

**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**

# ***126***

**Харків 2024**

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, насіннєзнавства, 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	Канд. 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 A&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, ESJ, ISI, ROAD, WorldWideScience, OUCJ, Національна наукова бібліотека України ім. В.І. Вернадського.

Свідоцтво про реєстрацію KB № 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](mailto:plant_biology@ukr.net)

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

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	Bulgaria, Institute for Forage Crops	Doctor of Sciences, Associate professor
Diankov		
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, Googlescholar, 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](mailto:plant_biology@ukr.net)

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

© Yutiev Plant Production Institute of NAAS, 2024

ISSN1026-9959 (print)

ISSN2413-7510 (online)

УДК: 633.854.78 : 631.527 : 575 : 632.9

Д.В. Курилич, К.М. Макляк\*

## Генетичний аналіз успадкування стійкості соняшнику до вовчка за використання діалельного методу

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

\*E-mail: emaklyak@gmail.com

UDC: 633.854.78 : 631.527 : 575 : 632.9

D.V. Kurylych, K.M. Makliak\*

## Genetic Analysis of The Inheritance of Sunflower Resistance to Broomrape by Diallel Method

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

\*E-mail: emaklyak@gmail.com

**Реферат:** Викладено результати оцінки стійкості до вовчка (*Orobanche cumana* Wallr.) гібридів соняшнику, створених за неповною діалельною схемою схрещувань 8×8. Найбільш вірулентною расою в складі дослідженої популяції вовчка була раса F. Установлено вірогідне значення адитивних і домінантних компонентів в системі регуляції ознаки. Установлено, що домінантні алелі зумовлюють зменшення кількості бульбочок вовчка на рослині. Виділено кращі лінії за загальною та специфічною комбінаційною здатністю, та лінії – донори стійкості до вовчка.

**Ключові слова:** соняшник, лінія, F1 гібрид, *Orobanche cumana* Wallr., ступінь ураження, стійкість, генетичний аналіз.

**Abstract:** The results on resistance to broomrape (*Orobanche cumana* Wallr.) of sunflower hybrids created according to the incomplete 8×8 diallel crossing design are presented. Race F was the most virulent race in the studied broomrape population. There were significant additive and dominant components in the trait regulation. It was found that dominant alleles we responsible for fewer nodules per plant. The best lines in terms of general and specific combining abilities and lines - donors of resistance to broomrape were identified.

**Key words:** sunflower, line, F1 hybrid, *Orobanche cumana* Wallr., damage degree, resistance, genetic analysis.

У заходах боротьби з рослиною-паразитом соняшника вовчком (*Orobanche cumana* Wallr.) ключовим компонентом є генетичний захист. У багатьох країнах світу, де вирощують соняшник, виділено джерела стійкості до нових вірулентних рас вовчка та досліджено її генетичний контроль [1, 2]. З'ясовано, що механізми стійкості різняться залежно від походження джерела стійкості та від місця збору насіння вовчка. Дослідження генетики резистентності вітчизняного селекційного матеріалу соняшника до вірулентних рас вовчка, поширених в Україні, в літературі представлені недостатньо [3, 4], тому розробки в цьому напрямі набувають особливої значущості.

За обсягами виробництва товарного насіння та білкового корму, як побічного продукту

Genetic protection is a key component in the control measures against the plant - parasite of sunflower, broomrape (*Orobanche cumana* Wallr.). In many countries worldwide where sunflowers are grown, sources of resistance to new virulent broomrape races have been identified and their genetic control has been studied [1, 2]. It was found that the mechanisms of resistance differed depending on origins of sources of resistance and locations where broomrape seeds were collected. Studies of the genetics of resistance of domestic breeding sunflower materials to virulent broomrape races, which are widespread in Ukraine, are not sufficiently presented in the literature [3, 4]; therefore, developments in this direction are of particular importance.

переробки насіння олійних культур, соняшник є третьою олійною культурою у світі. За обсягами виробництва рослинної олії – четвертою [5]. Третина посівних площ під соняшником в Європі зосереджена на території України, і за період 2010-2021 рр. вони збільшилися в 1,5 раза. Це призвело до надмірного насичення сівозмін соняшником та поширенню шкідників, хвороб, бур'янів та рослин-паразита – вовчка [6, 7].

Вовчок соняшниковий паразитує на коренях, висмоктуючи з рослини поживні речовини та воду. Внаслідок цього утворюється щупле насіння, зменшується врожайність, збільшується ураженість збудниками хвороб [8]. За сильного розвитку вовчка в посівах, втрати врожаю соняшника можуть досягти 100 % [9].

Генетична стійкість до вовчка вважається найефективнішим та найдешевшим методом захисту соняшника. Відповідно, створення стійких гібридів є важливим пріоритетом гетерозисної селекції культури.

У сучасній науковій літературі резистентність соняшника до вовчка описано або як якісну, або як кількісну ознаку. Дослідження якісної ознаки передбачає два ступені прояву – «стійкий» та «нестійкий» (вертикальна стійкість). Згідно з таким розподілом, стійкість соняшнику до вовчка раси F контролюють рецесивні алелі, розташовані у двох локусах [10], один домінуючий ген [11] або два домінуючі гени [12]. Така інформація була отримана шляхом вивчення ураження вовчком рослин другого гібридного покоління F<sub>2</sub> з використанням традиційного аналізу за Менделем.

Також встановлено роль локусів кількісних ознак (QTL) у забезпеченні стійкості соняшника до вовчка (горизонтальна стійкість). Наприклад, Pérez-Vich B. et al. [13] визначили п'ять локусів кількісних ознак, які контролюють стійкість до раси E, і шість локусів, що контролюють стійкість до раси F. Imerovski I. et al. [14] картували в геномі соняшника від двох до 23-х QTL, пов'язаних зі стійкістю до вовчка. Роль окремих QTL у забезпеченні стійкості до вовчка помірна [15, 16, 17], проте за їх накопичення соняшник набуває стійкості до певних рас паразиту.

Складні системи генетичного контролю ознаки потребують розробки нових стратегій створення стійкого селекційного матеріалу, які передбачають поєднання якісних і кількісних механізмів стійкості [18]. Існують гібриди соняшнику, вертикальна стійкість яких до вовчка контролюється генами Or1...Or5 (стійкість до рас A–E) [19]. Таким гібридам притаманна додаткова горизонтальна система стійкості – «система 2».

In terms of the production of marketable seeds and protein fodder, as a by-product of the processing of oilseeds, sunflower is the third oilseed crop in the world. In terms of production of vegetable oil, it is the fourth one [5]. A third of the sunflower acreage in Europe is concentrated in Ukraine, and it increased by 1.5 times during the 2010-2021 period. This led to oversaturation of crop rotations with sunflowers and spread of pests, diseases, weeds, and the parasitic plant (broomrape) [6, 7].

Sunflower broomrape parasitizes on roots, sucking nutrients and water from the plant. This makes seeds weak, reduces the yield, and enhances pathogen-inflicted damage [8]. With a strong development of broomrape in fields, the sunflower yield loss can amount to 100% [9].

Genetic resistance to broomrape is considered the most effective and cheapest method of sunflower protection. Accordingly, the creation of resistant hybrids is a priority of heterosis breeding.

In the current scientific literature, the resistance of sunflower to broomrape is described either as a qualitative or as a quantitative trait. Investigations of a qualitative trait involves two degrees of expression: resistant or susceptible (vertical resistance). According to this distribution, the resistance of sunflower to race F is controlled by recessive alleles located in two loci [10], one dominant gene [11] or two dominant genes [12]. This information was gained by studying broomrape-induced damage to plants of the second hybrid generation (F<sub>2</sub>) using the traditional Mendel analysis.

The role of quantitative trait loci (QTL) in the resistance of sunflower to broomrape (horizontal resistance) was also established. For example, Pérez-Vich B. et al. [13] identified five loci of quantitative traits that determine the resistance to race E and six loci that determine the resistance to race F. Imerovski I. et al. [14] mapped from two to 23 QTL associated with resistance to broomrape in the sunflower genome. The role of individual QTL in the resistance to broomrape is moderate [15, 16, 17], however, due to their accumulation, sunflower acquires resistance to certain races of the parasite.

Complex systems of genetic control of a trait require the development of new strategies to create resistant breeding materials, which involve a combination of qualitative and quantitative mechanisms of resistance [18]. There are sunflower hybrids, the vertical resistance of which is determined by the Or1...Or5 genes (resistance

Вони навіть за ураження вовчком раси G мають середній ступінь ураження, на відміну від звичайних «п'ятирасових» гібридів.

Для вивчення успадкування кількісних ознак рослин запропоновано чимало статистичних методів, найшвидшим з яких вважають метод діалельного аналізу [20], згідно з яким генетичну інформацію отримують шляхом вивчення рослин першого гібридного покоління F<sub>1</sub>. Діалельний аналіз дає змогу вивчити генетичні особливості ліній, отримати інформацію щодо дії та взаємодії алелів, які контролюють кількісні ознаки в рослин. Метод продемонстрував високу ефективність у визначенні генетичного контролю морфологічних, біологічних ознак і ознак продуктивності рослин. Цей метод також успішно застосовують для дослідження генетичного контролю стійкості сільськогосподарських рослин до листових хвороб [21, 22]. Отже є підстави для проведення досліджень успадкування стійкості до вовчка за допомогою методу діалельного аналізу.

Метою роботи було встановлення закономірності успадкування стійкості соняшнику до вірулентних рас вовчка в поколінні F<sub>1</sub> та виділення ліній-донорів стійкості серед селекційного матеріалу Інституту рослинництва ім. В.Я. Юр'єва НААН України.

## Методика

Дослідження проведено у 2023–2024 рр. на полях наукової сівозміни Інституту рослинництва ім. В.Я. Юр'єва НААН і в умовах теплиці на експериментальній базі інституту.

У польових умовах висівали вісім ліній-батьківських компонентів гібридів. Вирощування ліній проводили за прийнятою в зоні вирощування агротехнологією. Попередник – ярі зернові колосові. Сівбу проводили в першій декаді травня. Міжряддя 0,7 м, відстань між рослинами 0,25 м.

Погодні умови впродовж вегетаційного періоду соняшнику (травень–вересень) істотно відрізнялись за роками досліджень. У 2023 році середньодобова температура впродовж періоду становила 19,8 °C і перевищила середньобаторічний показник (18,5 °C) на 1,3 °C, або на 7%. Сума опадів становила 291,0 мм, що на 21,9 мм, або на 8%, вище за середньобаторічну суму (269,1 мм). Загалом, ріст і розвиток соняшнику у 2023 році проходив в сприятливих погодних умовах.

to races A–E) [19]. Such hybrids have an additional horizontal resistance system - "system 2". They are moderately damaged, even if they are affected by broomrape race G, unlike traditional "five-race" hybrids.

A lot of statistical methods have been proposed to study the inheritance of quantitative traits of plants, diallel analysis is considered to be the fastest of them [20]. In diallel analysis, genetic information is obtained by investigating plants of the first hybrid generation F<sub>1</sub>. Diallel analysis allows studying the genetic peculiarities of lines, to obtain information on the action and interaction of alleles that determine quantitative traits in plants. The method was demonstrated to be highly efficient in studies of the genetic control of morphological, biological and performance traits in plants. This method is also successfully used to study the genetic control of resistance of agricultural plants to foliar diseases [21, 22]. Therefore, there are grounds for studying the inheritance of resistance to broomrape by diallel analysis.

The purpose of this study was to determine the inheritance patterns of resistance to virulent broomrape races in F<sub>1</sub> sunflower generation and to select lines-donors of resistance among the breeding materials of the Yuriev Plant Production Institute of NAAS of Ukraine.

## Methods

The study was conducted in the scientific crop rotation fields of the Yuriev Plant Production Institute of NAAS in 2023–2024 and in an experimental greenhouse of the Institute.

Eight lines – hybrids' parents were sown in the field. They were grown in accordance with the farming techniques adopted in the cultivation area. Spring spiked cereals were the forecrops. The lines were sown within the first 10 days of May. The inter-row width was 0.7 m; the distance between plants was 0.25 m.

The weather during the sunflower growing period (May–September) differed considerably from year to year. In 2023, the mean daily temperature during this period was 19.8°C, which was higher than the long-term average (18.5°C) by 1.3 °C, or by 7%. The precipitation amount was 291.0 mm, which was 21.9 mm, or 8%, more than the long-term average (269.1 mm). In general, the weather in 2023 was favorable for the growth and development of sunflower plants.



У 2024 році середньодобова температура впродовж періоду травень–вересень становила 21,7°C і перевищила середньобагаторічний показник на 3,2 °C, або на 17,3 %. Сума опадів була 97,0 мм, що на 172,1 мм, або на 36,0% менше від середньобагаторічної суми. Погодні умови 2024 року характеризувалися нерівномірним розподілом опадів, більша частина яких випала в першій половині вегетації соняшника. Другу половину вегетації супроводжували аномальні температури повітря та відсутність опадів.

Залучені до дослідів лінії різнилися за стійкістю до вовчка, жирнокислотним складом олії, тривалістю вегетаційного періоду та іншими ознаками і показниками [23]. Чотири досліджені лінії – лінії-закріплювачі стерильності харківської селекції (X 1006 Б, X 81 Б, X 83 Б і X 808 Б). Чотири лінії – лінії-відновники фертильності пилку – зразки Національного центру генетичних ресурсів рослин України з номерами Національного каталогу IU 075134, IU 075135, IU 075136 і IU 075137. У 2023 році в польових умовах за використання цих ліній реалізовано схрещування за неповною діалельною схемою 8×8. За допомогою фізичної кастрації квіток на фертильній основі отримано насіння F1 28-ми гібридних комбінацій.

Для оцінки ураження ліній та гібридів вовчком, в умовах теплиці висівали насіння зразків соняшнику врожаю 2023 року (вісім ліній і 28 F1 гібридних комбінацій). Використовували насіння вовчка, зібране в 2021 році в Харківській області, на полях з істотним ураженням соняшника вовчком. Насіння досліджуваних зразків висівали в пластикові стакани об'ємом 0,5 л, заповнені інфікованою вовчком ґрунтовою сумішшю (2 г насіння вовчка на 5 кг ґрунту). Необхідні умови для розвитку вовчка: температура повітря +24...+28 °C; відносна вологість повітря 70...80%; 16-ти годинний фотоперіод; регулярний полив. Облік кількості бульбочок паразита проводили через 40 діб після сівби насіння соняшника.

Як стандарт сприйнятливості до вовчка використовували лінію X 2111 Б, що не має генів стійкості до вовчка. Для визначення расового складу вовчка використовували загальновідомий у світовій селекційній практиці диференціатор стійкості до раси E – лінію LC1003 B (номер Національного каталогу НЦГРРУ UE0101210), і гібрид Ярило селекції Інституту рослинництва ім. В.Я. Юр'єва НААН, стійкий до раси F вовчка.

Ураження рослин вовчком визначали візуально, шляхом підрахунку кількості здорових бульбочок паразита на коренях досліджуваних

In 2024, the mean daily temperature during the May–September period was 21.7°C, which was higher than the long-term average by 3.2°C, or by 17.3%. The precipitation amount was 97.0 mm, which was 172.1 mm or 36.0% less than the long-term average. The weather in 2024 was characterized by uneven distribution of precipitation, most of which fell during the first half of the sunflower growing period. The second half of the growing period had abnormal air temperatures and no precipitation.

The tested lines differed in resistance to broomrape, fatty acid composition of oil, growing period length, and other characteristics [23]. Four lines are sterility fixers bred in Kharkiv (Kh 1006 B, Kh 81 B, Kh 83 B, and Kh 808 B) and the other four lines - pollen fertility restorers from the collection of the National Center for Plant Genetic Resources of Ukraine (NCPGRU) (National Catalog numbers IU 075134, IU 075135, IU 075136, and IU 075137). In 2023, these lines were crossed in the field according to the incomplete 8×8 diallel design. Due to physical emasculation of fertile flowers, F1 seeds of 28 hybrids were obtained.

