [in Ukrainian]
21. Methods of expert examination of oilseed varieties for distinctness, uniformity and stability. Kyiv: Ministerstvo Ahrarnoi Polityky ta Prodovolstva Ukrainy, Ukrainskyi Instytut Ekspertyzy Sortiv Roslyn. 2023. P. 123-143. https://sops.gov.ua/uploads/page/Meth_DUS/2023/Method_oil_2023.pdf [in Ukrainian]
22. Methodology of the state scientific and technical examination of plant varieties. Methods for determining the quality indicators of plant production / Ed. By Tkachyk S. O. Vinnytsia, 2015. 160 p. [in Ukrainian]
23. Borovska I.Yu., Petrenkova V.P., Markova T.Yu., Cherniaieva I.M. Methodological guidelines for recording the number of pests and the prevalence of diseases in sunflower fields. Kharkiv: Instytut Roslynyystva im. V.Ya. Yurieva NAAN. 2013. 68 p. [in Ukrainian]
24. Ghaffari M., Toorchi M., Valizadeh M. Morpho-physiological screening of sunflower inbred lines under drought stress condition. Turkish Journal of Field Crops. 2012. Vol. 17(2). P. 185-190. <https://tarlabitkileridernegi.org/menuscript/index.php/tjfc/article/view/405/387>
25. Balalić I., Crnobarac J., Jocić S., Miklic V., Radic V., Dusanic N. Variability of head diameter in sunflower hybrids depending on planting date. Genetika. 2016. Vol. 48, No 3. P. 983-990. <https://doi.org/10.2298/GENSR1603983B>
26. Krstić M., Mladenov V., Čuk N., Ovuka J., Gvozdenac S., Krstić J., Miklič V. Agro-morphological traits of inbred sunflower lines and their genetic assessment. Contemporary Agriculture. 2022. Vol. 71(1-2). P. 87-95. <https://doi.org/10.2478/contagri-2022-0013>
27. Umarani E., Saritha A., Ramanjaneyulu A. Estimation of genetic parameters in sunflower (*Helianthus annuus* L.) germplasm lines for yield and its contributing traits. International Journal of Environment and Climate Change. 2022. Vol. 12. P. 936-942. <https://doi.org/10.9734/ijecc/2022/v12i121533>
28. Nosal O.O., Vedmedieva K.V., Makliak K.M., Leonova N.M. Economic evaluation of large-fruited sunflower hybrids. Naukovo-Tekhnichniy Biuleten Instytutu Oliinykh Kultur NAAN. 2018. No 25. P. 83-95. https://bulletin.imk.zp.ua/pdf/2018/25/Nosal_25.pdf [in Ukrainian]

Надійшла до редакції 19.05.2025 р.
Received 19.05.2025

УДК: 633.854:661.162:631.8

Ю.Є. Огурцов*, Ю.І. Буряк, О.В. Чернобаб, Л.М. Махнова, С.М. Волошина
Підвищення урожайності батьківських компонентів соняшнику за допомогою регуляторів росту та мікродобрив

Інститут рослинництва ім. В. Я. Юр'єва НААН України, Харків, Україна

**E-mail: ogurcsow@gmail.com*

UDC: 633.854:661.162:631.8

Yu.Ye. Ohurtsov*, Yu.I. Buriak, O.V. Chernobab, L.M. Makhnova, S.M. Voloshyna
Increasing the Yield of Sunflower Parent Components with the Help of Growth Regulators and Micro-Fertilizers

Yuriev Plant Production Institute of NAAS of Ukraine, Kharkiv, Ukraine

**E-mail: ogurcsow@gmail.com*

Реферат: Низька насіннева продуктивність батьківських ліній (закріплювачів стерильності і відновників фертильності) стримує швидке впровадження у виробництво конкурентоспроможних простих гібридів соняшнику. Мета роботи – вивчення впливу комбінованого застосування регуляторів росту і мікродобрив різного походження на ріст, розвиток, урожайність та посівні якості нових ліній соняшнику, розробка ефективних способів їх підвищення. Дослідження проводили на полях Інституту рослинництва ім. В. Я. Юр'єва НААН України у 2021-2024 рр. Вивчали батьківські компоненти простих гібридів соняшнику Сх 66А, Сх 588А, Х 1814В, Х 2283В; регулятори росту АКМ, Ендofіт L1 і Антистрес; мікродобрива Райкат Старт, Мікрокат Олійний, Амінокат 30, Атланте, Ендобор. Передпосівну обробку препаратами АКМ і Райкат Старт проводили одночасно з протруюванням насіння. Обприскування рослин комбінаціями препаратів проводили у фазах 4-х або 4-х і 6-ти пар листків соняшнику. Встановлено, що залежно від комбінації препаратів і способу їх застосування площа листків лінії Сх 66А збільшилася в середньому на 1,5-3,6 тис. м²/га, а густина рослин перед збиранням – на 0,7-1,8 тис. шт./га; лінії Сх 588А – відповідно на 1,5-4,3 тис. м²/га і на 1,5-2,6 тис. шт./га; лінії Х 1814В – відповідно на 2,0-4,1 тис. м²/га і на 0,7-1,8 тис. шт./га; а лінії Х 2283А – відповідно на 0,4-1,7 тис. м²/га і на 1,5-3,3 тис. шт./га. Передпосівна обробка насіння препаратами АКМ і Райкат Старт зумовила підвищення урожайності ліній соняшнику в середньому на 9-13%, передпосівна обробка з наступним обприскуванням комбінаціями препаратів у фазі 4-х пар листків – на 8-16%, а передпосівна обробка з наступними обприскуваннями у фазах 4-х і 6-ти пар листків – на 11-18%. Урожайність ліній Сх 66А і Х 1814В була найвищою при застосуванні препаратів АКМ (0,2 л/т); Антистрес (1,7 кг/га); Ендofіт L1 (0,2 л/га); Ендобор (0,48 кг/га) у два або три етапи (відповідно 0,84 і 0,72 т/га). Урожайність лінії Сх 588А була найвищою при застосуванні препаратів АКМ (0,2 л/т); Антистрес (1,7 кг/га); Ендofіт L1 (0,2 л/га); Ендобор (0,48 кг/га) у три етапи (1,26 т/га), а лінії Х 2283В – при застосуванні у три етапи препаратів Райкат Старт (2,5 л/т); Мікрокат Олійний (0,5 л/га); Атланте (0,5 л/га); Амінокат, 30 % (0,5 л/га або 1,19 т/га).

Ключові слова: соняшник (*Helianthus annuus* L.), регулятори росту, мікродобрива, схожість, густина рослин, площа листя, урожайність

Abstract: Low seed productivity of parental lines (sterility fixers and fertility restorers) hinders the rapid introduction into production of competitive simple sunflower hybrids. The purpose of this study was investigate the effects of combinations of growth regulators and microfertilizers of different origins on the growth, development, yield and sowing quality of new sunflower lines and to develop effective methods for their improvement. The study was conducted in the fields of the Yuriev Plant Production Institute of NAAS in 2021-2024 were applied. The parental components of simple sunflower hybrids 'Skh66A', 'Skh588A', 'Kh1814V', and 'Kh2283V' were studied; growth regulators AKM, Endophyte L1 and Antistress as well as microfertilizers Raycat Start, Microcat Oil Crops, Aminocat 30, Atlante, and Endobor. Pre-sowing treatment with AKM and Raycat Start was carried out simultaneously with seed dressing. Plants were sprayed with combinations of agents in the phases of 4 or 4 and 6 sunflower leaf

pairs. It was found that, depending on combinations of agents and methods of their application, the leaf area in line 'Skh66A' increased on average by 1,500-3,600 m²/ha and the pre-harvest plant density – by 700-1,800 plants/ha; in line 'Skh588A', these parameters increased by 1,500-4,300 m²/ha and 1,5-2,6 plants/ha, respectively; in line 'Kh1814V' – by 2,000-4,100 m²/ha and 700-1,800 plants/ha, respectively; and in line 'Kh2283A' – by 400-1,700 m²/ha and 1,500-3,300 plants/ha, respectively. Pre-sowing treatment of seeds with AKM and Raycat Start increased the yield of the sunflower lines on average by 9-13%; pre-sowing treatment and subsequent spraying with combinations of agents in the phase of 4 leaf pairs – by 8-16%; and pre-sowing treatment with subsequent spraying in the phases of 4 and 6 leaf pairs – by 11-18%. Lines 'Skh66A' and 'Kh1814V' yielded the most when treated with AKM 0.2 L/t, Antistress 1.7 kg/ha, Endophyte L1 0.2 L/ha, and Endobor 0.48 kg/ha in two or three stages (0.84 and 0.72 t/ha, respectively). The yield of line 'Skh588A' reached the maximum after the application of AKM 0.2 L/t, Antistress 1.7 kg/ha, Endophyte L1 0.2 L/ha, and Endobor 0.48 kg/ha in three stages (1.26 t/ha); the yield of line 'Kh2283V' was maximal (1.19 t/ha) when Raycat Start 2.5 L/t, Microcat Oil Crops 0.5 L/ha, Atlante 0.5 L/ha, and Aminocat 30% 0.5 L/ha were used in three stages.