To assess the broomrape-inflicted damage to the lines and hybrids, we planted sunflower seeds harvested in 2023 (eight lines and 28 F1 hybrids) in the greenhouse. Broomrape seeds collected in sunflower fields (located in the Kharkivska Oblast) significantly damaged by broomrape in 2021 were used in the experiment. Seeds of the studied sunflower accessions were sown in 0.5 L plastic pots filled with broomrape-contaminated soil (2 g of broomrape seeds per 5 kg of soil). Broomrape developed under the following conditions: the air temperature was +24...+28 °C; the relative air humidity was 70...80%; 16-hour photoperiod was set; the pots were watered regularly. The parasite nodules were counted 40 days after sowing sunflower seeds.

Line Kh 2111 B, which does not have genes for resistance to broomrape, was used as a reference for susceptibility to broomrape. To determine the race composition of broomrape, we used the well-known in the global breeding practice differentiator of resistance to race E, line LC1003 B (National Catalog number in the NCPGRU is UE0101210, and broomrape race F-resistant hybrid 'Yarylo' originated by the Yuriev Plant Production Institute of NAAS.

Broomrape infestation of plants was determined visually by counting healthy nodules

рослин. Повторність триразова. Визначали ступінь ураження, як середню кількість бульбочок вовчка на одній оцінюваній рослині.

Для аналізу жирнокислотного складу олії насіння було взято з рослин, ізольованих під пергаментними пакетами під час цвітіння. Жирнокислотний склад визначали методом газової хроматографії метилових ефірів жирних кислот на газовому хроматографі Селміхром 2 за модифікованою методикою Пейскера [24].

Експериментальні дані аналізували за допомогою методу дисперсійного аналізу [25]. Загальну і комбінаційну здатність визначали за алгоритмом, викладеним Griffing B.A. [26]. Аналіз генетичних властивостей ліній і обчислювання компонентів генетичної дисперсії проводили з використанням алгоритму Науман В.І. [27]. Оскільки частина рослин, що оцінювали, не мала ознак ураження вовчком (відсутні бульбочки паразита на коренях), для проведення статистичної обробки до значення ознаки «0,0 бульбочок вовчка на рослині» додавали 0,01, що не вплинуло на результати, але дало змогу отримати коректні дані.

## Результати та обговорення

Упродовж 2023-2024 рр. вивчали ліній-батьківські компоненти за цінними господарськими ознаками (табл. 1). Продуктивність рослин досліджених ліній у середньому за два роки варіювала від 18,3 до 40,7 г; тривалість періоду «сходи-цвітіння» від 56 до 64 діб; висота рослин від 94,2 до 143,3 см; вміст олеїнової кислоти в олії від 20,70 до 89,11 %. Найвищу продуктивність рослини (40,7 г) зафіксовано у високоолеїнової лінії-закріплювача стерильності X 83 Б. Найбільш ранньостиглою та низькорослою була гілляста лінія-відновник фертильності пилку IU 075134: 56 діб; 94,2 см.

Ступінь ураження ліній вовчком варіював суттєво. Лінії-закріплювачі стерильності були нестійкими, ступінь їх ураження становив: 3,89 (X 81 Б); 2,20 (X 83 Б); 3,71 (X 808 Б); 3,92 (X 1006 Б) бульбочок вовчка на одну досліджену рослину. Лінії-відновники фертильності пилку продемонстрували відсутність ураження або низький ступінь ураження вовчком: 0,00 (IU 075134); 0,02 (IU 075135); 0,27 (IU 075136); 0,02 (IU 075137).

Згідно з результатами оцінки ураженості диференціаторів, ступінь ураження лінії X 2111 Б був високим (понад 15 бульбочок на рослину). Це свідчить про те, що умови проведення

of the parasite on the roots of the studied plants. It was repeated three times. The damage degree is expressed as the mean number of nodules per one assessed plant.

To analyze the fatty acid composition of oil, seeds were taken from plants isolated under parchment bags during anthesis. The fatty acid composition was determined by gas chromatography of fatty acid methyl esters on a gas chromatographer Selmichrom 2 by Peisker's modified method [24].

The experimental data were analyzed by ANOVA [25]. The general and specific combining abilities were determined by the algorithm outlined by Griffing B.A. [26]. Genetic features of the lines were analyzed and the genetic variance components were calculated using the algorithm of Hayman B.I. [27]. Since some evaluated plants had no signs of broomrape-inflicted damage (no nodules of the parasite on the roots), for statistical processing, 0.01 was added to the "0.0 broomrape nodules on the plant" sign, which did not affect the results, but made it possible get the correct data.

## Results and Discussion

In 2023-2024, we evaluated the parental lines for valuable economic traits (Table 1). The mean plant productivity in the investigated lines varied from 18.3 to 40.7 g across the two years; the "emergence-anthesis" period lasted 56 to 64 days; the plant height ranged within 94.2 - 143.3 cm; the oleic acid content in oil ranged from 20.70 to 89.11%. The best plant productivity (40.7 g) was recorded for the high-oleic line - sterility fixer Kh 83 B. The most early-ripening and shortest was the branched line pollen fertility restorer IU 075134: 56 days and 94.2 cm, respectively.

The broomrape-induced damage varied significantly in the lines. The sterility fixers were susceptible; their damage amounted to 3.89 (Kh 81 B), 2.20 (Kh 83 B), 3.71 (Kh 808 B), and 3.92 (Kh 1006 B) broomrape nodules per one examined plant. The pollen fertility restorers were not or little damaged by broomrape: 0.00 (IU 075134), 0.02 (IU 075135), 0.27 (IU 075136), 0.02 (IU 075137) nodules.

Based on to the results of the assessment of damage related to the differentiators, the damage in line 'Kh X 2111 B' was severe (more than 15 nodules per plant), indicating that the experimental conditions were favourable for to

досліді були сприйнятливими для розвитку паразита. Лінія LC 1003 B – диференціатор стійкості до раси E – продемонструвала високий ступінь ураження вовчком, 8,6 бульбочки на рослину, а ступінь ураження гібрида Ярило, стійкого до раси F вовчка, була незначною (0,43). Отже найбільш вірулентна раса в складі дослідженої популяції вовчка визначена як раса F.

Таким чином, встановлено суттєву різницю між самозапиленими лініями за стійкістю до раси F вовчка, що збігається з результатами, отриманими іншими науковцями [10–12, 28].

За результатами дисперсійного аналізу за ознакою «кількість бульбочок вовчка на рослині» 28-ми гібридів та восьми їх батьківських компонентів, наявні істотні відмінності між гібридними комбінаціями, та відсутні відмінності між повтореннями. Це дало змогу обчислити ефекти загальної (ЗКЗ) та специфічної (СКЗ) комбінаційної здатності ліній, які були значимими ( $P < 0,01$ ). Значимими були як середні квадрати ЗКЗ (15,7), так і середні квадрати СКЗ (2,0). Специфічна комбінаційна здатність зумовлена неадитивними ефектами, тому значимість середнього квадрата СКЗ свідчить про доповнення адитивних ефектів генів (ЗКЗ) неадитивними. Середній квадрат ЗКЗ перевищив середній квадрат СКЗ у 7,85 рази, що доводить переважання адитивних ефектів батьківських ліній над неадитивними.

Найкращі за ЗКЗ лінії визначали як лінії з мінімальними значеннями ЗКЗ, отже такі, які в гібридних комбінаціях утворюють мінімальну кількість бульбочок. До таких ліній віднесено всі лінії-відновники фертильності пилку: IU075134 (ЗКЗ дорівнює  $-1,32$ ); IU075135 ( $-1,20$ ); IU075136 ( $-0,99$ ); IU075137 ( $-1,02$ ), значення ЗКЗ яких були вірогідно меншими від середньої (табл. 2). Лінії-закріплювачі стерильності визначено як лінії, гібриди з якими утворюють максимальну кількість бульбочок: X 81 B (ЗКЗ дорівнює  $1,22$ ); X 83 B ( $0,57$ ); X 808 B ( $1,71$ ); X 1006 B ( $1,02$ ). З величин  $НІР_{0,05}$  попарного порівняння ефектів ЗКЗ  $0,40$  видно, що лінія X 83 B формує більш стійкі гібриди, ніж інші лінії-закріплювачі стерильності. Різниця за ЗКЗ ліній-відновників фертильності була в межах  $НІР_{0,05}$ .

the parasite development. Line 'LC 1003 B', the differentiator of resistance to race E, were severely affected by broomrape (8.6 nodules per plant), broomrape race F-resistant hybrid 'Yarylo' was mildly affected (0.43 nodules). Therefore, race F was defined as the most virulent race in the studied broomrape population.

Thus, there were significant differences in the resistance to broomrape race F between the self-pollinated lines, which in agreement with results obtained by other scientists [10–12, 28].

ANOVA results on the number of nodules per plant in the 28 hybrids and eight their parents demonstrated significant differences between the hybrids and no differences between replications. This allowed us to calculate the effects of general (GCA) and specific (SCA) combining abilities of the lines, which were significant at  $P < 0.01$ . Both the mean square of the GCA (15.7) and the mean square of the SCA (2.0) were significant. The specific combining ability is due to non-additive effects; therefore, the significance of the mean square of the SCA indicates supplementation of the additive effects of genes (GCA) with non-additive ones. The mean square of the GCA exceeded the mean square of the SCA by 7.85 times, proving predominance of additive effects over non-additive ones in the parental lines.

The best lines in terms of the GCA were defined as lines with minimum values of the GCA, that is, those that form the minimum number of nodules in hybrid combinations. These lines included all pollen fertility restorers: IU075134 (GCA = 1.32), IU075135 (1.20), IU075136 ( $-0.99$ ), and IU075137 ( $-1.02$ ); the GCA values were significantly lower than the mean (Table 2). The sterility fixers were defined as lines whose hybrids had the maximum number of nodules: Kh 81 B (GCA = 1.22), Kh 83 B (0.57), Kh 808 B (1.71), and Kh 1006 B (1.02). From the LSD05 of the pairwise comparison of the GCA effects (0.40), we can see that line 'Kh X 83 B' gave more resistant hybrids than the other sterility fixers. The difference in the GCA between the fertility restorers was within the LSD05 limits.

**Таблиця 1.** Господарські ознаки самозапиленних ліній-батьківських компонентів гібридів соняшнику, залучених до діалельної схеми схрещувань, 2023-2024 рр.  
**Table 1.** Economic characteristics of the self-pollinated lines - sunflower hybrids' parents involved in diallel crossings, 2023-2024

Лінія / Line, гібрид / hybrid, зразок Національного каталогу / National Catalog accession	Гіллястість / Branchiness	Продуктивність рослини, г насіння / Plant productivity, g of seeds			Тривалість періоду «сходи- цвітіння», діб / «Emergence- anthesis» period, days			Висота рослини, см / Plant height, cm			Вміст олеїнової кислоти в олії, % <sup>1)</sup> / Oleic acid content in oil, % <sup>1)</sup>	Ступінь ураження вовчком <sup>1)</sup> / Broomrape damage <sup>1)</sup>
		2023	2024	середнє / Mean	2023	2024	середнє / Mean	2023	2024	середнє / Mean		
X 81 Б / Kh 81 В	Hi / No	15.6	21.0	18.3	62	61	62	108.2	92.3	100.3	37.00	3.89
X 83 Б / Kh 83 В	Hi / No	45.1	36.2	40.7	63	63	63	122.0	104.0	113.0	89.11	2.20
X 808 Б / Kh 808 В	Hi / No	34.2	40.4	37.3	65	63	64	120.5	107.1	113.8	24.17	3.71
X 1006 Б / Kh 1006 В	Hi / No	36.7	30.3	33.5	58	56	57	117.7	108.1	112.9	20.70	3.92
IU 075134 / IU 075134	Так / Yes	15.3	20.2	17.8	57	55	56	95.8	92.6	94.2	29.95	0.00
IU 075135 / IU 075135	Так / Yes	24.6	25.2	24.9	59	57	58	124.2	120.9	122.6	26.32	0.02
IU 075136 / IU 075136	Так / Yes	17.8	23.7	20.8	62	60	61	148.3	138.2	143.3	46.40	0.27
IU 075137 / IU 075137	Так / Yes	31.0	16.9	24.0	63	60	62	130.0	113.3	121.7	85.12	0.02
LC 1003 В / LC 1003 В		—										8,60
Ярило / Yarylo		—										0.43
X 2111 Б / Kh 2111 В		—										15.3
Примітка. <sup>1)</sup> – насіння врожаю 2023 року Note: <sup>1)</sup> – seeds harvested in 2023.												

Таким чином, доведено значимість як адитивних, так і неадитивних ефектів генів в успадкуванні стійкості соняшника до вовчка. Аналогічні результати адитивної та неадитивної дії генів були отримані для ознак стійкості соняшника до збудників хвороб, наприклад для фомозу (*Phoma macdonaldii*) [29]. Оцінки середніх квадратів ЗКЗ і СКЗ показали, що вплив адитивних ефектів у генетичному контролі стійкості до вовчка був суттєво більшим, ніж вплив неадитивних ефектів. Це бажане явище, оскільки сприяє прогресу в селекції на підвищення стійкості [30].

Thus, the significance of both additive and non-additive effects of genes in the inheritance of sunflower resistance to broomrape was proven. Analogous results on additive and non-additive effects of genes were obtained for the resistance of sunflower to pathogens, for example, for black stem disease (*Phoma macdonaldii*) [29]. The mean squares of the GCA and SCA showed that the additive effects in the genetic control of resistance to broomrape were significantly stronger than the non-additive ones. This is a desirable phenomenon, as it contributes to progress in breeding for increased resistance [30].

**Таблиця 2.** Загальна (ЗКЗ) і специфічна (СКЗ) здатність ліній-батьківських компонентів гібридів соняшнику діалельної схеми схрещувань за ознакою «кількість бульбочок вовчка на рослині»

**Table 2.** General (GCA) and specific (SCA) combining abilities of the lines - sunflower hybrids' parents in the diallel crossings for the "number of nodules per plant" trait

Лінія / Line	Ефекти ЗКЗ / GCA effects	Варіанси СКЗ / SCA variances	Ефекти СКЗ / SCA effects						
			X83Б / Kh 83 B	X808Б / Kh 808 B	X1006Б / Kh 1006 B	IU075134 / IU075134	IU075135 / IU075135	IU075136 / IU075136	IU075137 / IU075137
X 81 Б / Kh 81 B	1.22	2.97	2.52	0.94	2.52	<b>-1.35</b>	<b>-1.58</b>	-1.08	<b>-1.71</b>
X 83 Б / Kh 83 B	<b>0.57</b>	2.19	–	2.54	-0.40	-0.70	-0.93	-0.93	-1.06
X 808 Б / Kh 808 B	1.71	2.41	–	–	2.09	<b>-1.79</b>	-0.57	-1.07	0.41
X1006Б / Kh 1006 B	1.02	2.22	–	–	–	<b>-1.15</b>	<b>-1.22</b>	-1.10	<b>-1.36</b>
IU075134 / IU075134	<b>-1.32</b>	1.35	–	–	–	–	0.96	0.92	0.95
IU075135 / IU075135	<b>-1.20</b>	0.99	–	–	–	–	–	0.88	0.74
IU075136 / IU075136	<b>-0.99</b>	0.89	–	–	–	–	–	–	1.03
IU075137 / IU075137	<b>-1.02</b>	1.08	–	–	–	–	–	–	–
Примітка 1. $HP_{0.05}$ порівняння ефектів ЗКЗ із середньою (0,00) 0,25. Примітка 2. $HP_{0.05}$ попарного порівняння ефектів ЗКЗ 0,40. Примітка 3. $HP_{0.05}$ порівняння ефектів СКЗ із середньою (0,00) 1,14. Примітка 4. $HP_{0.05}$ попарного порівняння ефектів СКЗ 1,28. Note 1: $LSD_{05}$ of the pairwise comparison of the GCA effects with the mean of (0.00) 0.25. Note 2: $LSD_{05}$ of the pairwise comparison of the GCA effects 0.40. Note 3: $LSD_{05}$ of the pairwise comparison of the SCA effects with the mean of (0.00) 1.14. Note 4: $LSD_{05}$ of the pairwise comparison of the SCA effects 1.28.									