Key words: sunflower (*Helianthus annuus* L.), growth regulators, microfertilizers, germination, plant density, leaf area, yield

Вступ

Відомо, що основною олійною культурою в Україні є соняшник. Нині посіви соняшнику у виробництві представлені здебільшого простими гібридами, що характерно як для вітчизняних, так і для іноземних компаній [1]. Разом з тим, як зазначає Б. Вареник, найменш рентабельним є виробництво насіння у простих гібридів, через те, що на всіх етапах насінництва насіння отримують з низьковрожайних самозапильних ліній [2].

Низька насіннева продуктивність батьківських ліній (закріплювачів стерильності і відновників фертильності) стримує швидке впровадження у виробництво нових конкурентоспроможних простих гібридів соняшнику, що погіршує фінансовий стан їх оригінаторів в умовах жорсткої конкуренції на ринку насіння. Тому актуальною є розробка технологічних способів вирішення цієї проблеми, зокрема шляхом стимуляції ростових і репродуктивних процесів соняшнику за допомогою комплексного застосування регуляторів росту та мікродобрив.

Нині застосування регуляторів росту рослин стало важливим елементом екологічно безпечних ресурсозберігаючих технологій вирощування різних сільськогосподарських культур, що забезпечують нормальний розвиток рослинного організму. Вони поліпшують використання поживних речовин з ґрунту та добрив, що сприяє підвищенню врожайності та якості продукції [3-7]. Дослідження з вивчення ефективності застосування регуляторів росту при вирощуванні гібридів соняшнику товарного призначення проводяться у багатьох науково-дослідних установах України та зарубіжжя, а їх результати свідчать про перспективність цього напрямку досліджень [5-14].

Introduction

It is known that sunflower is the main oilseed crop in Ukraine. Currently, sunflower is mostly represented by simple hybrids in production, which is typical for both domestic and foreign companies [1]. At the same time, as B. Varenik noted, simple hybrids' seed production is the least profitable because of the fact that seeds are obtained from low-yielding self-pollinated lines at all stages of seed production [2].

Low seed productivity of parental lines (sterility fixers and fertility restorers) hinders the rapid introduction into production of new competitive simple sunflower hybrids, worsening the financial situation of their originators experiencing fierce competition in the seed market. Therefore, the development of technological methods for solving this problem is relevant, in particular by stimulating sunflower growth and reproduction through complex application of growth regulators and microfertilizers.

Nowadays, the use of plant growth regulators has become an important component of environmentally friendly, resource-saving technologies for growing different crops, ensuring the normal development of the plant organism. They improve the absorption of nutrients and fertilizers from soil, increasing the yield and quality of products [3-7]. Studies on the effectiveness of growth regulators in commercial sunflower hybrid cultivation are conducted in many research institutions in Ukraine and abroad and their results indicate the prospects of this research field [5-14].

Along with growth regulators,

Поряд з регуляторами росту використання мікродобрив також дає змогу оптимізувати ріст рослин і підвищити позитивну дію макроелементів У багатьох випадках дефіцит мікроелементів проявляється у прихованій формі і цю нестачу неможливо компенсувати іншими елементами [15]. Застосування мікроелементів у невеликих кількостях дозволяє не тільки підвищити урожай у середньому на 10–12%, але й підвищити вміст олії у насінні соняшнику [15–19].

Дослідження, проведені в Інституті рослинництва ім. В.Я. Юр'єва НААН у 2011–2020 рр., свідчать про агрономічну і економічну доцільність застосування нових регуляторів росту рослин та мікродобрив з метою підвищення насінневої продуктивності батьківських компонентів соняшнику [20]. При попередньому вивченні дії 10 регуляторів росту, біопрепарату і 4 мікродобрив на 7 материнських і 7 батьківських лініях соняшнику встановлено, що на ефективність кожного препарату істотно впливає сортова реакція батьківських компонентів, а також нестабільність результатів за роками досліджень.

Метою даної роботи, яку проводили у 2021–2024 рр., стало вивчення впливу комплексного або комбінованого застосування регуляторів росту і мікродобрив різного походження на ріст, розвиток, урожайність та посівні якості нових батьківських і материнських ліній соняшнику селекції Інституту рослинництва ім. В.Я. Юр'єва НААН.

Методика

Дослідження проводили на полях IP ім. В. Я. Юр'єва НААН. Ґрунти – чорнозем типовий середньогумусний слабовилужений. Попередник соняшнику – ячмінь ярий (2021, 2024 р.) та жито озиме (2023 р.).

Вивчали батьківські компоненти гібридів соняшнику: материнські лінії – закріплювачі стерильності Сх66А і Сх588А та батьківські лінії – відновники фертильності Х 1814В і Х 2283В (оригінатор Інститут рослинництва ім. В.Я. Юр'єва НААН). У польових дослідах використовували регулятори росту АКМ (ПК, містить: іонол, 25 г/л, диметилсульфоксид, 37,5 г/л, поліетиленгліколь-400, 230 г/л, поліетиленгліколь-1500, 540 г/л); Ендофіт L1 (ПК, містить: комплекс ауксинів, гіберелінів, цитокінінів та інших біологічно-активних речовин, 5,0 г/л) (далі Ендофіт) і Антистрес (ПА, містить: Ендофіт L1 – 11,77 г/кг, гумат натрію – 1,1 г/кг, гумат калію – 2,2 г/кг,

microfertilizers also allow for optimization of plant growth and enhancement of positive effects of macronutrients. In many cases, micronutrient deficiencies are latent and such deficiencies cannot be compensated for by other nutrients [15]. Micronutrients in small quantities can increase not only the yield by an average of 10–12% but also the oil content in sunflower seeds [15–19].

Studies conducted at the Plant Production Institute named after V.Ya. Yuriev of NAAS in 2011–2020 indicate the agronomic and economic feasibility of using new plant growth regulators and microfertilizers to increase the seed productivity of sunflower parental components [20]. In a previous study of 10 growth regulators, a biological and 4 microfertilizers on 7 female and 7 male sunflower lines, it was found that the effectiveness of each agent significantly depended on the parental components responses and varied from year to year.

The purpose of this study, which was carried out in 2021–2024, was to investigate the impact of complex or combined application of growth regulators and microfertilizers of different origins on the growth, development, yield and sowing quality of new male and female sunflower lines bred by the Yuriev Plant Production Institute of NAAS.

Methods

The study was carried out in the fields of the Yuriev Plant Production Institute of NAAS. The soil is typical medium-humus, slightly leached black soil. The forecrop of sunflower was spring barley (2021, 2024) or winter rye (2023).

The following parents of sunflower hybrids were studied: female lines - sterility fixers 'Skh66A' and 'Skh588A' and male lines - fertility restorers 'Kh1814V' and 'Kh2283V' (originator - Yuriev Plant Production Institute of NAAS). In the field experiments, the following growth regulators were used: AKM (SC; the formulation contains ionol 25 g/L, dimethyl sulfoxide 37.5 g/L, polyethylene glycol-400 230 g/L, polyethylene glycol-1500 540 g/L), Endophyte L1 (SC; the formulation contains auxins, gibberellins, cytokinins and other biologically active substances, 5.0 g/L) (hereinafter Endophyte) and Antistress (the formulation contains Endophyte L1 11.77 g/kg, sodium

гліцерин – 34,68 г/кг, поліетиленоксид 400 – 81,18 г/кг, поліетиленоксид 1500 – 190,59 г/кг, калій дигідрофосфат – 588,24 г/кг, диметилсульфоксид – 20,03 г/кг) (виробник ПВКФ «Імпторгсервіс», Україна); мікродобрива Райкат Старт (містить: α -амінокислоти – 4,0%; цитокініни та ауксини – 0,05%; полісахариди – 15,0%; N – 4,0%; P₂O₅ – 8,0%; K₂O – 3,0% Fe – 0,1%; B – 0,03%; Zn – 0,02%); Мікрокат Олійний (містить: вільні α -амінокислоти – 4,0%; N – 3,0%; P₂O₅ – 1,0%; K₂O – 12,0%; Fe – 0,3%; B – 0,03%; Zn – 0,02%; Mn – 0,1%; CaO – 0,4%; Mo – 0,01%; Cu – 0,01%; B – 1,0%); Атланте (містить: P₂O₅ – 30%; K₂O – 20%) (виробник компанія «Атлантика Агрікола», Іспанія), а також ЕНДО CuZnB марки Ендобор (містить B – 10,42%; Mg – 2,13%; S – 1,63%) (далі Ендобор) (виробник ПВКФ «Імпторгсервіс», Україна).