Варіанси СКЗ ліній-закріплювачів стерильності були високими (перевищили середню варіансу СКЗ 1,76). Таким чином, окремі гібридні комбінації з участю цих ліній виявилися більш стійкими, ніж це можна було очікувати на основі їх ЗКЗ. За значеннями ефектів СКЗ, для лінії X 81 Б це гібридні комбінації X 81 Б × IU075134; X 81 Б × IU075135 і X 81 Б × IU075137. Для лінії X 808 Б це гібридна комбінація X 808 Б × IU075134. Для лінії X 1006 Б це гібридні комбінації

The SCA variances of the sterility fixers were high (higher than the mean SCA of 1.76). Thus, some hybrid combinations derived from these lines appeared to be more resistant than might be expected on the basis of their GCAs. Based on the SCA effects, these were hybrids 'Kh 81 B × IU075134', 'Kh 81 B × IU075135', and 'Kh 81 B × IU075137' for line 'Kh 81 B'. For line 'Kh 808 B', 'Kh 808 B × IU075134' was such hybrid combination. For line 'Kh 1006 B', these were hybrids 'Kh 1006 B × IU075134',

X 1006 B × IU075134; X 1006 B × IU075135 і X 1006 B × IU075137.

Аналіз за Хейманом даних діалельних схрещувань 8×8 показав невідповідність експериментальних даних адитивно-домінантній моделі. Параметр  $V_r$  відображає варіансу сімей  $r$ -того ряду;  $W_r$  відображає коваріансу між сім'ями  $r$ -того ряду та їх нерекурентними батьками. Значення коефіцієнту регресії  $b$   $W_r$  на  $V_r$  дорівнювало 0,585 і вірогідно відрізнялося від одиниці. Ймовірною причиною цього є успадкування за типом епістазу. Успадкування стійкості до вовчка раси F в окремих гібридних комбінаціях за типом епістазу встановлено також дослідженнями іспанських науковців [12, 31].

Для приведення даних у відповідність до адитивно-домінантної моделі ми почергово вилучили з вихідних даних дві лінії з максимальними значеннями різниці ( $W_r - V_r$ ) – параметра, який має бути константним для всіх строк діалельної таблиці. Такими лініями виявилися лінії X 81 B і X 808 B.

Подальший аналіз даних діалельних схрещувань 6×6 показав відповідність експериментальних даних адитивно-домінантній моделі. Значення коефіцієнту регресії  $b$  дорівнювало 0,987 і вірогідно не відрізнялося від одиниці.

У таблиці 3 наведено значення компонент генетичної варіації за Хейманом за ознакою «кількість бульбочок вовчка на рослині» при повному наборі ліній та за вилучення з аналізу двох ліній (X 81 B і X 808 B). Як адитивна  $a$ , так і домінантна  $b$  компоненти генетичної варіації вірогідні на високому рівні ( $P < 0,01$ ). Отже, в системі регуляції стійкості до вовчка важливі обидва компоненти.

‘Kh 1006 B × IU075135’, and ‘Kh 1006 B × IU075137’.

Hayman's analysis of the 8×8 diallel crossing data showed the inconsistency of the experimental data with the additive-dominant model. The  $V_r$  parameter reflects the variance of families in the  $r$ th array;  $W_r$  reflects the covariance between families in the  $r$ th array and their non-recurrent parents. The regression coefficient ( $b$ ) of  $W_r$  on  $V_r$  was 0.585, significantly differing from 1. This can be attributed to epistatic inheritance. Epistatic inheritance of the resistance to broomrape race F in some hybrid combinations was also revealed in studies by Spanish scientists [12, 31].

To bring the data into line with the additive-dominant model, we alternately excluded from the initial data two lines with the maximum values of the difference ( $W_r - V_r$ ), the parameter, which must be constant in all rows of the diallel table. ‘Kh 81 B’ and ‘Kh 808 B’ turned out to be such lines.

Further analysis of the results on 6×6 diallel crosses showed that the experimental data were consistent with the additive-dominant model. The regression coefficient  $b$  was 0.987, not significantly differing from 1.

Table 3 shows the genetic variance components from Hayman's analysis of the "number of nodules per plant" trait for the complete set of lines and after exclusion of two lines from the analysis (Kh 81 B and Kh 808 B). Both the additive  $a$  and dominant  $b$  components of genetic variance were highly significant ( $P < 0.01$ ). Therefore, both components are important for the regulation of resistance to broomrape.

**Таблиця 3.** Компоненти генетичної варіації за Хейманом за ознакою «кількість бульбочок вовчка на рослині» при повному (8×8) і скороченому (6×6) наборах ліній

**Table 3.** Genetic variance components from Hayman's analysis of the "number of nodules per plant" trait in the full (8×8) and reduced (6×6) sets of the lines

Компонент генетичної варіації / Genetic variance component	Кількість ступенів свободи / Freedom degree number	Повний набір ліній (8×8) / Full set of the lines (8×8)				Скорочений набір ліній / (6×6) Reduced set of the lines (6×6)			
		середній квадрат / Mean square	$F_{\text{факт.}} / F_{\text{obs.}}$	$F_{\text{теор.}} / F_{\text{theor.}}$	$P$	середній квадрат / Mean square	$F_{\text{факт.}} / F_{\text{obs.}}$	$F_{\text{теор.}} / F_{\text{theor.}}$	$P$
$a$	7	47.1	75.40	2.14	<0.01	7.85	28.10	2.45	<0.01
$b$	28	6.1	9.72	1.64	<0.01	1.79	6.41	1.92	<0.01
$b_1$	1	1.1	1.74	3.98	0.19	6.48	23.21	4.08	<0.01
$b_2$	7	3.1	4.97	2.14	<0.01	1.55	5.54	2.45	<0.01
$b_3$	20	7.4	11.77	1.72	<0.01	1.40	5.02	2.12	<0.01

За вилучення двох ліній (схема 6×6), на високому рівні ( $P<0,01$ ) вірогідними виявилися частки ефектів домінування  $b_1$ ,  $b_2$  і  $b_3$ . Значимість компоненти  $b_1$  вказує, що величина середньої батьківських компонентів відрізняється від середньої гібридів, отже середнє домінування не дорівнює 0. Значимість компоненти  $b_2$  вказує на асиметрію розподілу генів, що визначають ефекти домінування, між лініями-батьківськими компонентами. У цьому випадку, компонента  $a$  оцінює не адитивну варіацію окремо, а загальну генетичну варіацію. За компонентою  $b_3$ , в окремих гібридних комбінаціях присутнє специфічне домінування. За наявності епістатичних взаємодій (схема 8×8) компонента  $b_2$  була невірогідною.

Величини та значимість генетичних параметрів ліній за Хейманом наведено в таблиці 4. В обох варіантах значимою була величина компоненти D, що тестує адитивні ефекти генів, і компонент  $H_1$  і  $H_2$ , які тестують домінантні ефекти генів.

У схемі 8×8 визначено істотне переважання домінантних ефектів, що суперечить висновкам за Грифінгом, які наведено вище. У схемі за вилученням двох ліній значення параметра D було дещо нижчим від значення параметра  $H_1$ , отже в генетичному контролі стійкості до вовчка переважають адитивні ефекти генів. У такому разі генетична мінливість, яку ми спостерігаємо між лініями-батьківськими компонентами, має високу успадковуваність, а добір в наступних поколіннях буде високоєфективним.

В обох схемах, за вірогідним значенням параметра  $H_2$ , гени стійкості розподілені нерівномірно між батьківськими лініями.

Компонента  $(H_1/D)^{1/2}$  була більшою від одиниці (1,62) в схемі 8×8, що вказує на наддомінування (яке не було встановлено аналізом окремих гібридних комбінацій). Отже в даному випадку цей показник неінформативний. У схемі 6×6 ця компонента не відрізнялася від одиниці (0,98), що вказує на повне домінування.

Асиметричність розподілу домінантних і рецесивних алелів, яку було доведено значимістю компоненти  $b_2$ , підтверджено значенням показника  $H_2/4H_1 \neq 0,25$ . У варіанті 6×6, за додатним значенням параметра F (2,01), який оцінює напрям асиметрії розподілу загальної кількості домінантних і рецесивних алелів у батьківських ліній, у вказаному наборі ліній переважають домінантні ефекти генів. У варіанті 8×8 параметр F був невірогідним.

After excluding two lines (6×6 design), the proportions of the dominance effects  $b_1$ ,  $b_2$ , and  $b_3$  turned out to be highly significant ( $P<0.01$ ). The significance of the  $b_1$  component indicates that the mean of the parents differs from the mean of the hybrids; hence, the average dominance is not zero. The significance of the  $b_2$  component indicates an asymmetry of the distribution of genes that determine the dominance effects between the parental lines. In this case, the  $a$  component estimates not the additive variation separately but the total genetic variation. The  $b_3$  component indicated a specific dominance in some hybrid combinations. Upon epistatic interactions (8×8 array), the  $b_2$  component was insignificant.

The values and significance of Hayman's genetic parameters of the lines are summarized in Table 4. In both variants, the D component, which tests the additive effects of genes, was significant; so were the  $H_1$  and  $H_2$  components, which test the dominant effects of genes.

In the 8×8 array, there was a significant preponderance of the dominant effects, which contradicts the conclusions drawn according to Griffing, which are formulated above. In the reduced array (after excluding two lines), the D parameter was slightly lower than the  $H_1$  parameter; therefore, the additive effects of genes prevailed in the genetic control of the resistance to broomrape. In this case, the genetic variability, which we observed between the parental lines, was highly heritable and selection in subsequent generations will be highly effective.

From the significant  $H_2$  parameter in both arrays, resistance genes appear to be nonuniformly distributed the between parental lines.

The  $(H_1/D)^{1/2}$  component was higher than 1 (1.62) in the 8×8 array, indicating overdominance (which was not shown by analysis of individual hybrid combinations). So, in this case, this parameter was uninformative. In the 6×6 array, this component did not differ from 1 (0.98), indicating complete dominance.

The asymmetry of the distribution of dominant and recessive alleles, which was proved by the significant  $b_2$  component, was confirmed by the  $H_2/4H_1$  parameter:  $H_2/4H_1 \neq 0.25$ . In the 6×6 array, from the positive F parameter (2.01), which estimates the direction of asymmetry of the distribution of the total number of dominant and recessive alleles in the parental lines, the dominant effects of genes were shown to prevail in the specified set of lines. In the 8×8 array, the F parameter was insignificant.

**Таблиця 4.** Генетичні параметри за Хейманом за ознакою «кількість бульбочок вовчка на рослині» при повному (8×8) і скороченому (6×6) наборах ліній

**Table 4.** Hayman's genetic parameters of the "number of nodules per plant" trait in the full (8×8) and reduced (6×6) sets of the lines

Генетичний параметр / Genetic parameter	Повний набір ліній / (8×8) Full set of the lines (8×8)		Скорочений набір ліній (6×6) / Reduced set of the lines (6×6)	
	величина / Value	p	величина / Value	p
D	3.31	<0.01	2.55	<0.01
H <sub>1</sub>	8.72	<0.01	2.44	<0.01
H <sub>2</sub>	7.77	<0.01	2.01	<0.01
(H <sub>1</sub> /D) <sup>1/2</sup>	1.62	–	0.98	–
H <sub>2</sub> /4 H <sub>1</sub>	16.9	–	1.23	–
F	–2.98	<0.17	2.01	<0.01
F <sub>1</sub> (X 81 Б)	–18.32	<0.01	–	–
F <sub>2</sub> (X 83 Б)	–13.51	<0.01	–2.69	<0.01
F <sub>3</sub> (X 808 Б)	–10.58	<0.01	–	–
F <sub>4</sub> (X 1006 Б)	–16.26	<0.01	–6.46	<0.01
F <sub>5</sub> (IU075134)	10.11	<0.01	5.44	<0.01
F <sub>6</sub> (IU075135)	8.78	<0.05	5.38	<0.01
F <sub>7</sub> (IU075136)	8.90	<0.05	5.07	<0.01
F <sub>8</sub> (IU075137)	7.08	<0.05	5.35	<0.01
r (W <sub>r</sub> + V <sub>r</sub> ; Y <sub>r</sub> )	0.956	<0.01	0.993	<0.01
(F <sub>1</sub> –P)	–0.24	–	–0.71	–

Але залучені до схрещувань лінії різнилися за співвідношенням домінантних і рецесивних алелів. Коефіцієнт кореляції між величиною (W<sub>r</sub>+V<sub>r</sub>) і середнім значенням ознаки у батьківських ліній дорівнює 0,993, отже він додатний і значимий. Це свідчить про те, що домінантні алелі зумовлюють зменшення кількості бульбочок вовчка на рослині. Тому в нашому випадку, додатне значення параметра F<sub>i</sub> свідчить про відносно більшу кількість домінантних алелів стійкості в ліній-відновників фертильності IU075134, IU075135, IU075136 й IU075137, а від'ємне – про відносно більшу кількість рецесивних алелів в ліній-закріплювачів стерильності X 83 Б і X 1006 Б.

Від'ємне значення параметра (F<sub>1</sub>–P) (різниці між значеннями ознаки у гібридів та у батьківських компонентів), у доповнення до коефіцієнта кореляції r, також свідчить про те, що домінантні алелі зумовлюють зменшення кількості бульбочок вовчка на рослині.

Розподіл ліній вдовж лінії регресії W<sub>r</sub> на V<sub>r</sub> відобразив генетичну різноманітність контролювання ознаки (рисунок). Точки батьківських ліній розташовані вдовж лінії регресії відповідно до кількості домінантних і рецесивних алелів. В нижній частині графіка в обох випадках розташовані лінії з максимальною кількістю домінантних алелів стійкості, якими виявилися всі лінії-відновники фертильності пилку. Лінії-закріплювачі

However, the lines used in crossings differed in the ratio of dominant and recessive alleles. The correlation coefficient between the (W<sub>r</sub>+V<sub>r</sub>) parameter and the mean value of the trait in the parental lines was 0.993, i.e. it was positive and significant, indicating that dominant alleles were responsible for fewer nodules per plant. Therefore, in our case, the positive F<sub>i</sub> parameter indicates a relatively larger number of dominant alleles for resistance in the fertility restorers (IU075134, IU075135, IU075136, and IU075137), while the negative value indicates a relatively larger number of recessive alleles in two sterility fixers (Kh 83 B and Kh 1006 B).

The negative (F<sub>1</sub>–P) parameter (difference between the trait values in the hybrids and parents), in addition to the correlation coefficient r, also indicates that dominant alleles are responsible for fewer nodules per plant.

The distribution of lines along the regression line of W<sub>r</sub> on V<sub>r</sub> reflected the genetic diversity of the trait control (Figure). The parental lines' points are located along the regression line according to the number of dominant and recessive alleles. In the lower part of the graph, in both cases, there are lines with the maximum number of dominant alleles for resistance, which turned out to be all lines - pollen fertility restorers. The sterility fixers are expectedly located in the upper part of the graph;

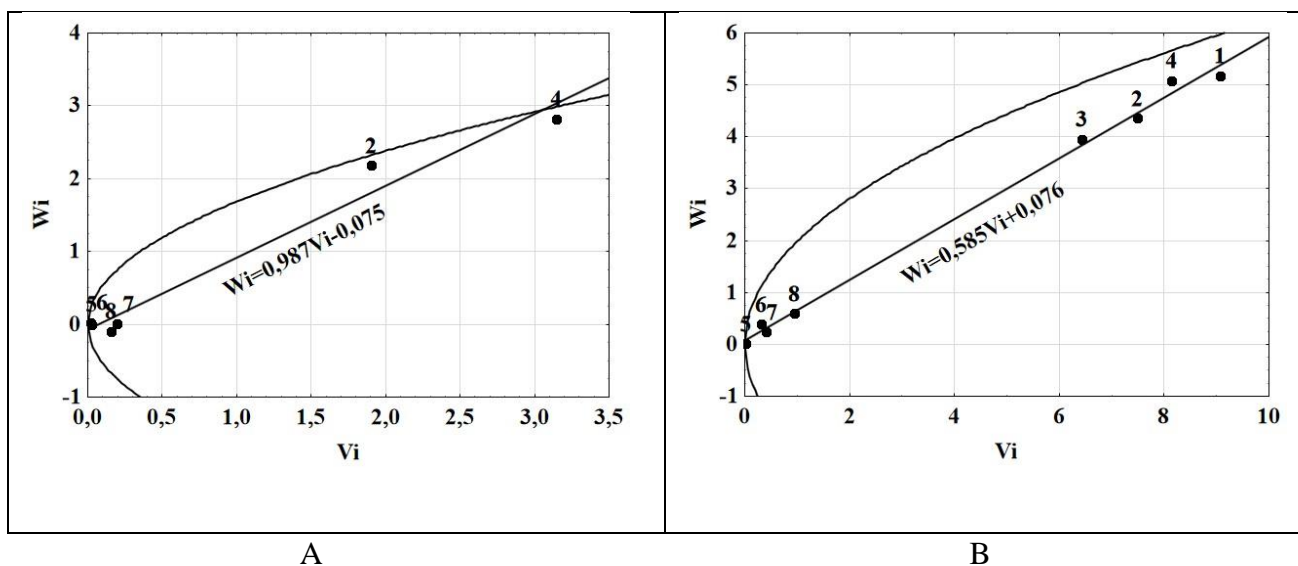


стерильності очікувано розмістилися в верхній частині графіка, отже їм притаманне переважання рецесивних алелів.

Значення вільного члена рівняння регресії  $a$  вірогідно не відрізнялося від 0, що доводить наявність повного домінування в успадкуванні ознаки. Цей результат збігається з висновками іспанських науковців [11, 12]. Такий характер успадкування відрізняється від характеру успадкування стійкості соняшнику до окремих збудників хвороб. Зокрема, стійкість соняшнику до збудника септоріозу (*Septoria helianthi*) контролюється рецесивними генами [32].

therefore, preponderance of recessive alleles is intrinsic to them.

The intercept term  $a$  of the regression equation did not differ significantly from 0, proving complete dominance in the inheritance of the trait. This result is in agreement with the conclusions of Spanish scientists [11, 12]. This inheritance pattern differs from the inheritance pattern of the resistance of sunflower to some pathogens. In particular, the resistance of sunflower to the causative agent of Septoria leaf spot (*Septoria helianthi*) is controlled by recessive genes [32].



**Рис. 2.** Графік регресії  $W_r$  на  $V_r$  за ознакою «кількість бульбочок вовчка на рослині» (А – схема 8×8, Б – схема 6×6). 1 – X 81 Б; 2 – X 83 Б; 3 – X 808 Б; 4 – X 1006 Б; 5 – IU 075134; 6 – IU 075135; 7 – IU 075136; 8 – IU 075137.  
**Fig. 2.** Graph of regression of  $W_r$  on  $V_r$  for to the "the number of nodules per plant" trait (A - 8×8 array, B - 6×6 array). 1 – Kh 81 B; 2 – Kh 83 B; 3 – Kh 808 B; 4 – Kh 1006 B; 5 – IU 075134; 6 – IU 075135; 7 – IU 075136; 8 – IU 075137.

Таким чином, викладений аналіз дав змогу запропонувати лінії IU 075134; IU 075135; IU 075136 і IU 075137 як донорів стійкості до вовчка. Донорські властивості цих ліній зумовлено високим рівнем прояву ознаки стійкості в гібридних комбінаціях, створених за їх участю, що відображено в низьких значеннях ЗКЗ за ознакою «кількість бульбочок вовчка на рослині» та максимальною кількістю домінантних алелів стійкості. Лінії-закріплювачі стерильності X 81 Б і X 808 Б в даному генетичному оточенні проявили епістатичні ефекти генів, завдяки чому рекомендовано їх використання як тестерів в генетичних дослідженнях для розширення міжгенотипової мінливості.

Thus, the presented analysis made it possible to propose lines 'IU 075134', 'IU 075135', 'IU 075136', and 'IU 075137' as donors of resistance to broomrape. The donor capacities of these lines are determined by strong expression of the resistance trait in the hybrids derived from these lines, which is reflected in the low GCA values for the "number of nodules per plant" trait and the maximum number of dominant alleles for resistance. Sterility fixers 'Kh 81 B' and 'Kh 808 B' in this genetic environment showed epistatic effects of genes, due to which they are recommended as testers in genetic studies to expand intergenotypic variability.

## Висновки.

За даними неповної діалельної схеми схрещувань 8×8 доведено суттєву різницю між самозапиленими лініями соняшнику за загальною та специфічною комбінаційною здатністю за ознакою «кількість бульбочок вовчка на рослину». Нестійкі лінії-закріплювачі стерильності X 81 Б і X 808 Б виявили епістатичні ефекти генів і рекомендовані як тестери в генетичних дослідженнях успадкування стійкості до вовчка. Після вилучення з вихідних даних цих двох ліній досягнуто відповідності експериментальних даних адитивно-домінантній моделі. В успадкуванні ознаки переважали адитивні ефекти генів, але й домінантні ефекти були суттєвими. Домінантні алелі зумовлюють зменшення кількості бульбочок вовчка на рослині. Виявлено генетичні особливості самозапиленних ліній соняшнику за ознакою стійкості. Відносно більшу кількість домінантних алелів стійкості мали лінії-відновники фертильності IU075134, IU075135, IU075136 й IU075137, які запропоновані як донори стійкості до вовчка. Лінії-закріплювачі стерильності X 81 Б і X 808 Б рекомендовані для використання як тестери в генетичних дослідженнях.

## Conclusions.

Based on the data on the incomplete 8x8 diallel crossing design, a significant difference in the general and specific combining abilities for the "number of nodules per plant" trait between the sunflower self-pollinated lines was proved. The susceptible lines - sterility fixers, 'Kh 81 B' and 'Kh 808 B' showed epistatic effects of genes and are recommended as testers in genetic studies of inheritance of resistance to broomrape. After excluding these two lines from the initial data, congruence of the experimental data to the additive-dominant model was achieved. In the trait inheritance, additive effects of genes were preponderant; nevertheless, but dominant effects were also significant. Dominant alleles are responsible for fewer nodules per plant. The genetic peculiarities of the self-pollinated sunflower lines are described for the resistance trait. The lines - fertility restorers (IU075134, IU075135, IU075136, and IU075137), which are proposed as donors of resistance to broomrape, had a relatively larger number of dominant alleles for resistance. Two lines - sterility fixers (Kh 81 B and Kh 808 B) are recommended as testers in genetic studies.

## References

1. Imerovski I., Dimitrijevic A., Miladinovic D., Dedic B., Jocić S., Kocis Tubic N., Cvejic S. Mapping of a new gene for resistance to broomrape races higher than F. *Euphytica*. 2015. Vol. 209, No 2. P. 281–289. DOI:10.1007/s10681-015-1597
2. Velasco L. Pérez-Vich B., Yassein A., Jan C., Fernández-Martínez J.M. Inheritance of resistance to sunflower broomrape (*Orobanche cumana* Wallr.) in an interspecific cross between *Helianthus annuus* and *Helianthus debilis* subsp. *Tardiflorus*. *Plant Breeding*. 2012. Vol. 131, No 1. P. 220–221. DOI:10.1111/j.1439-0523.2011.01915
3. Burlov V.V., Burlov V.V. Efficiency of or genes in ensuring resistance of sunflower to new races of broomrape (*Orobanche cumana* Wallr.). *Seleksiia i Nasinnytstvo*. 2010. Vol. 98. P. 28–37. DOI:10.30835/2413-7510.2010.70221 [in Ukrainian]
4. Solodenko A.Ye. Estimation of sunflower resistance to broomrape race C with using of molecular markers. *The Bulletin of Kharkiv National Agrarian University. Series Biology*. 2011. Vol. 3, No 24. P. 61–66 [in Ukrainian]
5. Pilorgé E. Sunflower in the global vegetable oil system: situation, specificities, and perspectives. *OCL*. 2020. Vol. 27, No 34. P. 1–11. DOI:10.1051/ocl/2020028
6. Sydiakina O.V., Hamaiunova V.V. Current state and prospects for production of sunflower seeds. *Taurida Scientific Herald*. 2023. Vol. 131. P. 196–204. DOI: 10.32782/2226-0099.2023.131.25 [in Ukrainian]
7. Shevchenko S., Desyatnyk L., Shevchenko M., Kolesnykova K., Derevenets-Shevchenko K. Control of weeds and sunflower broomrape (*Orobanche cumana* Wallr) in sunflower crops by crop rotation and tillage. *International Journal of Environmental Studies*. 2024. Vol. 81(1). P. 382–392. DOI: 10.1080/00207233.2024.2320031

8. Cuccurullo A., Nicolia A., Cardi T. Resistance against broomrapes (*Orobanche* and *Phelipanche* spp.) in vegetables: a comprehensive view on classical and innovative breeding efforts. *Euphytica*. 2022. Vol.218, No 6. 82 pages. DOI:10.1007/s10681-022-03035-7
9. Molinero-Ruiz L., Delavault P., Pérez-Vich B., Pacureanu-Joita M., Bulos M., Altieri E., Domínguez J. History of the race structure of *Orobanche cumana* and the breeding of sunflower for resistance to this parasitic weed: A review. *Spanish Journal of Agricultural Research*. 2015. Vol. 13, No 4. e10R01, 19 pages. DOI:10.5424/sjar/2015134-8080
10. Akhtouch B., Muñoz-Ruz J., Melero-Vara J., Fernández-Martínez J., Domínguez J. Inheritance of resistance to race F of broomrape in sunflower lines of different origins. *Plant Breeding*. 2002.Vol.121, No. 3. P. 266–268. DOI:[10.1046/j.1439-0523.2002.00701.x](https://doi.org/10.1046/j.1439-0523.2002.00701.x)
11. Pérez-Vich B., Akhtouch B., Muñoz-Ruz J., Fernández-Martínez J.M., Jan C.C. Inheritance of resistance to a highly virulent race “F” of *Orobanche cumana* Wallr.in a sunflower line derived from interspecific amphiploids. *Helia*. 2002. Vol. 25. P. 137–144.DOI:10.2298/HEL0236137P
12. Velasco L., Perez-Vich B., Jan C.C., Fernandez-MartinezJ. M. Inheritance of resistance to broomrape (*Orobanche cumana* Wallr.) race F in a sunflower line derived from wild sunflower species. *Plant Breeding*. 2007. Vol. 126. P. 67–71.DOI:[10.1111/j.1439-0523.2006.01278.x](https://doi.org/10.1111/j.1439-0523.2006.01278.x)
13. Pérez-Vich B, Akhtouch B, Knapp S.J., Leon A.J., Velasco L., Fernández-Martínez J.M., Berry S.T. Quantitative trait loci for broomrape (*Orobanche cumana* Wallr.) resistance in sunflower. *Theor. Appl. Genet.* 2004. Vol. 109, No 1. P. 92–102. DOI: [10.1007/s00122-004-1599-7](https://doi.org/10.1007/s00122-004-1599-7)
14. Imerovski I., Dedić B., Cvejić S., Miladinović D., Jocić S., Owens G., Tubić N., Rieseberg L. BSA-seq mapping reveals major QTL for broomrape resistance in four sunflower lines. *Mol. Breeding*. 2019. Vol. 39. P. 39–41. DOI: [10.1007/s11032-019-0948-9](https://doi.org/10.1007/s11032-019-0948-9)
15. Akhtouch B., Del Moral L., Leon A., Velasco L., Fernández-Martínez J.M., Pérez-Vich B. Genetic study of recessive broomrape resistance in sunflower. *Euphytica*. 2016. Vol. 209.P. 419–428. DOI: 10.1007/s10681-016-1652-z
16. Baytar A. A., Celik I., Doganlar C., Frary A., Doganlar S. QTL mapping of broomrape (*Orobanche Cumana* Wallr.) resistance in sunflower (*Helianthus annuus* L.) using GBS-SNPS. *Turkish J. Field Crop*. 2021. Vol. 26. P. 157–162. DOI: 10.17557/tjfc.940409
17. Calderón-González Á., Pérez-Vich B., Pouilly N., Boniface M C., Louarn J., Velasco L., Muños S. Association mapping for broomrape resistance in sunflower. *Frontiers in Plant Science*. 2023. Vol. 13. P. 1–20. DOI: 10.3389/fpls.2022.1056231
18. Perez-Vich B., Velasco L., Rich P.J., Ejeta G. Marker-assisted and physiology-based breeding for resistance to root parasitic Orobanchaceae / Parasitic Orobanchaceae. Ed. by Springer: Berlin/Heidelberg, Germany. 2013. P. 369–391. DOI: [10.1007/978-3-642-38146-1\\_21](https://doi.org/10.1007/978-3-642-38146-1_21)
19. Khablak S.H., Sychak V.M. *Orobanche cumana* Wallr. in crops *Helianthus annuus*. Bulletin of Sumy National Agrarian University. The Series: Agronomy and Biology, 2023. Vol. 54, No. 4. P. 62–67. DOI:10.32782/agrobio.2023.4.9
20. Nair B, Ghorade R.B. Griffing and Hayman’s diallel analyses of variance for shoot fly resistance traits in sorghum. *Plant Arch.* 2016. Vol. 16, No 2. P. 705–714. URL: <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/pdf/10.5555/20173083004>
21. Simon Ph.W., Strandberg J.O. Diallel analysis of resistance in carrot to *Alternaria* leaf blight. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 1998. Vol. 123, No 3. P. 412–415.
22. Zongo A., Konate A.K., Koita K., Sawadogo M., Sankara Ph., Ntare B.R., Desmae H. Diallel analysis of early leaf spot (*Cercospora arachidicola* Hori.) disease resistance in groundnut. *Agronomy*. 2019. Vol. 9. P. 1–12. DOI: 10.3390/agronomy9010015
23. Kurylych D.V. Donor properties of new self-pollinated lines of sunflower resistant to broomrape (*Orobanche cumana* Wallr.). Oilseed crops: present and prospects: Abstracts of the International Scientific Internet Conference (March 27, 2024). Zaporizhzhia, 2024. P. 39–40. [in Ukrainian]
24. Prokhorova M.I. Methods of biochemical studies (lipid and energy metabolism) / ed. by M.I. Prokhorova. Leningrad: Publishing House of Leningrad State University, 1982. 272 p. [in Russian]
25. Rozhkov A.O., Puzik V.K., Kalenska S.M. et. al. Research work in agronomy: a study guide. Vol. 2. Statistical processing of agronomic research results. Kharkiv: Maidan, 2016. 342 p. URL: <https://repo.btu.kharkov.ua/handle/123456789/33533> [in Ukrainian].
26. Griffing B. Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems. *Australian Journal of Biological Sciences*. 1956. Vol. 9, No 4. P. 463–493. DOI: 10.1071/BI9560463
27. Hayman B.I. The theory and analysis of diallel crosses. *Genetics*. 1954. Vol. 39, No 6. P. 789–809.doi: [10.1093/genetics/39.6.789](https://doi.org/10.1093/genetics/39.6.789)