Передпосівну обробку насіння регуляторами росту і мікродобривами поєднували з протруєнням препаратами Баріон, 3 л/т + Екзор, 6 л/т у всіх варіантах досліду. Сівбу проводили у в оптимальні строки сівалкою «Клен-2,8» з нормою висіву 60-65 тис. шт. на 1 га. Площа облікової ділянки становила 25 м², повторність чотириразова, розміщення ділянок систематичне.

Обприскування рослин регуляторами росту та мікродобривами проводили у фазах чотирьох або чотирьох і шести пар листків за допомогою заплічного обприскувача за норми витрати робочого розчину 250 л/га.

Посівні якості насіння після обробки препаратами до посіву і після збирання урожаю визначали згідно з ДСТУ 4138-2002 [21]. Площу листків соняшнику у фазі формування кошиків визначено експрес-методом за методикою Л.С. Осіпової та ін. [22].

Інші польові дослідження виконували за загальноприйнятими методиками. Урожайність насіння соняшнику визначено методом суцільного поділянкового обмолоту комбайном «Sampo-130». з подальшим перерахуванням на 10% вологість та 100% чистоту. Статистичну обробку результатів проведено за допомогою Excel [23].

Результати та обговорення

За даними Харківського регіонального центру з гідрометеорології, середня температура повітря за травень - вересень (період вегетації соняшнику) у 2021, 2023-2024 рр. відповідно на 1,5; 1,3 і 2,5°C перевищила

humate 1.1 g/kg, potassium humate 2.2 g/kg, glycerol 34.68 g/kg, polyethylene oxide 400 81.18 g/kg, polyethylene oxide 1500 190.59 g/kg, potassium dihydrogen phosphate 588.24 g/kg, and dimethyl sulfoxide 20.03 g/kg) (manufacturer Private Enterprise Production-Commercial Company "Imptorhservis", Ukraine). The following microfertilizers were tested: Raycat Start (α -amino acids – 4.0%, cytokinins and auxins – 0.05%, polysaccharides – 15.0%, N – 4.0%, P₂O₅ – 8.0%, K₂O – 3.0%, Fe – 0.1%, B – 0.03%, and Zn – 0.02%), Microcat Oil Crops (free α -amino acids – 4.0%, N – 3.0%, P₂O₅ – 1.0%, K₂O – 12.0%, Fe – 0.3%, B – 0.03%, Zn – 0.02%, Mn – 0.1%, CaO – 0.4%, Mo – 0.01%, Cu – 0.01%, and B – 1.0%), Atlante (P₂O₅ – 30%, K₂O – 20%) (manufacturer Atlantica Agricola, Spain), and ENDO CuZnB [Endobor brand] (B – 10.42%, Mg – 2.13%, S – 1.63%) (hereinafter Endobor) (manufacturer Private Enterprise Production-Commercial Company "Imptorhservis", Ukraine).

Pre-sowing treatment of seeds with growth regulators and micronutrients was combined with dressing by Barion 3 L/t + Ekzor 6 L/t in all experiments. Sowing was carried out with a seeder Klen-2.8 within optimal timeframes. The seeding rate was 60,000-65,000 seeds per 1 ha. The record plot area was 25 m², in four replications. The plots were arranged systematically.

Plants were sprayed with growth regulators and micronutrients in the phases of four or four and six leaf pairs using a knapsack sprayer. The working solution application rate was 250 L/ha.

The pre-sowing and post-harvest sowing qualities of seeds were determined in accordance with DSTU 4138-2002 [21]. The sunflower leaf area in the head formation phase was determined by L.S. Osipova et al.'s method [22].

The other field measurements were conducted by conventional methods. The sunflower seed yield was determined by complete by-plot threshing with a Sampo-130 harvester followed by calculating for 10% moisture and 100% purity. The data were statistically processed in Excel [23].

Results and Discussion

According to Kharkiv Regional Center for Hydrometeorology, the mean air temperature in May - September (sunflower vegetation period) in 2021, 2023-2024 was higher than the mean multi-year value (18.6°C)

середню багаторічну норму (18,6°C). Сума опадів за цей період у 2021 і 2024 рр. була відповідно на 83,9 і 157,5 мм меншою, а у 2023 р. – на 20,9 мм більшою від норми (269,1 мм).

Встановлено, що лабораторна схожість насіння батьківських компонентів соняшнику Сх 588А і Х 1814В в результаті передпосівної обробки препаратами АКМ і Райкат Старт у порівнянні з контролем, в середньому за 2021-2024 рр., істотно не змінювалася і становила відповідно 90,0-90,8% і 97,8-98,0% проти 90,8 і 98,2% (табл. 1). Показники лабораторної схожості насіння материнської лінії Сх 66А при застосуванні препаратів АКМ і Райкат Старт перевищили контрольний показник в середньому на 1,6 і 1,0% відповідно при $НІР_{0,05}=1,9$, а батьківської лінії Х2283В – на 2,3 і 0,7% відповідно при $НІР_{0,05}=1,7$.

by 1.5, 1.3 and 2.5°C, respectively. The precipitation amount during this period in 2021 and 2024 was 83.9 and 157.5 mm less than the mean multi-year value, respectively, and in 2023, it was 20.9 mm more than the the mean multi-year value (269.1 mm).

It was found that the mean laboratory germination of sunflower seeds of parents ‘Skh 588A’ and ‘Kh1814V’ in 2021-2024 did not change significantly after pre-sowing treatment with AKM or Raycat Start compared to the control and was 90.0-90.8% and 97.8-98.0%, respectively, vs. 90.8 and 98.2% (Table 1). The laboratory germination of seeds of female line ‘Skh66A’ treated with AKM and Raycat Start exceeded the control value on average by 1.6 and 1.0%, respectively ($LSD_{0,05}=1.9$); in male line ‘Kh2283V’, the difference was by 2.3 and 0.7%, respectively ($LSD_{0,5}=1.7$).

Таблиця 1. Лабораторна схожість насіння соняшнику залежно від способу його передпосівної обробки, 2021-2024 рр.

Table 1. Laboratory germination of sunflower seeds depending on the pre-sowing treatment methods, 2021-2024

Спосіб передпосівної обробки насіння / Pre-sowing treatment method	Материнські лінії / Female lines		Батьківські лінії / Male lines	
	Сх66А / Skh66А	Сх588А / Skh588А	Х1814В / Kh1814V	Х2283В / Kh2283V
Баріон - 3 л/т + Екзор - 6 л/т (контроль) / Varion 3 L/t + Ekzor 6 L/t (control)	87,2	90,8	98,2	88,5
Баріон - 3 л/т + Екзор - 6 л/т + АКМ - 0,2 л/т / Varion 3 L/t + Ekzor 6 L/t + AKM 0.2 L/t	88,8	90,0	98,0	91,8
Баріон - 3 л/т + Екзор - 6 л/т + Райкат Старт - 2,5 л/т / Varion 3 L/t + Ekzor 6 L/t + Raycat Start 2,5 L/t	88,2	90,8	97,8	89,2
$НІР_{0,05} / LSD_{0,05}$	1,9	1,8	1,7	1,7

Густота рослин у фазі повних сходів та перед збиранням материнських і батьківських ліній соняшнику у варіантах із застосуванням регуляторів росту рослин і мікродобрив різною мірою перевищувала контрольні показники. Так, в середньому за три роки у трьох варіантах досліді, де насіння перед сівою обробляли мікродобривом Райкат Старт (2,5 л/т), густота сходів лінії Сх 66А становила 53,8-55,5 тис. шт./м², а у варіантах з регулятором росту АКМ (0,2 л/т) – 54,7-56,0 тис. шт./м², при показнику на контролі 53,5 тис. шт./м² ($НІР_{0,05}=1,29$) (табл. 2). У варіантах досліді з передпосівною обробкою насіння мікродобривом Райкат Старт густота сходів лінії Сх 588А перевищувала показник контролю (58,7 тис. шт./га) на 2,1-3,7 тис. шт./га, а у варіантах з регулятором росту АКМ – на 1,3 – 2,1 тис. шт./га ($НІР_{0,05}=2,81$).

The plant density of the plant growth regulator- and microfertilizer-treated female and male sunflower lines in the phase of complete emergence and before harvesting was higher (to varying degrees) than the control values. On average across three years in three experiments, where seeds were treated with the microfertilizer Raycat Start (2.5 l/t) before sowing, the seedling density in line ‘Skh66A’ was 53,800-55,500 plants/m²; in the experiments with the growth regulator AKM (0.2 L/t); it was 54,700-56,000 plants/m² vs. the control value of 53,500 plants/m² ($LSD_{0,05}=1.29$) (Table 2). In the experiments with pre-sowing seed treatment with the microfertilizer Raycat Start, the seedling density in line ‘Skh588A’ exceeded the control value (58,700 plants/ha) by 2,100-3,700 plants/ha; in the variants with the growth regulator AKM, it was higher by 1,300 – 2,100 plants/ha ($LSD_{0,5}=2.81$).

Таблиця 2. Густота рослин материнських ліній соняшнику залежно від способу застосування регуляторів росту і мікродобрив, 2021, 2023, 2024 рр. (тис. шт./м²)

Table 2. Plant density in the parental sunflower lines depending on the application methods of growth regulators and microfertilizers, 2021, 2023, 2024 (plants/m²)

Спосіб застосування регуляторів росту рослин та мікродобрив, препарат, норма витрати / Application method of growth regulators and microfertilizers, application rate			Материнські лінії / Female lines				Батьківські лінії / Male lines			
			Cx66A / Skh66A		Cx588A / Skh588A		Cx66A / Skh66A		Cx588A / Skh588A	
передпосівна обробка насіння / Pre-sowing seed treatment	обприскування рослин / Plant spraying		сходи / Emergenсе	перед збиранням / Pre-harvest	сходи / Emergenсе	перед збиранням / Pre-harvest	сходи / Emergenсе	перед збиранням / Pre-harvest	сходи / Emergenсе	перед збиранням / Pre-harvest
	у фазі 4 пар листків / 4-leaf pair phase	у фазі 6 пар листків / 6-leaf pair phase								
Контроль / Control	–	–	53,5	52,0	58,7	57,6	57,2	52,0	68,4	56,1
АКМ – 0,2 л/т / AKM 0.2 L/t	–	–	55,6	53,5	60,6	60,2	58,4	53,5	69,5	57,8
	Антистрес – 1,7 кг/га + Ендofіт L1 – 0,2 л/га + Ендобор – 0,48 кг/га / Antistress 1.7 kg/ha + Endophyte L1 0.2 L/ha + Endobor 0.48 kg/ha	–	54,7	52,8	60,8	59,7	60,1	52,8	71,6	59,4
	Антистрес – 1,7 кг/га + Ендofіт L1 – 0,2 л/га + Ендобор – 0,48 кг/га / Antistress 1.7 kg/ha + Endophyte L1 0.2 L/ha + Endobor 0.48 kg/ha	Антистрес – 1,7 кг/га + Ендofіт L1 – 0,2 л/га + Ендобор – 0,48 кг/га / Antistress 1.7 kg/ha + Endophyte L1 0.2 L/ha + Endobor 0.48 kg/ha	56,0	53,8	60,0	59,1	58,9	53,8	69,5	58,0
Райкат Старт - 2,5 л/т / Raycat Start 2.5 L/t	–	–	53,8	52,7	60,8	59,0	57,7	52,7	69,7	58,6
	Мікрокат Олійний – 0,5 л/га + Атланте – 0,5 л/га / Microcat Oil Crops 0.5 L/ha + Atlante 0.5 L/ha	–	55,5	53,2	62,4	60,2	59,9	53,2	71,2	58,6
	Мікрокат Олійний – 0,5 л/га + Атланте – 0,5 л/га / Microcat Oil Crops 0.5 L/ha + Atlante 0.5 L/ha	Мікрокат Олійний – 0,5 л/га + Амінокат, 30% - 0,5 л/га / Microcat Oil Crops 0.5 L/ha + Aminocat 30% 0.5 L/ha	54,3	53,1	60,8	59,6	59,0	53,1	70,4	57,6
НІР _{0,05} / LSD _{0,05}			1,29	1,77	2,81	1,92	1,52	1,94	1,43	1,80
Коефіцієнт кореляції (r) з урожайністю насіння / Coefficient of correlation with seed yield (r)			0,60	0,76*	0,46	0,67	0,77	0,54	0,71	0,85*

Примітка: * вірогідно при $p \leq 0.05$.

Note: * significant at $p \leq 0.05$.

В середньому за 2021, 2022, 2023 рр. у варіантах досліду, де насіння перед сівбою обробляли мікродобривом Райкат Старт (2,5 л/т) густина сходів батьківської лінії X 1814В становила 57,7 – 59,9 тис. шт./м², а у варіантах з регулятором росту АКМ (0,2 л/т) – 58,4 – 60,1 тис. шт./м², при густоті на контролі 57,2 тис. шт./м² (НІР_{0.05}=1,29) (табл. 3). У варіантах досліду з передпосівною обробкою насіння мікродобривом Райкат Старт густина сходів лінії X2283В перевищувала показник контролю (68,4 тис. шт./га) на 1,3 – 2,8 тис. шт./га, а у варіантах з регулятором росту АКМ – на 1,1 – 3,2 тис. шт./га (НІР_{0.05}=1,43).

Встановлено, що підвищена густина рослин материнських і батьківських ліній соняшнику в усіх варіантах із застосуванням досліджуваних регуляторів росту і мікродобрив зберігалася до збирання урожаю. У лінії Сх 66А вона перевищувала контроль на 0,7-1,8 тис. шт./га (НІР₀₅=1,77); у лінії Сх 588А – на 1,4-2,6 тис. шт./га (НІР₀₅=1,92); у лінії X 1814В – на 0,7-1,8 тис. шт./га (НІР_{0.05}=1,94); у лінії X2283В – на 1,5-3,3 тис. шт./га (НІР_{0.05}=1,80).

Прямий кореляційний зв'язок (r) між густиною рослин під час сходів і перед збиранням та урожайністю насіння у лінії Сх 66А становив відповідно 0,60 і 0,76; у лінії Сх588А – 0,46 і 0,67; у лінії X 1814В – 0,77 і 0,54, а у лінії X 2283В – 0,71 і 0,85.

Важливим ефектом стимуляції вегетативного розвитку соняшнику під впливом елементів технології вирощування, зокрема застосування регуляторів росту і мікродобрив, є збільшення площі листової поверхні [8, 15-17]. У наших дослідженнях встановлено статистично вірогідне збільшення площі листків усіх досліджуваних батьківських компонентів соняшнику в результаті застосування регуляторів росту і мікродобрив. Так, наприклад, у фазі утворення кошиків площа листків материнської лінії соняшнику Сх 66А у варіанті з передпосівною обробкою насіння регулятором росту АКМ (0,2 л/т) перевищила контроль на 1,5 тис. м²/га при НІР_{0.05}=1,11 (табл. 3). При поєднанні передпосівної обробки препаратом АКМ з обприскуванням у фазі 4 пар листків препаратами Антистрес (1,7 кг/га) + Ендофіт L1 (0,2 л/га) + Ендобор (0,48 кг/га) площа листя перевищила контроль на 3,0 тис. м²/га, а при поєднанні обробки насіння з подвійним обприскуванням у фази 4 і 6 пар листків – на 3,6 тис. м²/га.

On average for 2021, 2022, 2023, in the experiments where seeds were treated with the microfertilizer Raycat Start (2.5 L/t) before sowing, the seedling density in male line 'Kh1814V' was 57,700 – 59,900 plants/m²; and in the variants with the growth regulator AKM (0.2 L/t), it was 58,400 – 60,100 plants/m² vs. the control density of 57,200 plants/m² (LSD_{0.05}=1.29) (Table 3). In the experiments with pre-sowing treatment of seeds with the microfertilizer Raycat Start, the seedling density in line 'Kh2283V' exceeded the control value (68,400 plants/ha) by 1,300 – 2,800 plants/ha; in the variants with the growth regulator AKM, it was higher by 1,100-3,200 plants/ha (LSD_{0.05}=1.43).

It was found that the increased plant density of the female and male sunflower lines in all variants using the studied growth regulators and microfertilizers remained increased until harvest. In line 'Skh66A', it exceeded the control value by 700-1,800 plants/ha (LSD₀₅=1.77); in line 'Skh588A', it was higher by 1,400-2,600 plants/ha (LSD₀₅=1.92); in line 'Kh1814V', the difference was 700-1,800 plants/ha (LSD_{0.05}=1.94); in line 'Kh2283V', it was 1,500-3,300 plants/ha (LSD_{0.05}=1.80).

There was a direct correlation between in-emergence and pre-harvest plant density and seed yield in line 'Skh66A' (r = 0.60 and 0.76, respectively), in line 'Skh588A' (r = 0.46 and 0.67); in line 'Kh1814V' (r = 0.77 and 0.54), and in line 'Kh2283V' (r = 0.71 and 0.85).

An increase in the leaf surface is an important effect of stimulating the vegetative development of sunflower under the influence of cultivation technology components, in particular growth regulators and microfertilizers [8, 15-17]. In our study, there was a statistically significant increase in the leaf area in all studied sunflower parents resulted from the application of the growth regulators and microfertilizers. For example, in the head formation phase, the leaf area in female sunflower line 'Skh66A' whose seeds were treated with the growth regulator AKM (0.2 L/t) before sowing was larger than the control area by 1,500 m²/ha (LSD_{0.05}=1.11) (Table 3). When pre-sowing treatment of seeds with AKM was combined with spraying with Antistress (1.7 kg/ha) + Endophyte L1 (0.2 L/ha) + Endobor (0.48 kg/ha) in the 4 leaf pair phase, the leaf area was larger than the control value by 3,000 m²/ha; when pre-sowing treatment of seeds with AKM was combined with double spraying in the 4 and 6 leaf pairs phases, it was enlarged by 3,600 m²/ha.