28. [Cvejčić S.](#), [Dedić B.](#), [Jocić S.](#), [Miladinović D.](#), [Miklić V.](#) Broomrape resistance in newly developed sunflower inbred lines / Proceedings of the 18<sup>th</sup> International Sunflower Conference (27 February–1 March 2012). Mar del Plata, Argentina, 2012. P. 1037–1042.
29. Darvishzadeh R., Bernousi I., Poormohammad Kian S. i, Dechamp-Guillaume G., Sarrafi A. Use of GGEbiplot methodology and Griffing's diallel method for genetic analysis of partial resistance to phoma black stem disease in sunflower. *Acta Agriculturae Scandinavica. Section B – «Soil and Plant Science»*. 2009. Vol. 59, No 6. P. 485–490. DOI: 10.1080/09064710802282747
30. Fisher R. A., Immer F. R., Tedin O. The genetical interpretation of statistics of the third degree in the study of quantitative inheritance. *Genetics*. 1932. Vol.17. P. 107–124. DOI: [10.1093/genetics/17.2.107](#)
31. Rodríguez-Ojeda M.I., Fernández-Escobar J., Alonso L.C. Sunflower inbred line (KI-374) carrying two recessive genes for resistance against a highly virulent Spanish population of *Orobanche cernua* Loelf. / *O. cumana* Wallr. race "F" / Proc. 7<sup>th</sup> Int. Parasitic Weed Symposium (5-8 June 2001). Nantes, France, 2001. P. 208-211.
32. Levytska Kh., Lyakh V. Inheritance peculiarities of resistance to Septoria leaf spot on sunflower in F1 hybrids. *Karantin i Zahyst Roslyn*. 2022. Vol. 1, No 268. P. 8–12. DOI: 10.36495/2312-0614.2022.1.8-12 [in Ukrainian]

Надійшла до редакції 23.10.2024 р.  
Received 23.10.2024

УДК 633.16:631.527

М.Р. Козаченко, Н.І. Васько\*, П.М. Солонечний, О.Г. Наумов, О.В. Зимогляд  
**Результати багаторічної селекції безостих сортів ячменю в Україні**

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

\*E-mail: [nvasko1964@gmail.com](mailto:nvasko1964@gmail.com)

UDC 633.16:631.527

M.R. Kozachenko, N.I. Vasko\*, P.M. Solonechnyi, O.H. Naumov, O.V. Zymohliad  
**Results of the Multi-Year Breeding of Awnless Barley Cultivars in Ukraine**

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

\*E-mail: [nvasko1964@gmail.com](mailto:nvasko1964@gmail.com)

**Реферат:** Наведено результати багаторічних досліджень (2007-2024 рр.), проведених в Інституті рослинництва ім. В.Я. Юр'єва НААН України, в результаті яких уперше в країні здійснено успішну розробку та розвиток напряму селекції ярого ячменю на безостість. Методом гібридизації між різноманітними безостими та остистими сортами й лініями створено п'ять зареєстрованих безостих сортів – Модерн (2011 р.), Контраст (2019 р.), Кречет (2020 р.), Інер (2021 р.), Геркулес (2021 р.), а також передано на кваліфікаційну експертизу новий безостий сорт Ярець (2023 р.). Перший в Україні безостий сорт Модерн був високоврожайним і стійким до збудників сажкових хвороб (9 балів), але недостатньо стійким до гельмінтоспоріозу (7 балів) та вилягання (7,8 балів). Завдяки подальшому розвитку напряму селекції на безостість інші створені безості сорти мають не лише високі врожайності і стійкість до збудників сажкових хвороб, як і сорт Модерн, але й покращені показники інших ознак. Вони вирізняються низькорослістю (60–62 см), стійкістю до вилягання (9 балів) і до посухи (9 балів), а також до збудників гельмінтоспоріозу (8–9 балів). У 2023-2024 рр. виділено як кращі 32 безості лінії.

**Ключові слова:** ярий ячмінь безостість, сорт, лінія, гібридизація, ознака, врожайність, стійкість до біотичних та абіотичних чинників, стійкість до вилягання.

**Abstract:** Findings of long-term research (2007-2024) conducted at the Yuriev Plant Production Institute of NAAS of Ukraine, which resulted in the first in the country successful initiation and development of spring awnless barley breeding, are presented. Due to hybridization between diverse awnless and awny cultivars and lines, five registered awnless cultivars have been bred: 'Modern' (2011), 'Kontrast' (2019), 'Krechet' (2020), 'Iner' (2021), and 'Herkules' (2021); in addition, a new awnless cultivar, 'Yarets (2023)' has been submitted for qualifying examination. The first Ukrainian awnless cultivar, 'Modern', was high-yielding and resistant to smut pathogens (9 points), but not sufficiently resistant to Helminthosporium diseases (7 points) and lodging (7.8 points). Owing to further breeding for awnlessness, other awnless cultivars are not only high-yielding and smut-resistant, like cv. 'Modern', but also have other improved characteristics. Their plants are short (60-62 cm), resistant to lodging (9 points), drought (9 points), and Helminthosporium diseases (8-9 points). In 2023-2024, the best 32 lines have been selected.

**Key words:** spring barley, awnlessness, cultivar, line, hybridization, trait, yield, resistance to biotic and abiotic factors, lodging resistance.

Однією з найважливіших у сільському господарстві була і залишається проблема збільшення обсягів виробництва зерна, в тому числі ячменю. Важливе значення в розширенні виробництва зерна ячменя має підвищення врожайності, що в першу чергу залежить від упровадження нових високоврожайних сортів. У селекції ячменю в Україні тривалий час

The challenge of increasing grain production volumes, including barley grain production, was and remains one of the most important problems in agriculture. Increasing the yield is important in the expansion of barley grain production, which primarily depends on the introduction of new high-yielding cultivars. In the barley breeding in Ukraine, starting



використовували вихідний матеріал дуже вузького спектру різновидів, зокрема, недостатньо включали в схрещування безості форми.

Одним із напрямів селекції є розширення різновидного складу сортів ряду культур, зокрема ячменю. У культурного ячменю (*Hordeum vulgare* L.) є більше 200 різновидів. У Державному реєстрі сортів рослин, придатних для поширення в Україні, донедавна були сорти ярого ячменю різновидів *nutans* Schubl, *medicum* Koern., *submedicum* Orl., *pallidum* Ser., *rikotense* R.Reg., *deficiens* Steud., а з 2024 року – ще й *nudum* L.

Актуальним є залучення в селекцію ячменю вихідного матеріалу різних різновидів, зокрема *inermis* Koern. з ознакою безостості. Оцінки ролі остюків для рослин неоднозначні, зокрема негативні в зв'язку з можливістю травматизму та хвороб у тварин при поїданні соломи [1-7], а також через зменшення пропускну здатності комбайнів і збільшення травмування насіння при підвищених обертах барабана комбайна при обмолоті. Безості ячмені вже тривалий час вирощують в Китаї, Японії, США, Канаді, Австралії та інших країнах [2, 8, 9]. Водночас остюки можуть мати певне значення у формуванні врожайності [10-13]. Зважаючи на це, безості різновиди можуть бути модельним об'єктом для генетико-селекційних досліджень цього питання.

У колишньому СРСР селекціонер Карабалікської сільськогосподарської дослідної станції Казахстану А.А. Грязнов, завдяки введенню в схрещування виділених ним кращих колекційних зразків, створив безостий сорт Гранал, районований у 1981 р., довівши можливість успішної селекції безостого ячменю [9]. Але цей сорт не інтенсивного типу, до того ж він виявився схильним до вилягання і до ураження збудниками листових хвороб.

Останніми роками у значних обсягах селекцію та вивчення безостого ячменю проводять в Австралії та США. Так, в Австралії створено багато фуражних сортів ячменю, серед них безості *Harpoon*, *Kraken*, *Moby* [14], у США – *Cowgirl*, *Stokford* [15, 16], у Канаді – *CDC Ortona* [17] але вони більш придатні до умов, в яких були створені.

В Інституті рослинництва ім. В.Я. Юр'єва НААН України (ІР ім. В.Я. Юр'єва) у 2004–2007 рр. було встановлено селекційно-генетичні особливості та можливості успішного використання в комбінаційній селекції зразків з ознаками безостості та остистості, зокрема,

materials of few varieties were used for a long time; in particular, awnless forms were rarely involved in crossings.

The cultivar diversity expansion in several crops, in particular barley, is an important trend in breeding. There are over 200 varieties of domestic barley (*Hordeum vulgare* L.). Until recently, the State Register of Plant Varieties Suitable for Dissemination in Ukraine included the spring barley cultivars belonging to the following varieties: *nutans* Schubl, *medicum* Koern., *submedicum* Orl., *pallidum* Ser., *rikotense* R.Reg., *deficiens* Steud., and *nudum* L. (the last from 2024).

It is vital to involve different varieties in barley breeding, in particular awnless *inermis* Koern. Assessments of the role of awns are ambiguous, in particular, negative due to possible injuries and diseases in animals after eating straw [1-7] and due to reduced throughput of harvesters and more severely damaged seeds because of increased revolutions of the harvester drum during threshing. Barley has been cultivated for a long time in China, Japan, the USA, Canada, Australia, and other countries [2, 8, 9]. At the same time, awns can be of certain importance for yield formation [10-13]. With this in mind, awnless varieties can be model objects in genetic and breeding studies of this issue.

In the former USSR, a breeder of Karabalyk Agricultural Experimental Station of Kazakhstan, A.A. Gryaznov, selected the best collection accessions and used them in crossings. Thanks to this, he created an awnless cultivar, 'Granal', which was zoned in 1981, proving that it is possible to successfully breed awnless barley [9]. However, this cultivar is not intensive; besides, it turned out to be prone to lodging and damage by pathogens of leaf diseases.

In recent years, breeding and studies of awnless barley have been carried out intensively in Australia and the USA. Thus, many forage barley cultivars have been bred in Australia, among them, awnless cvs. 'Harpoon', 'Kraken', and 'Moby' [14]; in the USA, awnless cvs. 'Cowgirl' and 'Stokford' [15, 16] have been created; in Canada, awnless cv. 'CDC Ortona' [17] has been developed; nevertheless, these cultivars are more suitable for the conditions where they were created.

In 2004–2007 at the Yuriev Plant Production Institute of NAAS of Ukraine (YPPI), the breeding and genetic features of awnless and awny accessions (in particular, of awnless cv. 'Granal') were determined; possibilities of

безостого сорту Гранал і створення на цій основі цінного вихідного матеріалу безостого ячменю [18] та перших українських безостих сортів ярого ячменю.

Таким чином, у селекції ярого ячменю з'явився напрям створення безостих сортів, зокрема, з підвищеною врожайністю зерна, стійкістю до ураження збудниками хвороб, стійкістю до вилягання і посухи. При цьому розширювалося генотипове різноманіття вихідного матеріалу.

Тому актуальною стає розробка і розвиток напряму селекції в Україні безостих сортів з покращеними властивостями господарських ознак шляхом розширення використання для схрещувань нового вихідного матеріалу, зокрема, різновиду *inermе*.

Метою дослідження було розширення різновидного складу сортів ярого ячменю шляхом залучення в гібридизацію безостих і остистих сортів і ліній з цінними ознаками, а також покращення господарських ознак створюваних сортів за врожайністю і стійкістю до вилягання та до збудників листових хвороб.

### Методика

Для узагальнення результатів селекції безостого ячменю використано дані дослідження в 2007-2024 рр. у період створення і вивчення покращених безостих сортів ярого ячменю в ІР ім. В.Я. Юр'єва.

Джерелом безостості створених сортів був сорт Гранал, у подальшому лінії 04-481 (Звершення / Гранал) і 07-1223 (Гранал / Fink) та сорти Вітраж і Модерн. Остистими компонентами для схрещування були генотипи з високою стійкістю до вилягання та ураження збудниками хвороб – сорти Звершення, Парнас, Етикет селекції ІР ім. В.Я. Юр'єва, Arikada (Німеччина) та лінія 06-09 (ІР 6898 / Гама), сорт Pasadena.

У подальшому для схрещування було використано як материнські компоненти оригінальні безості сорти Модерн, Контраст, Кречет, Інер, Геркулес і лінії 12-655, 15-1246, а як батьківські компоненти схрещування – високоврожайні та з високою стійкістю до вилягання та хвороб сорти Novosadsky 294, Beatrix, Prestige, NSGJ-1, Scrabble, Подив, Донецький 12, Аграрій. Оцінку одержаних від цих схрещувань ліній проведено в 2023-2024 рр. у конкурсному сортовипробуванні.

Попередник – горох на зерно. Сівбу здійснено селекційною сівалкою ССФК-7.

successful using them in combination breeding were assessed; and, on this basis, valuable starting materials of awnless barley [18] and the first Ukrainian awnless spring barley cultivars were developed.

Thus, in spring barley breeding, a trend to create awnless cultivars was evolved, in particular, cultivars with increased grain yield, enhanced resistance to pathogens, lodging and drought. At the same time, the genotypic diversity of starting materials was expanded.

Therefore, the initiation and development of the Ukrainian breeding of awnless barley cultivars with improved economic characteristics via using new starting materials for crossings, in particular, var. *inermе*, is becoming urgent.

The purpose of the study was to expand the variety diversity of spring barley cultivars by involving awnless and awny cultivars and lines with valuable traits in hybridization and by improving the economic characteristics of the created cultivars in terms of yield and resistance to lodging and pathogens of foliar diseases.

### Methods

To summarize the results of awnless barley breeding, the data of studies in 2007-2024 (the period of creation and investigation of improved awnless spring barley cultivars at the YPPI) were used.

Cultivar 'Granal' became the source of awnlessness for the created cultivars; further, lines '04-481' ('Zvershennia'/'Granal') and '07-1223' ('Granal'/'Fink') and cvs. 'Vitrazh' and 'Modern' were used as sources of awnlessness. Genotypes with high resistance to lodging and damage by pathogens, viz. cvs. 'Zvershennia', 'Parnas', and 'Etyket' bred at the YPPI; 'Arikada' (Germany), line '06-09' ('IR 6898'/'Gama'), and cv. 'Pasadena' were taken as awny components for crossings.

Afterwards, the original awnless cvs. 'Modern', 'Kontrast', 'Krechet', 'Iner', and 'Herkules' as well as lines '12-655' and '15-1246' were used as female forms in crossings, while high-yielding and highly resistant to lodging and diseases cvs. 'Novosadsky 294', 'Beatrix', 'Prestige', 'NSGJ-1', 'Scrabble', 'Podyv', 'Donetskyi 12', and 'Ahrarii' were used as male forms. Lines obtained from these crossings were tested in competitive variety trials in 2023-2024.

The predecessor was grain pea. Barley was sown with a SSFK-7 planter. The plot area was 10

Площа ділянки – 10 м<sup>2</sup>, міжряддя – 0,15 м, повторень – чотири. Протягом вегетації проведено фенологічні спостереження, оцінено стійкість до вилягання. На інфекційному фоні оцінено ступінь ураження збудниками темно-бурого гельмінтоспоріозу, борошнистої роси, летючої та кам'яної сажок за 9-бальною шкалою. Визначали рівень урожайності, продуктивної кущистості, кількості зерен у колосі, довжини колоса, маси 1000 зерен. Статистичну обробку результатів дослідження проведено дисперсійним аналізом за програмою STATISTICA 6.

### Результати та обговорення

Перший створений в Україні сорт безостого дворядного ярого ячменю різновиду *inermis* було названо Модерн. Його створено методом гібридизації між сортами Звершення різновиду *nutans* і Гранал різновиду *inermis*. Безостість проявляється внаслідок редукованості остюків на верхівці фертильних квіток.

У конкурсному сортовипробуванні інституту врожайність безостого сорту Модерн за 2007–2008 рр. склала 5,88 т/га з перевищенням на 12 % (0,62 т/га) над тодішнім національним стандартом Галактик (табл. 1). Сорт середньостиглий – період вегетації 87 діб, що на три доби більше, ніж у стандарті. Але сорт Модерн мав недостатню стійкість до вилягання (7,8 балів), як і сорт Гранал (7,0 балів). Висота рослин сорту була вищою рівня стандарту (88 см і 77 см відповідно). Маса 1000 зерен була середньою – 46,5 г, зерен у колосі – 26 шт., щільність колоса – 11,2 члеників на 4 см стрижня колоса, довжина колоса середня – 8,8 см. Продуктивна кущистість була на рівні 1,7 стебел.