Таблиця 3. Площа листків соняшнику залежно від способу застосування регуляторів росту і мікродобрив після збирання урожаю (тис. м²/га), 2021, 2023, 2024 рр.

Table 3. Post-harvest sunflower leaf area depending on the application methods of growth regulators and microfertilizers (m²/ha), 2021, 2023, 2024.

Спосіб застосування регуляторів росту рослин та мікродобрив, препарат, норма витрати / Application method of growth regulators and microfertilizers, application rate			Материнські лінії / Female lines		Батьківські лінії / Male lines	
передпосівна обробка насіння / Pre-sowing seed treatment	обприскування рослин / Plant spraying		Cx66A / Skh66A	Cx588A / Skh588A	Cx66A / Skh66A	Cx588A / Skh588A
	у фазі 4 пар листків / 4-leaf pair phase	у фазі 6 пар листків / 6-leaf pair phase				
Контроль / Control	–	–	20,6	24,9	21,4	15,6
АКМ – 0,2 л/т / АКМ 0.2 L/t	–	–	22,1	28,0	23,4	16,6
	Антистрес – 1,7 кг/га + Ендофіт L1 – 0,2 л/га + Ендобор – 0,48 кг/га / Antistress 1.7 kg/ha + Endophyte L1 0.2 L/ha + Endobor 0.48 kg/ha	–	23,6	28,4	24,6	16,6
	Антистрес - 1,7 кг/га + Ендофіт L1 - 0,2 л/га + Ендобор - 0,48 кг/га	Антистрес - 1,7 кг/га + Ендофіт L1 - 0,2 л/га + Ендобор - 0,48 кг/га	24,2	29,2	25,5	17,1
Райкат Старт - 2,5 л/т / Raycat Start 2.5 L/t	–	–	22,5	26,4	23,6	16,0
	Мікрокат Олійний – 0,5 л/га + Атланте – 0,5 л/га / Microcat Oil Crops 0.5 L/ha + Atlante 0.5 L/ha	–	22,5	28,4	24,8	17,3
	Мікрокат Олійний - 0,5 л/га + Амінокат, 30% - 0,5 л/га	Мікрокат Олійний - 0,5 л/га + Амінокат, 30% - 0,5 л/га	24,2	29,0	25,0	17,4
НІР _{0,05} / LSD _{0,05}			1,11	1,77	1,53	0,59
Коефіцієнт кореляції (r) з урожайністю насіння / Coefficient of correlation with seed yield (r)			0,85*	0,76*	0,89*	0,94*

Примітка: * вірогідно при $p \leq 0.05$.

Note: * significant at $p \leq 0.05$.

Площа листків батьківської лінії соняшнику X 1814В у варіанті з передпосівною обробкою насіння мікродобривом Райкат Старт (2,5 л/т) перевищила контроль на 2,2 тис. м²/га при НІР_{0,05}=1,53. При поєднанні передпосівної обробки препаратом Райкат Старт з обприскуванням у фазі 4 пар листків мікродобривами Мікрокат Олійний (0,5 л/га) + Атланте (0,5 л/га) площа листків перевищила контроль на 3,4 тис. м²/га, а при поєднанні обробки насіння з подвійним обприскуванням у фазах 4 і 6 пар листків – на 3,6 тис. м²/га.

Прямий кореляційний зв'язок площі листків з урожайністю встановлений на всіх батьківських компонентах соняшнику: для лінії Сх 66А коефіцієнт кореляції

The leaf area in male sunflower line 'Kh1814V' whose seeds were treated with the microfertilizer Raycat Start (2.5 L/t) before sowing was larger than the control one by 2,200 m²/ha (LSD_{0.05}=1.53). When pre-sowing treatment of seeds with Raycat Start was combined with spraying with the microfertilizers Microcat Oil Crops (0.5 L/ha) + Atlante (0.5 L/ha) in the 4-pair leaf phase, the leaf area exceeded the control value by 3,400 m²/ha; and when pre-sowing treatment of seeds with Raycat Start was combined with double spraying in the 4- and 6-pair leaf phases, it was enlarged by 3,600 m²/ha.

There was a direct correlation between leaf area and yield in all parental components of sunflower hybrids: for line 'Skh66A', the

становить 0,85; для лінії Сх 588А – 0,76; лінії Х 1814В – 0,89, а лінії Х 2283В – 0,94.

Аналіз урожайності засвідчив значні відмінності за цим показником між батьківськими компонентами соняшнику, а також різну реакцію на препарати та способи їх застосування. Так, в середньому за 2021, 2022 і 2023 рр. урожайність насіння материнської лінії Сх 66А у контрольному варіанті склала 0,74 т/га, а лінії Сх 588А – 1,08 т/га. (табл. 4).

Встановлено, що передпосівна обробка насіння регулятором росту АКМ зумовила підвищення урожайності ліній Сх 66А і Сх 588А відповідно на 0,08 і 0,12 т/га або в середньому на 11%. В результаті додаткових обприскувань рослин у фазах 4 пар або 4 і 6 пар листків сумішшю препаратів Антистрес (1,7 кг/га) + Ендофіт L1 (0,2 л/га) + Ендобор (0,48 кг/га) прибавка урожайності лінії Сх66А склала 0,10 т/га (14%) в обох варіантах, а лінії Сх 588А – 0,17 і 0,18 т/га або 16 і 17%, відповідно.

Передпосівна обробка насіння мікродобривом Райкат Старт (2,5 л/т) зумовила підвищення урожайності лінії Сх 66А в середньому на 0,08 т/га або 11%. Додаткові обприскування у фазі 4 пар листків сумішшю препаратів Мікрокат Олійний (0,5 л/га) + Атланте (0,5 л/га) або обприскування у фазі 4 пар листків сумішкою препаратів Мікрокат Олійний (0,5 л/га) + Атланте (0,5 л/га) і фазі 6 пар листків сумішшю препаратів Мікрокат Олійний (0,5 л/га) + Амінокат, 30% (0,5 л/га) не забезпечили додаткового збільшення урожайності лінії Сх 66А.

За передпосівної обробки насіння мікродобривом Райкат Старт (2,5 л/га) урожайність лінії Сх 558А зроста в середньому на 0,10 т/га або 9%; за додаткового обприскування у фазі 4-х пар листків – на 0,11 т/га або 10%, а за подвійного обприскування комплексом мікродобрив – на 0,16 т/га або 15%.

correlation coefficient was 0.85; for line 'Skh588A', it was 0.76; for line 'Kh1814V', it was 0.89; and for line 'Kh2283V', it was 0.94.

The yield analysis showed significant differences in this parameter between the parental sunflower lines; in addition, the lines had different responses to the applied agents and methods of their application. On average for 2021, 2022, and 2023, the seed yield of female line 'Skh66A' was 0.74 t/ha in the control; line 'Skh588A' yielded 1.08 t/ha (Table 4).

It was found that pre-sowing seed treatment with the growth regulator AKM increased the yield of lines 'Skh66A' and 'Skh588A' by 0.08 and 0.12 t/ha, respectively, or by an average of 11%. As a result of additional spraying of plants in the 4-pair leaf phase or in the 4- and 6-pair leaf phases with Antistress (1.7 kg/ha) + Endophyte L1 (0.2 L/ha) + Endobor (0.48 kg/ha), the yield of line 'Skh66A' was increased by 0.10 t/ha (14%) in both variants; line 'Skh588A' yielded 0.17 and 0.18 t/ha more, or plus 16 and 17%, respectively.

Pre-sowing seed treatment with the microfertilizer Raycat Start (2.5 L/t) increased the yield of line 'Skh66A' by an average of 0.08 t/ha, or 11%. Additional spraying with Microcat Oil Crops (0.5 L/ha) + Atlante (0.5 L/ha) in the 4-leaf pair phase or spraying with Microcat Oil Crops (0.5 L/ha) + Atlante (0.5 L/ha) in the 4-leaf pair phase and with Microcat Oil Crops (0.5 L/ha) + Aminocat 30% (0.5 L/ha) in the 6-leaf pair phase did not result in an additional increase in the yield of line 'Skh66A'.

Due to pre-sowing treatment of seeds with the microfertilizer Raycat Start (2.5 L/ha), the yield of line 'Skh558A' increased by an average of 0.10 t/ha or 9%; additional spraying in the phase of 4 leaf pairs increased the yield by 0.11 t/ha or 10% and with double spraying with the microfertilizer mixture increased it by 0.16 t/ha or 15%.

Таблиця 4. Урожайність батьківських компонентів соняшнику залежно від способу застосування регуляторів росту і мікродобрив, 2021, 2023, 2024 рр. (т/га)
Table 4. Yield of the parental sunflower components depending on the application methods of growth regulators and microfertilizers, 2021, 2023, 2024 (t/ha)

Спосіб застосування регуляторів росту рослин та мікродобрив, препарат, норма витрати / Application method of growth regulators and microfertilizers, application rate			Материнські лінії / Female lines		Батьківські лінії / Male lines	
передпосівна обробка насіння / Pre-sowing seed treatment	обприскування рослин / Plant spraying		Cx66A / Skh66A	Cx588A / Skh588A	Cx66A / Skh66A	Cx588A / Skh588A
	у фазі 4 пар листків / 4-leaf pair phase	у фазі 6 пар листків / 6-leaf pair phase				
Контроль / Control	–	–	0,74	1,08	0,63	1,01
АКМ – 0,2 л/т / АКМ 0.2 L/t	–	–	0,82	1,20	0,65	1,14
	–	–	0,84	1,25	0,72	1,15
	Антистрес – 1,7 кг/га + Ендофіт L1 – 0,2 л/га + Ендобор – 0,48 кг/га / Antistress 1.7 kg/ha + Endophyte L1 0.2 L/ha + Endobor 0.48 kg/ha	Антистрес – 1,7 кг/га + Ендофіт L1 – 0,2 л/га + Ендобор – 0,48 кг/га / Antistress 1.7 kg/ha + Endophyte L1 0.2 L/ha + Endobor 0.48 kg/ha	0,84	1,26	0,72	1,16
Райкат Старт - 2,5 л/т / Raycat Start 2.5 L/t	–	–	0,82	1,18	0,66	1,10
	–	–	0,81	1,19	0,68	1,17
	Мікрокат Олійний – 0,5 л/га + Атланте – 0,5 л/га / Microcat Oil Crops 0.5 L/ha + Atlante 0.5 L/ha	Мікрокат Олійний – 0,5 л/га + Атланте – 0,5 л/га / Microcat Oil Crops 0.5 L/ha + Atlante 0.5 L/ha л/га	0,82	1,24	0,70	1,19
HIP _{0,05} / LSD _{0,05}			0,02	0,10	0,05	0,06

Урожайність насіння батьківської лінії X 1814В у контрольному варіанті в середньому за три роки склала 0,63 т/га, тоді як лінії X 2283В – 1,01 т/га.

Встановлено, що в результаті передпосівної обробки насіння регулятором росту АКМ (0,2 л/га) підвищення урожайності лінії X 1814В на 0,02 т/га було статистично неістотним. Додаткові ж обприскування рослин у фазах 4 пар або 4 і 6 пар листків сумішшю препаратів Антистрес (1,7 кг/га) + Ендофіт L1 (0,2 л/га) + Ендобор (0,48 кг/га) зумовили однакову вірогідну прибавку урожайності лінії X 1814В на 0,09 т/га (14%) в обох варіантах.

Передпосівна обробка насіння препаратом АКМ (0,2 л/га) зумовила статистично значиме підвищення урожайності лінії X 2283В (на 0,13 т/га або 13%). Додаткові одно- або дворазові обприскування сумішшю препаратів Антистрес (1,7 кг/га) + Ендофіт L1 - 0,2 л/га + Ендобор

The seed yield of male lines ‘Kh1814V and ‘Kh2283V’ averaged 0.63 and 1.01 t/ha over three years in the control, respectively.

It was found that pre-sowing seed treatment with the growth regulator АКМ (0.2 L/ha) increased the yield of line ‘Kh1814V’ by 0.02 t/ha, but this difference was statistically insignificant. Additional spraying of plants with Antistress (1.7 kg/ha) + Endophyte L1 (0.2 L/ha) + Endobor (0.48 kg/ha) in the 4-leaf pair phase or in the 4- and 6-leaf pair phases resulted in the same significant increase in the yield of line ‘Kh1814V’ by 0.09 t/ha (14%) in both variants.

Pre-sowing seed treatment with АКМ (0.2 L/ha) resulted in a statistically significant increase in the yield of line ‘Kh2283V’ (by 0.13 t/ha or 13%). Additional single or double spraying with Antistress (1.7 kg/ha) + Endophyte L1 (0.2 L/ha) + Endobor (0.48

(0,48 кг/га) забезпечили незначне підвищення урожайності на 0,01 і 0,02 т/га, відповідно.

За передпосівної обробки насіння мікродобривом Райкат Старт (2,5 л/га) приривок врожайності лінії X 1814В на 0,03 т/га була статистично неістотною, проте за додаткового обприскування у фазі 4 пар листків сумішшю препаратів Мікрокат Олійний - 0,5 л/га + Атланте - 0,5 л/га приривок склала 0,05 т/га або 8%, а за подвійного обприскування комплексом мікродобрив Мікрокат Олійний (0,5 л/га) + Амінокат, 30 % (0,5 л/га) – 0,07 т/га або 11%.

Передпосівна обробка насіння мікродобривом Райкат Старт (2,5 л/га) зумовила підвищення урожайності лінії соняшнику X 2283В на 0,09 т/га або 9%. Додаткові обприскування у фазі 4 пар листків сумішшю препаратів Мікрокат Олійний (0,5 л/га) + Атланте (0,5 л/га) або обприскування у фазі 4 пар листків сумішшю препаратів Мікрокат Олійний (0,5 л/га) + Атланте (0,5 л/га) і фазі 6 пар листків сумішшю препаратів Мікрокат Олійний (0,5 л/га) + Амінокат, 30% (0,5 л/га) забезпечили істотне збільшення урожайності лінії X 2283В – відповідно на 0,16 і 0,18 т/га.

Важливо відзначити, що максимальні показники врожайності насіння усіх досліджуваних ліній соняшнику одержані у варіантах, де регулятори росту і мікродобрива застосовували у три етапи: передпосівна обробка насіння, обприскування рослин у фазі 4 пар листя і обприскування у фазі 6 пар листя.

Важливим критерієм оцінки ефективності технологічних заходів у насінництві сільськогосподарських культур, зокрема соняшнику, є визначення їх впливу на посівні якості виробленого насіння [24]. У наших дослідженнях встановлено різну реакцію батьківських компонентів соняшнику на застосування регуляторів росту і мікродобрив за цим показником. Так, в середньому за три роки, лабораторна схожість насіння материнської лінії Сх 66А, виробленого за різних способів застосування регулятора росту АКМ, перевищувала контроль на 3,4-4,7%, а мікродобрива Райкат Старт – на 0,4-3,7% при показнику на контролі 88,3% ($HP_{0.05}=3,7$) (табл. 5).

kg/ha) provided a slight increase in the yield by 0.01 and 0.02 t/ha, respectively.

Pre-sowing seed treatment with the microfertilizer Raycat Start (2.5 L/ha) increased the yield of line 'Kh1814V' by 0.03 t/ha, but this difference was statistically insignificant; however, due to additional spraying with Microcat Oil Crops (0.5 L/ha) + Atlante (0.5 L/ha) in the phase of 4 pairs of leaves, the increase amounted to 0.05 t/ha or 8%; double spraying with Microcat Oil Crops (0.5 L/ha) + Aminocat 30% (0.5 L/ha) increased the yield by 0.07 t/ha or 11%.

Pre-sowing seed treatment with the microfertilizer Raycat Start (2.5 L/ha) increased the yield of sunflower line 'Kh2283V' by 0.09 t/ha or 9%. Additional spraying with Microcat Oil Crops (0.5 L/ha) + Atlante (0.5 L/ha) in the 4-leaf pair phase or spraying with Microcat Oil Crops (0.5 L/ha) + Atlante (0.5 L/ha) in the 4-leaf pair phase and with Microcat Oil Crops (0.5 L/ha) + Aminocat 30% (0.5 L/ha) in the 6-leaf pair phase provided a significant increase in the yield of line 'Kh2283V' (plus 0.16 and 0.18 t/ha, respectively).

It is important to note that the maximum seed yield of all studied sunflower lines was harvested in the experiments where the growth regulators and microfertilizers were applied in three stages: pre-sowing seed treatment, spraying of plants in the 4-leaf pair phase and spraying in the 6-leaf pair phase.

Effects of technological approaches on the sowing quality of harvested seeds are important criteria in assessing the effectiveness of these technological measures in seed production of agricultural crops, in particular sunflower [24]. In our study, the parental components of sunflower hybrids differently responded to the growth regulators and microfertilizers in terms of this parameter. On average across three years, the laboratory germination of seeds of female line 'Skh66A' exceeded the control value by 3.4-4.7% in the AKM experiments and by 0.4-3.7% in the Raycat Start experiments vs. 88.3% in the control ($LSD_{0.05}=3.7$) (Table 5).