При випробуванні на штучному інфекційному фоні високоврожайний сорт Модерн проявив групову стійкість до сажкових хвороб (9 балів), але мав недостатню стійкість до гельмінтоспоріозу (7 балів) – як і батьківський компонент Гранал.

За результатами Державного сортовипробування в 2009–2011 рр. перший в Україні безостий сорт ярого ячменю Модерн зернового напрямку використання внесено в 2011 р. в Державний реєстр сортів рослин, придатних для поширення в Україні (далі Державний реєстр), для зони Степ за перевищення врожайності (3,5 т/га) над стандартом на 17 %.

Таким чином, вперше створений в Україні безостий сорт ярого ячменю Модерн вирізнявся високою врожайністю та стійкістю до сажкових

хвороб; the inter-row width was 0.15 m. The experiments were carried out in four replications. During the growing period, phenological observations were conducted and lodging resistance was evaluated. On infection, the damage caused by the pathogens of *Helminthosporium* diseases, powdery mildew, loose and head smuts was assessed on a 9-point scale. The yield, productive tillering capacity, the number of kernels per spike, spike length, and thousand kernel weight were measured. Data were statistically processed using ANOVA in STATISTICA 6.

### Results and Discussion

The first Ukrainian awnless two-rowed spring barley cultivar of var. *inermis* was called 'Modern'. It was created by hybridization of var. *nutans* cv. 'Zvershennia' with and var. *inermis* cv. 'Granal'. Awnlessness is expressed as reduced awns on the apices of fertile flowers.

In a competitive variety trial conducted at the Institute in 2007–2008, awnless cv. 'Modern' yielded 5.88 t/ha or by 12% (0.62 t/ha) more than the national then-reference cv. 'Halaktyk' (Table 1). The cultivar is medium-ripening; the vegetation period lasts 87 days, which is three days longer than in the reference cultivar. However, cv. 'Modern' was insufficiently resistant to lodging (7.8 points), like cv. 'Granal' (7.0 points). Cv. 'Modern' plants were taller than those of the reference cultivar (88 cm and 77 cm, respectively). The thousand kernel weight was moderate (46.5 g); there were 26 kernels per spike; the spike density was 11.2 caryopses per 4 cm of the rachis; the mean spike length was 8.8 cm. The productive tillering capacity was 1.7 stems.

When tested on artificial infections, high-yielding cv. 'Modern' showed group resistance to smuts (9 points) but insufficient resistance to *Helminthosporium* diseases (7 points), just like its parental form, 'Granal'.

Based on results of the State variety trials in 2009–2011, in 2011, the first Ukrainian awnless spring barley cv. 'Modern', which was grown for grain, was included in the State Register of Plant Varieties Suitable for Dissemination in Ukraine (hereinafter the State Register) to be grown in the steppe, since it yielded by 17% more (3.5 t/ha) than the reference cultivar.

Thus, the first Ukrainian awnless spring barley cv. 'Modern' was distinguished due to high yield and resistance to smut diseases.



хвороб. Але сорт мав недостатню стійкість до збудників гельмінтоспоріозу та до вилягання. Тому, при селекції ячменю на безостість необхідно створювати нові безості сорти з покращеними властивостями господарських ознак.

However, the cultivar was insufficiently resistant to the causative agents of Helminthosporium diseases and to lodging. Therefore, awnless barley breeding had to create new awnless cultivars with improved economic characteristics.

**Таблиця 1.** Рівень показників ознак сорту Модерн у порівнянні зі стандартом, 2007–2008 рр.

**Table 1.** Characteristics cv. 'Modern' in comparison with the reference cultivar, 2007–2008

Ознака / Feature	Рівень показника ознаки / Level	
	стандарту Галактик / Reference cv. 'Galaktyk'	Модерн / 'Modern'
Урожайність, т/га / Yield, t/ha	5.24	5.88
НІР <sub>05</sub> , т/га / LSD <sub>05</sub> , t/ha	–	0.25
Вегетаційний період, діб / Growing period, days	84	87
Висота, см / Plant height, cm	77	88
Вміст білка, % / Protein content, %	11.2	11.9
Маса 1000 зерен, г / Thousand kernel weight, g	52.1	46.5
Продуктивна кустистість, стебел / Productive tillering, stems	1.80	1.70
Зерен у колосі, шт. / Number of kernels per spike	24	26
Довжина колоса, см / Spike length, cm	7.9	8.8
Стійкість, балів: / Resistance score, points:		
– до летючої сажки / loose smut	3	9
– до кам'яної сажки / head smut	3	9
– до гельмінтоспоріозу / Helminthosporium diseases	4	7
– до вилягання / lodging	7.5	7.8
– до посухи / drought	9	9

У результаті подальшої селекції методом гібридизації стійкого до вилягання остистого сорту Парнас з безостою лінією 04-481 (Звершення / Гранал) створено другий безостий сорт Контраст. У 2015–2016 рр. у конкурсному сортовипробуванні інституту врожайність сорту була вищою за національний стандарт Взірець на 0,18 т/га (4 %) за рівня 4,43 т/га (табл. 2). За тривалістю вегетаційного періоду (83 доби за 85 діб у стандарті) сорт середньостиглий. На відміну від безостого сорту Гранал він має підвищену стійкість до вилягання (9 балів) і до ураження збудниками гельмінтоспоріозу (8 балів), маючи як і сорт Модерн також стійкість до сажкових хвороб і виділяючись низькорослістю (60 см), але має середню довжину колоса (7,8 см).

У Державний реєстр сорт Контраст внесено в 2019 р. за перевищення врожайності над умовним стандартом на 12 % за рівня 4,83 т/га в 2017–2018 рр., він має 8-9 балів стійкості до вилягання, підвищену стійкість до ураження збудниками гельмінтоспоріозу (8 балів) і 9 балів стійкості до летючої сажки.

Further breeding resulted in the second awnless cultivar, 'Kontrast', which was created by hybridization of lodging-resistant awny cv. 'Parnas' with awnless line '04-481' ('Zvershennia'/'Granal'). A competitive variety trial was conducted at the Institute in 2015–2016 and it was found that this cultivar yielded 4.43 t/ha, which was 0.18 t/ha (4%) more than the yield from the national reference cultivar, 'Vzirets' (Table 2). As to growing period, the cultivar was medium-ripening (83 days vs. 85 days in the reference cultivar). In contrast to awnless cv. 'Granal', it showed increased resistance to lodging (9 points) and to the pathogens of Helminthosporium diseases (8 points); it was also resistant to smut diseases, like cv. 'Modern'. Its plant were short (60 cm), but spike were medium-long (7.8 cm).

Cultivar 'Kontrast' was included in the State Register in 2019, because it yielded 4.83 t/ha in 2017–2018, or 12% more than the conventional reference cultivar. Its lodging resistance score was 8-9 points; it also showed enhanced resistance to the pathogens of Helminthosporium diseases (8 points) and loose smut (9 points).

**Таблиця 2.** Рівень показників ознак сорту Контраст у порівнянні зі стандартом, 2015–2016 рр.  
**Table 2.** Characteristics cv. ‘Kontrast’ in comparison with the reference cultivar, 2015–2016

Ознака / Feature	Рівень показника ознаки / Level	
	стандарту Взірець / Reference cv. ‘Vzirets’	Контраст / ‘Kontrast’
Урожайність, т/га / Yield, t/ha	4.25	4.43
НІР <sub>05</sub> , т/га / LSD <sub>05</sub> , t/ha	-	0.11
Вегетаційний період, діб / Growing period, days	85	82
Висота, см / Plant height, cm	70	60
Вміст білка, % / Protein content, %	12.2	12.4
Маса 1000 зерен, г / Thousand kernel weight, g	43.0	45.0
Продуктивна кустистість, стебел / Productive tillering, stems	1.60	1.60
Зерен у колосі, шт. / Number of kernels per spike	22	24
Довжина колоса, см / Spike length, cm	7.20	7.80
Стійкість, балів: / Resistance score, points:		
– до летючої сажки / loose smut	8	9
– до кам'яної сажки / head smut	8	9
– до гельмінтоспоріозу / Helminthosporium diseases	7	8
– до вилягання / lodging	8	9
– до посухи / drought	9	9

Розвиваючи напрям селекції безостого ячменю, шляхом схрещування остистої лінії 06-09 (IP 6898 / Гама) із безостим сортом Вітраж було створено наступний безостий сорт Кречет різновиду *inermе* з покращеними показниками господарських ознак. У конкурсному сортовипробуванні інституту за 2016-2017 рр. врожайність сорту була вищою, ніж у остистого стандарту Взірець на 8 % за середньої 5,34 т/га (табл. 3).

Сорт Кречет середньостиглий (84 доби), низькорослий (61 см), стійкий до вилягання (9 балів), посухи (9 балів), збудників сажкових хвороб (9 балів). Стійкість до збудників гельмінтоспоріозу підвищена (8 балів).

За результатами державної кваліфікаційної експертизи в 2013–2020 рр. безостий сорт Кречет внесено в 2020 р. до Державного реєстру для зон Степ і Лісостеп України за врожайність у зоні Степу 3,44 т/га (+0,73 т/га до умовного стандарту) і в зоні Лісостепу 5,29 т/га (+1,06 т/га до стандарту), стійкість до вилягання 9,0 балів, до летючої сажки – 9,0 балів.

У подальшому методом гібридизації при схрещуванні стійкого до вилягання середньорослого остистого сорту Етикет з безостим сортом Модерн зі слабкою стійкістю до вилягання та більш високою соломиною в результаті рекомбінації створено стійкий до вилягання низькорослий безостий сорт Інер різновиду *inermе*.

Developing awnless barley breeding, breeders crossed awny line ‘06-09’ (‘IR 6898’ / ‘Gama’) with awnless cv. ‘Vitrazh’ and created the next awnless cultivar, ‘Krechet’ of var. *inermе*, with improved economic characteristics. In a competitive variety trial conducted at the Institute in 2016-2017, this cultivar yielded on average 5.34 t/ha, which was 8% more than the yield from the awny reference cultivar, ‘Vzirets’ (Table 3).

Cultivar ‘Krechet’ is medium-ripening (84 days), short (61 cm), resistant to lodging (9 points), drought (9 points), and the pathogens of smut diseases (9 points). Its resistance to the pathogens of Helminthosporium diseases is increased (8 points).

Based on results of the state qualifying examination in 2013–2020, awnless cv. ‘Krechet’ was included the State Register in 2020 to be grown in the Steppe and Forest-Steppe of Ukraine, because it yielded 3.44 t/ha (+0.73 t/ha to the yield from conditional reference cultivar) in the steppe and 5.29 t/ha (+1.06 t/ha to the yield from reference cultivar) in the forest-steppe, was resistant to lodging (9.0 points) and loose smut (9.0 points).

Subsequent hybridization of lodging-resistant, medium-tall awny cv. ‘Etyket’ with awnless cv. ‘Modern’, which was less resistant to lodging because of taller stems, resulted in lodging-resistant, short awnless cv. ‘Iner’ of var. *inermе*.

**Таблиця 3.** Рівень показників ознак сорту Кречет у порівнянні зі стандартом, 2016-2017 рр.  
**Table 3.** Characteristics cv. 'Krechet' in comparison with the reference cultivar, 2016-2017

Ознака / Feature	Рівень показника ознаки / Level	
	стандарту Взірець / Reference cv. 'Vzirets'	Кречет / 'Krechet'
Урожайність, т/га / Yield, t/ha	4.94	5.34
НІР <sub>05</sub> , т/га / LSD <sub>05</sub> , t/ha	-	0.22
Вегетаційний період, діб / Growing period, days	87	84
Висота, см / Plant height, cm	70	61
Вміст білка, % / Protein content, %	11.3	11.4
Маса 1000 зерен, г / Thousand kernel weight, g	42.0	42.5
Продуктивна кустистість, стебел / Productive tillering, stems	1.60	1.95
Зерен у колосі, шт. / Number of kernels per spike	23	25
Довжина колоса, см / Spike length, cm	7.2	8.2
Стійкість, балів: / Resistance score, points:		
– до летючої сажки / loose smut	8	9
– до кам'яної сажки / head smut	7	9
– до гельмінтоспоріозу / Helminthosporium diseases	7	8
– до вилягання / lodging	8	9
– до посухи / drought	9	9

Урожайність сорту Інер в конкурсному сортовипробуванні 2016-2018 рр. була на 10 % вищою від стандарту Взірець і склала в середньому 5,23 т/га (табл. 4). Тривалість вегетаційного періоду середня (85 діб). Безостий сорт Інер виділяється, окрім високої врожайності, також низькорослістю, високою стійкістю до вилягання (9 балів), до збудників як сажкових хвороб, так і гельмінтоспоріозу, маючи достатню продуктивну кустистість (1,90 стебел).

In a 2016-2018 competitive variety trial, cv. 'Iner' yielded on average 5.23 t/ha, or 10% more than reference cv. 'Vzirets' (Table 4). The growing period was medium (85 days). In addition to high yield capacity, awnless cv. 'Iner' is noticeable for short stems, high resistance to lodging (9 points), to the pathogens of both smuts and Helminthosporium diseases, and sufficient productive tillering capacity (1.90 stems).

**Таблиця 4.** Рівень показників ознак сорту Інер у порівнянні зі стандартом, 2016–2018 рр.  
**Table 4.** Characteristics cv. 'Iner' in comparison with the reference cultivar, 2016–2018

Ознака / Feature	Рівень показника ознаки / Level	
	стандарту Взірець / Reference cv. 'Vzirets'	Інер / 'Iner'
Урожайність, т/га / Yield, t/ha	4.75	5.23
НІР <sub>05</sub> , т/га / LSD <sub>05</sub> , t/ha	-	0.28
Вегетаційний період, діб / Growing period, days	85	85
Висота, см / Plant height, cm	75	62
Вміст білка, % / Protein content, %	12.6	12.7
Маса 1000 зерен, г / Thousand kernel weight, g	43.0	45.0
Продуктивна кустистість, стебел / Productive tillering, stems	1.6	1.9
Зерен у колосі, шт. / Number of kernels per spike	22	26
Довжина колоса, см / Spike length, cm	7.3	8.3
Стійкість, балів: / Resistance score, points:		
– до летючої сажки / loose smut	8	9
– до кам'яної сажки / head smut	8	9
– до гельмінтоспоріозу / Helminthosporium diseases	8	9
– до вилягання / lodging	8	9
– до посухи / drought	9	9

Безостий сорт Інер внесено в 2021 р. до Державного реєстру для зон Степу, Лісостепу і Полісся за врожайністю за 2019–2020 рр. державної експертизи в зоні Степу 3,33–4,87 т/га (+0,62–2,19 т/га до умовного стандарту), в зоні Лісостепу – 5,33–5,39 т/га (+0,97–1,11 т/га) і в зоні Полісся 3,77–4,15 т/га (+0,09–0,51 т/га), а також стійкістю до летючої сажки на рівні 9 балів.

Для створення безостого сорту Геркулес з кращими показниками господарських ознак, ніж у безостого сорту Модерн, було проведено схрещування з залученням іноземних сортів Fink і Arikada.

Безосту лінію 07-1223 (безостий сорт Гранал / остистий сорт Fink) було схрещено з стійким до вилягання остистим сортом Arikada з Німеччини. В конкурсному сортовипробуванні інституту в умовах 2017–2019 рр. врожайність сорту Геркулес склала 5,28 т/га, що на 12 % вище, ніж у стандарту Взірець і на 8 % у порівнянні з першим нашим безостим сортом Модерн (табл. 5). За тривалістю вегетаційного періоду сорт середньостиглий (85 діб).

Awnless cv. 'Iner' was included in the State Register in 2021 to be grown in the steppe, forest-steppe, and woodlands, since according to the state examination in 2019–2020, it yielded 3.33–4.87 t/ha (+0.62–2.19 t/ha to the conditional reference cultivar) in the steppe, 5.33–5.39 t/ha (+0.97–1.11 t/ha) in the forest-steppe, and 3.77–4.15 t/ha (+0.09–0.51 t/ha) in the woodlands. In addition, its loose smut resistance score was 9 points.

In order to create awnless cv. 'Herkules' with better economic characteristics than those of awnless cv. 'Modern', breeders used foreign cvs. 'Fink' and 'Arikada'.

Awnless line '07-1223' (awnless cv. 'Granal' / awny cv. 'Fink') was crossed with Germanan lodging-resistant awny cv. 'Arikada'. In a competitive variety trial conducted at the Institute in 2017–2019, cv. 'Herkules' yielded 5.28 t/ha, which was 12% more than the yield from reference cv. 'Vzirets' and 8% more than our first awnless cv. 'Modern' yielded (Table 5). By growing period length, this cultivar is medium-ripening (85 days).

**Таблиця 5.** Рівень показників ознак сорту Геркулес у порівнянні зі стандартом, 2017–2019 рр.

**Table 5.** Characteristics cv. 'Herkules' in comparison with the reference cultivar, 2017–2019

Feature	Рівень показника ознаки / Level			
	стандарту Взірець / Reference cv. 'Vzirets'	Геркулес / 'Herkules'	Модерн / 'Modern'	Контраст / 'Kontrast'
Урожайність, т/га / Yield, t/ha	4.72	5.28	4.87	4.94
НІР <sub>05</sub> , т/га / LSD <sub>05</sub> , t/ha	-	0.21	0.21	0.21
Вегетаційний період, діб / Growing period, days	85	85	84	81
Висота, см / Plant height, cm	70	60	85	60
Вміст білка, % / Protein content, %	12.5	12.7	12.0	12.6
Маса 1000 зерен, г / Thousand kernel weight, g	42.0	43.0	43.5	44.0
Продуктивна кущистість, стебел / Productive tillering, stems	1.60	1.90	1.70	1.70
Зерен у колосі, шт. / Number of kernels per spike	20.8	23.5	24.0	21.5
Довжина колоса, см / Spike length, cm	7.10	7.70	8.00	7.00
Стійкість, балів: / Resistance score, points:				
– до летючої сажки / loose smut	8	9	9	9
– до кам'яної сажки / head smut	8	9	9	9
– до гелмінтоспоріозу / Helminthosporium diseases	8	9	7	8
– до вилягання / lodging	8	9	7	9
– до посухи / drought	9	9	9	9

Сорт Геркулес низькорослий (60 см) і стійкий до вилягання (9 балів), чим вигідно вирізняється в порівнянні з безостим сортом Модерн, який більш високорослий (85 см) і має недостатню стійкість до вилягання (7 балів). Маса 1000 зерен сорту Геркулес за ці роки становила 43,0 г, майже як і в Модерну (43,5 г). Продуктивна куцистість сорту достатня (1,90 стебел при 1,70 стебел у Модерну).

Безостий сорт Геркулес за результатами державної експертизи за 2020–2021 рр. внесено в 2021 р. до Державного реєстру сортів рослин, придатних для поширення в Україні в зонах Степ, Лісостеп і Полісся за високою врожайністю в зоні Степ – 4,66–4,84 т/га (164–181 % до умовного стандарту), Лісостеп – 5,14–5,60 т/га (111–128 %) і Полісся – 3,79–4,57 т/га (103–120 %), за стійкістю до ураження збудником летючої сажки (9 балів).

У 2023 р. для кваліфікаційної експертизи з 2024 р. передано стресостійкий безостий сорт ярого ячменю Ярець різновиду *inermе*. Для створення сорту Ярець було проведено схрещування безостого сорту Вітраж зі стійким до вилягання сортом Pasadena. В гібридній популяції виділено безосту лінію 18-249, яка за результатами конкурсного сортовипробування в 2021–2023 рр. мала на 9 % вищу врожайність зерна у порівнянні зі стандартом Авгур при рівні 4,74 т/га (табл. 6).

Cultivar ‘Herkules’ is short (60 cm) and resistant to lodging (9 points), which favorably distinguishes it in comparison with awnless cv. ‘Modern’, which is taller (85 cm) and less lodging resistant (7 points). The thousand kernel weight in cv. ‘Herkules’ in these years was 43.0 g, almost the same as in cv. ‘Modern’ (43.5 g). The productive tillering capacity of this cultivar is sufficient (1.90 stems compared to 1.70 stems in cv. ‘Modern’).

Based on results of the state examination in 2020–2021, awnless cv. ‘Herkules’ was included in the State Register in 2021 to be grown in the steppe, forest-steppe, and woodlands, where it yielded 4.66–4.84 t/ha (164–181% related to the conditional reference cultivar), 5.14–5.60 t/ha (111–128 %), and 3.79–4.57 t/ha (103–120%), respectively. Its loose smut resistance score was 9 points.

In 2023, stress-resistant awnless spring barley cv. ‘Yarets’ (var. *inermе*) was submitted to qualifying examination from 2024. To create cv. ‘Yarets’, breeders crossed awnless cv. ‘Vitrazh’ with lodging-resistant cv. ‘Pasadena’. From the hybrid population, awnless line ‘18-249’ was selected. According to results of a competitive variety trial in 2021–2023, it yielded 4.74 t/ha, or 9% more grain than from reference cv. ‘Avhur’ (Table 6).

**Таблиця 6.** Рівень показників ознак сорту Ярець у порівнянні зі стандартом, 2021–2023 рр.

**Table 6.** Characteristics cv. ‘Yarets’ in comparison with the reference cultivar, 2021–2023

Ознака / Feature	Рівень показника ознаки / Level	
	стандарту Авгур / Reference cv. ‘Avhur’	Ярець / ‘Yarets’
Урожайність, т/га / Yield, t/ha	4.34	4.74
НІР <sub>05</sub> , т/га / LSD <sub>05</sub> , t/ha	-	0.21
Вегетаційний період, діб / Growing period, days	82	83
Висота, см / Plant height, cm	51	55
Вміст білка, % / Protein content, %	12.8	12.1
Маса 1000 зерен, г / Thousand kernel weight, g	42	42
Продуктивна куцистість, стебел / Productive tillering, stems	1.6	1.9
Зерен у колосі, шт. / Number of kernels per spike	22	25
Довжина колоса, см / Spike length, cm	7.1	7.2
Стійкість, балів: / Resistance score, points:		
– до летючої сажки / loose smut	8	9
– до кам'яної сажки / head smut	8	9
– до гелмінтоспоріозу / Helminthosporium diseases	8	9
– до вилягання / lodging	8	9
– до посухи / drought	9	9

За тривалістю вегетаційного періоду сорт середньостиглий (83 доби) як і стандарт Авгур (82 доби). Сорт Ярець низькорослий (55 см), надзвичайно стійкий до вилягання (9 балів). Маса 1000 зерен сорту становила 42,0 г. Продуктивна кущистість була на рівні 1,9 стебел. Сорт стійкий до летючої та кам'яної сажок і до гельмінтоспоріозу (9 балів), а також до посухи (9 балів).

У подальшій селекції за 2017-2024 рр. було створено та оцінено в 2023-2024 рр. нові безості лінії в конкурсному сортовипробуванні, контрольному та селекційному розсадниках.

У конкурсному сортовипробуванні за 2023-2024 рр. оцінено лінії, одержані в 2020 р. у селекційному розсаднику, серед яких виділено три безості лінії з вищою від стандарту Авгур врожайністю на 6-20 %: л. 20-423 (Модерн х Novosadsky 294) – на 6-15 %, л. 20-546 (Модерн х л. 13-1264) – на 13-20 %, л. 20-606 (12-655 х Донецький 12) – на 27-10 % відповідно до років дослідження, які вирізнялися також стійкістю до вилягання та до ураження збудниками хвороб (табл. 7).

In terms of the growing period length, this cultivar is medium-ripening (83 days), like reference cv. 'Avhur' (82 days). Cultivar 'Yarets' is short (55 cm) and extremely resistant to lodging (9 points). The thousand kernel weight in this cultivar was 42.0 g. The productive tillering capacity was 1.9 stems. The cultivar is resistant to loose and head smuts as well as to Helminthosporium diseases (9 points); it is also drought resistant (9 points).

Due to subsequent breeding in 2017-2024, new lines were created and evaluated in competitive variety trials, control and breeding nurseries in 2023-2024.

In a competitive variety trial in 2023-2024, lines obtained in the breeding nursery in 2020 were evaluated. Of them, three awnless lines yielding more by 6-20% than reference cv. 'Avhur' were selected: line '20-423' ('Modern' x 'Novosadsky 294'; by 6-15%), line '20-546' ('Modern' x line '13-1264'; by 13-20%), and line '20-606' (line '12-655' x 'Donetskyi 12'; by 27-10%). The lines were also distinguished by resistance to lodging and pathogens (Table 7).

**Таблиця 7.** Рівень показників ознак сорту Ярець у порівнянні зі стандартом, 2021–2023 рр.

**Table 7.** Characteristics cv. 'Yarets' in comparison with the reference cultivar, 2021–2023

Ознака / Feature	Рівень показника ознаки / Level			
	стандарту Авгур / Reference cv. 'Avhur'	Лінія 20-423 / Line '20-423'	Лінія 20-546 / Line '20-546'	Лінія 20-606 / Line '20-606'
Урожайність, т/га / Yield, t/ha	3.09	3.50	3.58	3.64
НІР <sub>05</sub> , т/га / LSD <sub>05</sub> , t/ha	-	0.25	0.25	0.25
Вегетаційний період, діб / Growing period, days	82	83	81	82
Висота, см / Plant height, cm	51	50	52	54
Вміст білка, % / Protein content, %	12.8	13.5	13.1	13.8
Маса 1000 зерен, г / Thousand kernel weight, g	42	43	44	41
Продуктивна кущистість, стебел / Productive tillering, stems	1.6	1.8	1.7	1.9
Зерен у колосі, шт. / Number of kernels per spike	22	24	25	26
Довжина колоса, см / Spike length, cm	7.1	7.3	7.4	7.6
Стійкість, балів: / Resistance score, points:	8	9	9	9
– до летючої сажки / loose smut	8	9	9	9
– до кам'яної сажки / head smut	8	9	9	9
– до гельмінтоспоріозу / Helminthosporium diseases	8	9	9	9
– до вилягання / lodging	8	9	9	9
– до посухи / drought	9	9	9	9

У контрольному розсаднику оцінено лінії, одержані в 2021 р., серед яких виділено шість високоврожайних ліній з вищою від стандарту Август урожайністю на 6-20 %: л. 20-356 (Модерн × Beatrix) – на 6 %, л. 21-644 (Модерн × Prestige) – на 24 %, л. 21-680 (Кречет × Novosadsky 294) – на 14 %, л. 21-845 (Інер × Донецький 12) – на 7 %, л. 21-843 (Інер × Beatrix) – на 11 %, л. 21-818 (Модерн × Подив) – на 4 %.

У селекційному розсаднику оцінено лінії, одержані в 2023 р., серед яких виділено 23 кращі за оцінками безості лінії з гібридних комбінацій Контраст × Scrabble, Модерн × Scrabble, Геркулес × Novosadsky 294, Кречет × Аграрій, 15-1246 × Scrabble, Кречет × Scrabble, Модерн × Ахіллес, Модерн × Gladys, Контраст × Аграрій, Геркулес × Scrabble, 15-1264 × NSGJ-1.

Таким чином, вперше в Україні розроблено та розвинуто напрям селекції ярого ячменю на безостість, в результаті якого шляхом рекомбінацій при схрещуванні різноманітних безостих і остистих сортів і ліній створено п'ять безостих сортів (перший український безостий сорт Модерн, а також з покращеними показниками врожайності, стійкості до вилягання та ураження збудниками хвороб безості сорти Контраст, Кречет, Інер і Геркулес), внесених в 2011-2021 рр. до Державного реєстру сортів рослин, придатних для поширення в Україні. У 2023 р. передано для кваліфікаційної експертизи новий безостий надзвичайно стійкий до екстремальних фонів сорт Ярець, а також створено 32 нові цінні безості лінії. У результаті оцінок безостих сортів Модерн, Контраст, Кречет, Інер, Геркулес, Ярець і нових безостих ліній встановлено особливості рівня показників господарських ознак цих сортів, їх позитивні й негативні властивості та покращення ознак завдяки перевищенню їх показників над ознаками стандартів, зокрема врожайності, стійкості до ураження збудниками летючої та кам'яної сажок, борошнистої роси, гельмінтоспориозу, стійкості до вилягання і посухи.

Створено безості сорти та лінії є пристосованими до умов вирощування в Україні на відміну від сортів іноземної селекції.

### **Висновки.**

У результаті успішної розробки та розвитку напрямку селекції ярого ячменю на безостість шляхом схрещування між остистим сортом Звершення та безостим сортом Гранал (джерелом безостості) створено високоврожайний та з груповою стійкістю до збудників сажкових

Lines obtained in 2021 were evaluated in the control nursery. Of them, six high-yielding lines (yielding more than reference cv. 'Avhur' by 6-20%) were selected: line '20-356' ('Modern' × 'Beatrix'; by 6%), line '21-644' ('Modern' × 'Prestige'; by 24%), line '21-680' ('Krechet' × 'Novosadsky 294'; by 14%), line '21-845' ('Iner' × 'Donetskyi 12'; by 7%), line '21-843' ('Iner' × 'Beatrix'; by 11%), and line '21-818' ('Modern' × 'Podyv'; by 4%).

Lines obtained in 2023 were evaluated in the breeding nursery. Of them, 23 best lines from hybrid combinations 'Kontrast' × 'Scrabble', 'Modern' × 'Scrabble', 'Herkules' × 'Novosadsky 294', 'Krechet' × 'Ahrarii', line '15-1246' × 'Scrabble', 'Krechet' × 'Scrabble', 'Modern' × 'Akhiles', 'Modern' × 'Gladys', 'Kontrast' × 'Ahrarii', 'Herkules' × 'Scrabble', line '15-1264' × 'NSGJ-1' were selected.

Thus, for the first time in Ukraine, awnless spring barley breeding was initiated and developed. It resulted in five awnless cultivars obtained through recombinations when different awnless and awny cultivars and lines were crossed (the first Ukrainian awnless cv. 'Modern', as well as cvs. 'Kontrast', 'Krechet', 'Iner', and 'Herkules' with improved yield and resistance to lodging and pathogens). These cultivars were included in the State Register in 2011-2021. In 2023, a new awnless cultivar, 'Yarets', which is highly resistant to extreme factors, was submitted to qualifying examination. Thirty-two new valuable awnless lines were also created. Due to assessments of awnless cv. 'Modern', 'Kontrast', 'Krechet', 'Iner', 'Herkules', and 'Yarets' and new awnless lines, their economic characteristics, beneficial and negative features were determined. Their characteristics were improved in comparison with those of the reference cultivars, in particular they yielded more, were more resistant to the pathogens of loose and head smuts, powdery mildew, Helminthosporium diseases, lodging, and drought.

Unlike foreign cultivars, our cultivars and lines are adapted to growing conditions in Ukraine.