Таблиця 5. Лабораторна схожість виробленого насіння соняшнику залежно від способу застосування регуляторів росту і мікродобрив, 2021, 2023, 2024 рр. (%)

Table 5. Laboratory germination of harvested sunflower seeds depending on the application methods of growth regulators and microfertilizers, 2021, 2023, 2024 (%)

Спосіб застосування регуляторів росту рослин та мікродобрив, препарат, норма витрати / Application method of growth regulators and microfertilizers, application rate			Материнські лінії / Female lines		Батьківські лінії / Male lines	
передпосівна обробка насіння / Pre-sowing seed treatment	обприскування рослин / Plant spraying		Cx66A / Skh66A	Cx588A / Skh588A	Cx66A / Skh66A	Cx588A / Skh588A
	у фазі 4 пар листків / 4-leaf pair phase	у фазі 6 пар листків / 6-leaf pair phase				
Контроль / Control	–	–	88,3	87,3	96,3	80,3
АКМ – 0,2 л/т / AKM 0.2 L/t	–	–	91,7	92,7	97,3	82,0
	Антистрес – 1,7 кг/га + Ендофіт L1 – 0,2 л/га + Ендобор – 0,48 кг/га / Antistress 1.7 kg/ha + Endophyte L1 0.2 L/ha + Endobor 0.48 kg/ha	–	93,0	91,3	96,7	81,0
	–	Антистрес - 1,7 кг/га + Ендофіт L1 - 0,2 л/га + Ендобор - 0,48 кг/га	91,7	90,7	97,3	82,3
Райкат Старт - 2,5 л/т / Raycat Start 2.5 L/t	–	–	88,7	90,3	98,0	80,7
	Мікрокат Олійний – 0,5 л/га + Атланте – 0,5 л/га / Microcat Oil Crops 0.5 L/ha + Atlante 0.5 L/ha	–	92,0	89,3	97,3	80,7
	–	Мікрокат Олійний - 0,5 л/га + Амінокат, 30% - 0,5 л/га	91,7	92,3	96,3	81,7
HIP _{0,05} / LSD _{0,05}			3,7	2,8	2,5	2,2

За всіх способів застосування регулятора росту АКМ лабораторна схожість насіння виробленого насіння лінії Cx 588A статистично вірогідно перевищувала контроль (87,7%) на 3,4-5,4% при $HP_{05}=2,8$. Також статистично значимим було підвищення лабораторної схожості у більшості варіантів із застосуванням мікродобрива Райкат Старт – на 3,4; 2,0 і 5,0%.

Разом з тим, лабораторна схожість виробленого насіння батьківських ліній X 1814В і X 2283В в усіх варіантах застосування регуляторів росту і мікродобрив перевищувала контрольні показники в межах статистичної похибки.

Розрахунки показують високу економічну ефективність розроблених способів комплексного застосування регуляторів росту та мікродобрив при вирощуванні батьківських компонентів соняшнику, ступінь якої залежала переважно від розміру одержаної прибавки урожайності і вартості насіння. Так, наприклад, виробничі витрати на передпосівну обробку препаратом АКМ і обприскування рослин у фазі 4 пар листя препаратами Антистрес, Ендофіт і Ендобор складала в середньому 6414

In all experiments with the growth regulator AKM, the laboratory germination of seeds harvested from line 'Skh588A' statistically significantly exceeded the control value (87.7%) by 3.4-5.4% ($LSD_{05}=2.8$). The increase (by 3.4; 2.0 and 5.0%) in the laboratory germination in most experiments with the microfertilizer Raycat Start was also statistically significant.

At the same time, the laboratory germination of seeds harvested from male lines 'Kh1814V' and 'Kh2283V' in all experiments with the growth regulators and microfertilizers increased insignificantly in comparison with the control values (within the statistical error).

Calculations demonstrated a high economic efficiency of the developed methods of complex application of the growth regulators and microfertilizers in growing parental components of sunflower hybrids, the degree of which depended mainly on the size of a gain in yield and cost of seeds. For example, the production costs for pre-sowing treatment with AKM and spraying plants with Antistress, Endophyte and Endobor in the 4-leaf phase

грн./га, у т.ч. вартість препаратів становила 1629 грн./га. При прибавці у цьому варіанті урожайності материнської лінії Сх 588А 0,17 т/га і вартості насіння 1800 грн./кг, додатковий прибуток становитиме 299,6 тис. грн./га; а при прибавці урожайності батьківської лінії Х 1814В 0,09 т/га і вартості насіння 1300 грн./кг - 110,6 тис. грн./га. Додаткове обприскування рослин у фазі 6 пар листків лінії Сх 588А зумовило подвоєння виробничих витрат, але збільшення прибавки врожайності забезпечило зростання додаткового прибутку до 311,2 тис. грн./га. При незмінній прибавці врожайності лінії Х 1814В (0,09 т/га) у цьому варіанті додатковий прибуток зменшився до 104,2 грн./га.

Висновки

Застосування регуляторів росту і мікродобрив різною мірою зумовлює підвищення лабораторної і польової схожості насіння батьківських компонентів соняшнику Сх 66А, Сх 588А, Х 1814В і Х 2283В, забезпечує збільшення площі листової поверхні, збереженість рослин до збирання та підвищення урожайності насіння.

Встановлено, що за передпосівної обробки насіння препаратами АКМ і Райкат Старт урожайність батьківських компонентів соняшнику підвищилася в середньому на 9-13%, тоді як за комбінованого застосування у два етапи (обробка насіння + обприскування) – на 8-16%, а у три етапи (обробка насіння + два обприскування) – на 11-18%. Особливо суттєвими були переваги комбінованого застосування регуляторів росту порівняно з самою лише передпосівною обробкою насіння на лінії Сх 588А (прибавки урожайності 16-17 проти 11%), а мікродобрив – у лінії Х 2283В (прибавки урожайності 16-18 проти 9%)

Лабораторна схожість зібраного насіння під впливом регуляторів росту і мікродобрив у материнських ліній Сх 66А і Сх 588А вірогідно підвищувалася на 3,4-5,4%. Підвищені показники схожості на батьківських лініях Х 1814В і Х 2283В були в межах статистичної похибки.

Застосування регуляторів росту і мікродобрив при вирощуванні батьківських компонентів соняшнику має високу економічну ефективність, яка залежить від вартості насіння та величини прибавки врожайності.

amounted to an average of 6,414 UAH/ha; with the cost of the agents, the sum was 1629 UAH/ha. With a 0.17 t/ha-increase in the yield of female line 'Skh588A' and the seed cost of 1,800 UAH/kg in this variant, the additional profit will be 299,600 UAH/ha; with a 0.09 t/ha-increase in the yield of male line 'Kh1814V' and the seed cost of 1,300 UAH/kg, it will be 110,600 UAH/ha. Additional spraying of line 'Skh588A' plants in the phase of 6 leaf pairs doubled the production costs, but the gain in yield ensured an increase in additional profit amounting to 311,200 UAH/ha. With an unchanged increase in yield of line 'Kh1814V' (0.09 t/ha) in this variant, the additional profit decreased to 104.2 UAH/ha.

Conclusions

The growth regulators and microfertilizers to varying degrees enhanced the laboratory and field germination of seeds of the parental components of sunflower hybrids, 'Skh66A', 'Skh588A', 'Kh1814V', and 'Kh2283V', enlarged the leaf surface, preserved plants until harvesting, and increased seed yield.

It was found that pre-sowing seed treatment with AKM and Raycat Start increased the yield of the sunflower parents on average by 9-13%, while combined 2-stage application (seed treatment + spraying) increased it by 8-16% and 3-stage application (seed treatment + two sprayings) - by 11-18%. The advantages of the combined application of growth regulators and microfertilizers compared to pre-sowing seed treatment alone were especially pronounced in lines 'Skh588A' (yield increase of 16-17 vs. 11%) and 'Kh2283V' (yield increase of 16-18 vs. 9%)

The laboratory germination of harvested seeds under the influence of growth regulators and microfertilizers in female lines 'Skh66A' and 'Skh588A' was significantly (by 3.4-5.4%) increased. The changes in the germination rates in male lines 'Kh1814V' and 'Kh2283V' were within the statistical errors.

The application of growth regulators and micronutrients in growing parental sunflower components was highly efficient from the economic point of view and the efficiency degree depended on the cost of seeds and the amount of yield increase.

References

1. Kyrychenko V. V., Makliak K. M., Varenik B. F., Kutishcheva N. M., Trotsenko V. I. Expression of economic characteristics of three-line sunflower hybrids in different agroclimatic zones of Ukraine. *Visnyk Sumskoho Natsionalnoho Ahrarnoho Universytetu. Series "Ahronomiia i Biolohiia"*, Issue 9 (32), 2016. P.129-133. [in Ukrainian]
2. Varenik B. Main objectives and problems of hybrid sunflower seed production. *Ahrobiznes Syohodni* -URL: <https://agro-business.cjm.ua>, 11/30/2020 [in Ukrainian]
3. Ponomarenko S. P., Tsyhankova V. A., Blum Ya. B., Halkin A. P. A new direction in crop production - use of natural multicomponent plant growth regulators with bioprotective effects. *Nauka ta Innovatsii*. 2013. Vol. 9. No. 5. P. 69-77. [in Ukrainian]
4. Shevchuk O. A., Kryshchal O. O., Shevchuk V. V. Environmental safety and prospects for the use of synthetic growth regulators in crop production. *Visnyk Vinnytskoho Politekhnicnoho Instytutu*. 2014. No. 1. P. 34–39. [in Ukrainian]
5. Domaratskyi O. O., Onishchenko S. O., Revtio O. Ya. The influence of growth regulators on the growth, development and formation of sunflower yield under insufficient wetting in the southern steppe of Ukraine. *Tavriiskyi Naukovyi Visnyk*. 2019. No. 106. P. 53–58. [in Ukrainian]
6. Buriak Yu. I., Ohurtsov Yu. Ye., Klymenko I. V., Chernobab O. V. Methods for increasing seed productivity of parental sunflower forms and hybrids. *Scientific and informational bulletin of completed scientific developments "Ahrarna Nauka - Vyrobnystvu"*, Issue 2, 2019. P. 16. [in Ukrainian]
7. Yeremenko O.S. The effect of treatment of sunflower plants with growth regulators on the post-storage sowing quality of seeds. *Visnyk ZhNAEU*, 2016. No. 2 (56), Vol. 1. P. 126–135. [in Ukrainian]
8. Ernst D. Effect of two different plant growth regulators on production traits of sunflower. *Journal of Central European Agriculture*. 2016. Vol. 17(4). P. 998–1012.
9. Tahsin N., Kolev T. Investigation on The Effect of Some Plant Growth Regulators on Sunflower (*Helianthus Annuus L.*) *Journal of Tekirdag Agricultural Faculty*. 2006. No. 3(2). P. 229–232.
10. Seed setting and productivity enhancement in sunflower (*Helianthus annuus L.*) by manipulating source and sink ratio using plant growth regulators, varying plant densities and nitrogen levels / Nagarathna T. et al. *International Conference on Plant Physiology & Pathology*. June 09–10, 2016. Dallas, USA. P. 71–74.
11. Domingos da Costa F.J. et al. Sunflower seed treatment with growth inhibitor: Crop development aspects and yield. *African Journal of Agricultural Research*. 2016. Vol. 11(34), P. 3182–3187.
12. Laslo O. O. Indicators of the effectiveness of application of plant growth regulators in the technology of growing sunflower under global climate change. *Visnyk Poltavskoi Derzhavnoi Ahrarnoi Akademii*. 2022. No. 2. P. 107-112. [in Ukrainian]
13. Hlupak Z.I., Shapoval V.M. The influence of growth regulators on sunflower yield in the northeastern forest-steppe of Ukraine. *Tavriiskyi Naukovyi Visnyk*. 2023. No. 134. P. 30-36. [in Ukrainian]
14. Tsyliuryk O.I., Ostapchuk Ya.V. Growth regulators in sunflower fields in the northern steppe of Ukraine. *Ahrarni Innovatsii*. 2023. No. 22. P. 108-117. . [in Ukrainian]
15. Bykin A. V., Bykina N. M., Bordiuzha N. P. The effectiveness of foliar fertilization of agricultural crops with micronutrient-containing fertilizers. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Universytetu Bioresursiv i Pryrodokorystuvannia Ukrainy. Series: Ahronomiia*. 2012. No. 176. P. 154–159. . [in Ukrainian]
16. Yeremenko O. Kalitka V. Productivity of sunflower hybrids (*Helianthus annuus L.*) under the effect if AKM plant growth regulator in the conditions low moisture of southern Steppe of Ukraine. *IOSR Journal of Agriculture and Veterinary Science (IOSR-JAVS)*. 2016. Vol. 9, Issue 9 Ver. I. P. 59–64.
17. Lohinova I. V., Biliera N. M. The effectiveness of various forms and methods of application of micronutrients in technologies of growing agricultural crops. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Universytetu Bioresursiv i Pryrodokorystuvannia Ukrainy. Series: Ahronomiia*. 2014. Issue 195 (1). P. 71–78. [in Ukrainian]
18. Lemishko S. M. Chernykh S. A. The effectiveness of growth regulators and microfertilizers on sunflower performance in the northern steppe of Ukraine. *Ahrarni Innovatsii. Melioratsiia, Zemlerobstvo, Roslynnystvo*. 2023. No. 17, P. 94-98. [in Ukrainian]
19. Tkalych Yu.I. The influence of microfertilizers and plant growth stimulants on sunflower performance in the northern Steppe of Ukraine. *Naukovo-Tekhnichniy Biuletyn Instytutu Oliinykh Kultur NAAN*. 2016. No. 23. P. 169-175. [in Ukrainian]

20. Buriak Yu.I., Ohurtsov Yu.Ye., Klymenko I.V., Chernobab O.V., Klymenko I.I., Makhnova L.M. Application of plant growth regulators and microfertilizers in sunflower cultivation. *Visnyk Tsentru Naukovoho Zabezpechennia APV Kharkivskoi Oblasti*, 2018. Issue 25. [in Ukrainian]
21. Seeds of agricultural crops. Methods for determining quality. DSTU 4138:2002. – [Valid from 2004-01-01]. – K.: Derzhspozhyvstandart Ukrainy, 2003. – 174 p. [in Ukrainian]
22. Osipova L. S., Litun P. P., Bondarenko L. V. Express method for determining sunflower leaf surface area // *Selektsiya i Semenovodstvo*. 1988. Issue 64 P. 68. [in Russian]
23. Yudin V. I., Ryzhykov V. S., Rovenska V. V. Fundamentals of working in Microsoft Excel XP. Manual. K.: Tsentr Uchbovoi Literatury, 2007. 272 p. [in Ukrainian]
24. Seed production and seed science of field crops / Edited by M.M. Havryliuk -K.: Ahrarna Nauka, 2007. – 216 p. [in Ukrainian]

Надійшла до редакції 08.05.2025 р.
Received 08.05.2025

CONTENTS

ORIGINAL ARTICLES

<i>Buhaiov V.D., Horenskyi V.M.</i> Potential and Real Alfalfa (<i>MEDICAGO</i> L.) Seed Yield on Increased Soil Acidity	6
<i>Leonov O.Yu., Usova Z.V., Suvorova K.Yu., Baibak M.I., Rosankevych O.M., Usova N.O.</i> Grain Quality Indicators in Winter Bread Wheat Breeding Lines	23
<i>Vasylenko A.O., Sichkar V.I., Shevchenko L.M., Vus N.O., Solonechnyi P.M., Silenko S.I., Solomonov R.V., Serdyuk V.I., Glyantsev A.V.</i> AMMI and GGE Biplot Analysis of Genotype-Environment Interaction in Environmental Trials of Pea Cultivars	42
<i>Chuiko D.V., Kyrychenko V.V., Bilyk V.V.</i> Agrobiological Evaluation of Sunflower Hybrids in Eastern Ukraine	56
<i>Syvenko O.A., Kolomatska V.P., Kuzmyshyna N.V., Syvenko V.I., Chumachenko S.A.</i> Morphobiological Traits of New Sunflower Lines - Fertility Restorers	68
<i>Ohurtsov Yu.Ye., Buriak Yu.I., Chernobab O.V., Makhnova L.M., Voloshyna S.M.</i> Increasing the Yield of Sunflower Parent Components with the Help of Growth Regulators and Micro-Fertilizers	80

ЗМІСТ

ОРИГІНАЛЬНІ СТАТТІ

Бугайов В.Д., Горенський В.М. Потенційна та фактична урожайність насіння люцерни (MEDICAGO L.) за підвищеної кислотності ґрунту	6
Леонов О.Ю., Усова З.В., Суворова К.Ю., Байбак М.І., Росанкевич О.М., Усова Н.О. Особливості формування показників якості зерна селекційними лініями пшениці м'якої озимої	23
Василенко А.О., Січкач В.І., Шевченко Л.М., Вус Н.О., Солонечний П.М., Силенко С.І., Соломонов Р.В., Сердюк В.І., Глянець А.В. Взаємодія генотип-середовище при екологічному випробуванні сортів гороху у системі АММІ та GGE biplot аналізів	42
Чуйко Д.В., Кириченко В.В., Білик В.В. Агробіологічна оцінка гібридів соняшнику в умовах Східної України	56
Сивенко О.А., Коломацька В.П., Кузьмишина Н.В., Сивенко В.І., Чумаченко С.А. Морфобіологічні особливості нових ліній-відновників фертильності соняшнику	68
Огурцов Ю.Є., Буряк Ю.І., Чернобаб О.В., Махнова Л.М., Волошина С.М. Підвищення урожайності батьківських компонентів соняшнику за допомогою регуляторів росту та мікродобрив	80

Наукове видання

Селекція і насінництво

Міжвідомчий тематичний науковий збірник

Заснований у 1964 році

Випуск 127

Публікуються результати досліджень у галузі селекції, генетики, рослинництва, фізіології, якості зерна, рослинних ресурсів, насінництва, насіннезнавства та сортознавства.

Відповідальний за випуск Колупаєв Ю. Є.

Англійський переклад Реліна Л. І.

Комп'ютерна верстка: Понуренко С. Г.

Формат 60×84 $\frac{1}{8}$

Тираж 50

Ціна договірна