### **Conclusions.**

Successful initiation and development of spring barley breeding for awnlessness by crossing between awny cv. 'Zvershenia' and awnless cv. 'Granal' (the source of awlessness) resulted in high-yielding awnless cv. 'Modern' with group resistance to smuts. Subsequent

хвороб безостий сорт Модерн. У подальшому селекційному процесі створено та внесено до Державного реєстру сортів рослин, придатних для поширення в Україні, безості сорти Контраст, Кречет, Інєр, Геркулес, а також передано на кваліфікаційну експертизу безостий сорт інтенсивного типу Ярець та виділено нові безості лінії. Господарські показники нових сортів у селекційному процесі покращуються у порівнянні з попередніми безостими сортами. Вирішено проблему стійкості до вилягання та ураження збудниками листових хвороб шляхом впровадження в селекційний процес сортів західноєвропейської селекції.

breeding gave awnless cvs. 'Kontrast', 'Krechet', 'Iner', and 'Herkules', which were included in the State Register of Plant Varieties Suitable for Dissemination in Ukraine, and awnless intensive cv. 'Yarets', which was submitted to qualifying examination, and new awnless lines. In the breeding process, the economic characteristics of the new cultivars are improved in comparison with the older awnless cultivars. The problem of resistance to lodging and pathogens of foliar diseases was solved by involving Western European cultivars in crossbreeding.

## References

1. Cereal fodder crops. Tavriyskiy DAU im. D. Motornoho. URL: <http://www.tsatu.edu.ua>rosl>uploads>sites>...> [in Ukrainian]
2. Bomko V.S., Bomko L.H., Babenko S.P., Diachenko L.S., Slomchynskiy M.M., Kuzmenko O.A., Tytarova O.M., Cherniavskiy O.O. Feeding of farm animals: methodological guidelines. Bila Tserkva: Bilotserkivskiy Natsionalnyi Ahrarniy Universytet, 2019. 52 p. [in Ukrainian]
3. Quality of hay and straw in cattle feeding. AH-BAH-Ukraine. URL: [www.ag-bag.ua](http://www.ag-bag.ua) [in Ukrainian]
4. Bleidere M., Gaile Z. Grain quality traits important in feed barley. Proceedings of the Latvian Academy of Sciences, Section B: Natural Exact and Applied Sciences. 2012. Vol. 66, No 1–2. P. 1–9. <https://doi.org/10.2478/v10046-011-0039-8>.
5. Ötles S., Cagindi Ö. Cereal based functional foods and nutraceuticals. Acta Scientiarum Polonorum, Ser. Technologia Alimentaria. 2006. Vol. 5, No 1. P. 107–112.
6. Tsvetkov St.M., Tsvetkov K.St. An attempt to develop two-rowed awnless barley (vvLkLk) by using genetic awnless plasma of cv. Tsvetelina (*Hordeum sativum* Jess. ssp. *vulgare*, var. *dundar beyi* Zhuk). Bulgarian Journal of Agricultural Science. 2007. Vol. 13. P. 529–533.
7. Huang B., Wu W. and Hong Z. Genetic loci underlying awn morphology in barley. Genes. 2021. 12(10): 1613. <https://doi.org/10.3390/genes12101613>.
8. Hodkov L.U. Naked and awnless barleys. L.: Publishing House Lengosuniversitet. 1985. 135 p. [in Russian]
9. Gryaznov A.A. Karabalyk barley. Kustanay: Pechatnyy Dvor, 1993. Issue 1. 64 p. [in Russian]
10. Huang B., Wu W., Hong Z. Genetic interactions of awnless genes in barley. Genes. 2021. Vol. 12. P. 606. <https://doi.org/10.3390/genes12040606>
11. Huang B., Huang D., Hong Z et al. Genetic analysis reveals four interacting loci underlying awn trait diversity in barley (*Hordeum vulgare*). Sci. Rep. 2020. Vol. 10. P. 12535. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-69335-x>
12. Huang B., Weiren W., Hong Z. Genetic loci underlying awn morphology in barley. Genes. 2021. Vol. 12(10). P. 1613. <https://doi.org/10.3390/genes12101613>
13. Yuo T., Yamashita Y., Kanamori H. et al. A SHORT INTERNODES (SHI) family transcription factor gene regulates awn elongation and pistil morphology in barley. J. Exp. Bot. 2012. Vol. 63. P. 5223–5232. <https://doi.org/10.1093/jxb/ers182>
14. A guide to filling the winter feed gap with forage cereals. S&W Seed Company Australia. <https://swseedco.co.au>
15. Barley. Treasure State Seed. <https://www.treasurestateseed.com>
16. Barley Hay for Horse. Kentucky Equine Research. 2017.
17. New wheat, barley, oat varieties for 2021. Grainews. <https://www.grainews.ca>
18. Kozachenko M.R., Ivanova N.V. Awnlessness, short-awnedness and long-awnedness in spring barley breeding. Breeding and genetic studies of spring barley: scientific publication. Ed. by M.R. Kozachenko. Kh.: IR imeni V.Ya. Yurieva NAAN, 2012. P. 262–363. [in Ukrainian]

Надійшла до редакції 11.11.2024 р.  
Received 11.11.2024



УДК 633.16:631.527

Н.І. Васько\*, Є.О. Михайленко

## Якісні властивості голозерного ячменю та успадкування забарвлення зерна

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

\*E-mail: [nvasko1964@gmail.com](mailto:nvasko1964@gmail.com)

UDC 633.16:631.527

N.I. Vasko\*, Ye.O. Mykhailenko

## Quality Properties of Naked Barley and Caryopsis Color Inheritance

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

\*E-mail: [nvasko1964@gmail.com](mailto:nvasko1964@gmail.com)

**Реферат:** В Інституті рослинництва ім. В.Я. Юр'єва НААН розгорнуто селекцію голозерного ячменю харчового напрямку використання, в тому числі з кольоровим зерном та крохмалем зі зміненим складом (waxy). Вихідний матеріал одержано з Національного центру генетичних ресурсів рослин України – зразки різновиду *nudum* L., *daghestanicum* Vav. et Orl. із сіро-зеленим зерном, *viride* Vav. et Orl. із зеленим зерном, *violaceum* Koern. та *nudidubium* Koern. з фіолетовим зерном, *nigrinudum* Vav., *nudimelanocrithum* Giess. et al. з чорним зерном та лінія SGI 7024 з блакитним зерном селекції СГІ-НЦНС. Джерелами зміненого складу крохмалю були голозерні сорти канадської селекції CDC Alamo та Mebere (waxy) та CDC Hilose (high amylose). Установлено, що вміст фенольних сполук та антоціанидинів залежить від генотипу та умов вирощування, а стабільно високими ці показники були у лінії Віолет 18-1207 та сортів CDC Alamo, CDC Hilose. Створена нами цінна лінія Віолет 18-1207 (UA 0805977) різновиду *nudidubium* має не лише зерно фіолетового кольору, але і всі інші частини рослини мають яскраво фіолетове забарвлення у фазі колосіння–налив. Після дозрівання рослина набуває сіро-бузкового кольору. Вміст антоціанинів у зернівці складає 0,260 умов. од. D530/г, вміст фенолів теж високий – 1,04 мг/г за еквівалентом галоїдної кислоти. За аналізом гібридних популяцій встановлено, що в F1 успадковується, як правило, темне забарвлення, а деякі зразки стабільно передають у поколіннях своє забарвлення зерна за участі в скрещуванні як за материнський, так і за батьківський компонент. У популяціях F2 відбувалося розщеплення за кольором зерна, успадкування забарвлення зернівки у ячменю можна пояснити взаємодією неалельних генів переважно за типом компліментарності. У деяких популяціях виявлено новоутворення, що є цінним для збагачення вихідного матеріалу для селекції.

**Ключові слова:** ярий голозерний ячмінь, кольорове зерно, селекція, фенольні сполуки, антоціанидини, розщеплення, успадкування.

**Abstract:** The Yuriev Plant Production Institute of NAAS breeds naked food barleys, including those with pigmented caryopses and waxy starch. The strating material was obtained from the National Center for Plant Genetic Resources of Ukraine: accessions of the varieties *nudum* L. and *daghestanicum* Vav. et Orl. with gray-green caryopses, of the variety *viride* Vav. et Orl. with green caryopses, of the varieties *violaceum* Koern. and *nudidubium* Koern. with purple caryopses, of the varieties *nigrinudum* Vav. and *nudimelanocrithum* Giess. et al. with black caryopses, and line SGI 7024 with blue caryopses bred at the Plant Breeding and Genetics Institute – National Center of Seed and Cultivar Investigations. The sources of changed starch composition were Canadian naked cultivars ‘CDC Alamo’ (waxy), ‘Mebere’ (waxy), and ‘CDC Hilose’ (high amylose). It was found that the contents of phenolic compounds and anthocyanins depended on genotype and growing conditions, and these characteristics were consistently high in line ‘Violet 18-1207’ and cvs. ‘CDC Alamo’ and ‘CDC Hilose’. In our valuable line ‘Violet 18-1207’ (UA 0805977) of the variety *nudidubium*, not only caryopses are purple, but also all other parts of the plant are bright purple in the “earring-filling” phase. After ripening, the plant turns gray-lilac. The content of anthocyanins in grain is 0.260 relative units D530/g; the content of phenols is also high (1.04 mg/g of gallic

acid equivalent). Analysis of hybrid populations showed that, as a rule, a dark color was inherited by F1 and some accessions stably transmitted their caryopsis color over generations when participating in crossing as both the female and male forms. In F2 populations, segregation occurred by caryopsis color; the inheritance of caryopsis color in barley can be explained by interactions of non-allelic genes mainly via complementarity. In some populations, traits that were not intrinsic to parents and valuable for enriching starting materials for breeding were detected.

**Key words:** spring naked barley, pigmented caryopses, breeding, phenolic compounds, anthocyanins, segregation, inheritance.

Україна є одним з провідних експортерів зерна ячменю в світі, але важливою проблемою на шляху покращення її позицій на світовому ринку є нестабільність обсягів виробництва зерна ячменю за роками, що в першу чергу зумовлено значною чутливістю сучасних сортів до погодних флуктуацій. Сільськогосподарське виробництво потребує високоадаптивних сортів ячменю, з високою врожайністю та якістю продукції. Ячмінь – стресостійка культура з великим потенціалом, але для його реалізації необхідним є дослідження стресостійкості разом з глибоким розумінням фізіологічної основи багатьох агрономічних ознак, зокрема ефективного використання води та поживних речовин [1].

Ячмінь має унікальні дієтичні властивості та є одним з найбагатших джерел фенольних сполук серед зернових культур. Останнім часом зростає інтерес до зерна ячменю як сировини для виготовлення продуктів дієтичного харчування. Такі продукти знижують вміст холестерину в крові, регулюють глікемічний індекс, виявляють антиоксидантну активність. Вони можуть бути складовою профілактики розвитку цукровому діабету, серцево-судинних та онкологічних захворювань. У 2006 р. Адміністрація США з питань харчів та лікарських засобів (US FDA) віднесла зерно ячменю до продуктів, які знижують ризик коронарної хвороби серця, тобто до продуктів функціонального харчування. Поняття «продукти функціонального призначення» як ті, що мають лікувально-профілактичний вплив на людський організм, тобто, окрім енергетичної цінності забезпечують нормальне фізіологічне функціонування систем людини з'явилося в Японії, де у 1991 р. законодавчо прийнято вимоги до виробництва харчових продуктів зі специфічною лікувальною дією FOSHU (Food of Specific Health Use) [1, 2, 3]. Ця програма стала прообразом для подібних програм у Німеччині, Франції, Фінляндії, Швеції, США, Канаді, Китаї, Кореї та багатьох інших країнах. [1, 2, 3, 4, 5].

Ukraine is one of the leading exporters of barley grain in the world, but the year-to-year instability of barley grain production, which is primarily caused by significant susceptibility of current cultivars to weather fluctuations, is an important obstacle on the way to improving Ukraine's position on the world market. Agricultural production requires highly adaptable and high-yielding barley cultivars with top-quality grain. Barley is a stress-resistant crop with great potential; however, for its fulfilment, it is necessary to study stress resistance along with a deep insight into the physiological bases of many agronomic traits, in particular, the efficient use of water and nutrients [1].

Barley has unique dietary properties and is one of the richest sources of phenolic compounds among cereals. Recently, there has been a growing interest in barley grain as a raw material for dietary food production. Such products reduce cholesterol levels in the blood, regulate the glycemic index, and have antioxidant activity. They can be a component of the prevention of the development of diabetes, cardiovascular and oncological diseases. In 2006, the US Food and Drug Administration (US FDA) classed barley grain as a product that reduces the risk of coronary heart disease, that is, as a functional food. The concept of functional products as those that have a therapeutic and preventive effects on the human body, i.e., in addition to energy, ensure the normal physiological functioning of human systems, appeared in Japan, where the requirements for the production of foods with specific therapeutic effects (Food of Specific Health Use [FOSHU]) were approved legislatively in 1991 [1, 2, 3]. This program has become a model for similar programs in Germany, France, Finland, Sweden, USA, Canada, China, Korea and many other countries. [1, 2, 3, 4, 5].

Відомо, що найбільша кількість сполук з антиоксидантною активністю зосереджена в периферійних шарах зернівки ячменю [6-8]. Але при виготовленні продуктів з плівчастого ячменю під час шліфування із зерна видаляється частина цінних для здоров'я нутрієнтів. Тому все більшу увагу виробників привертає голозерний ячмінь, у якого за відсутності операції шліфування всі цінні компоненти зберігаються в зерні та продукції, виготовленої з нього.

Антиоксидантна активність (АОА) є головним чинником, який визначає цінність продуктів харчування для здоров'я людини. Рівень цього показника у ячменю є одним з найвищих серед зернових культур, у чисельних дослідженнях спостерігали стійку залежність АОА від генотипу [9–22]. Біоактивні компоненти в різній кількості присутні в зерні злаків у залежності від генотипу. Антиоксидантні властивості фенольних компонентів зерна або одержаних з нього харчових добавок асоційовані з позитивним впливом на здоров'я людей [9, 15, 23, 24, 25].

Антиоксидантний потенціал зернових культур значною мірою корелює з вмістом у них поліфенолів. Цільнозернові продукти є джерелом багатьох антиоксидантів: вітаміну Е, фолієвої кислоти, фенольних сполук, каротиноїдів, фітинової кислоти, цинку, заліза, селену, міді, марганцю [26, 27]. Вміст фенольних сполук також залежить від генотипу та умов середовища. У дослідженні 13 сортів ячменю в Онтаріо цей показник варіював від 987 мкг/г до 3481 мкг/г [7]. Китайськими вченими досліджено антиоксидантну активність у 67 культурних та 156 тибетських генотипів ячменю. Визначено QTLs, які контролюють вміст фенольних сполук у тибетському ячменю. Також встановлено, що більшість маркерів, які пов'язані з вмістом фенолів, є різними у дикорослого та культурного ячменю [28]. Японськими вченими встановлено, що загальний вміст поліфенолів позитивно корелює з антирадикальною активністю, що визначається за реакцією дифенілпікрилгідразилом (DPPH) ( $r = 0,875$ ,  $P < 0,01$ ). Високий вміст фенольних кислот зумовлював високу антиоксидантну активність також і перлового ячменю [28]. У Боснії і Герцеговині було досліджено антиоксидантну активність різних зернових культур, у тому числі ячменю, та її залежність від вмісту фенольних сполук. У результаті було встановлено тісну

It is known that the largest amounts of compounds with antioxidant activity are concentrated in the peripheral layers of the barley caryopsis [6-8]. However, when making products from chaffy barley, during defuzzing, some of the nutrients valuable for health are removed from kernels. Therefore, more and more attention of producers is drawn to naked barley, as it does not require defuzzing and all valuable compounds are preserved in their kernels and products made such kernels.

Antioxidant activity (AOA) is one of the main factors that determine the value of food for human health. Antioxidant activity in barley is one of the highest among cereals; in numerous studies, a steady dependence of AOA on genotype was observed [9–22]. Bioactive components are present in different amounts in cereal kernels, depending on genotype. Antioxidant properties of phenolic compounds in grain or in food additives produced from it are associated with a positive effect on human health [9, 15, 23, 24, 25].

The antioxidant potential of cereals is largely correlated with their contents of polyphenols. Whole grain products are a source of many antioxidants: vitamin E, folic acid, phenolic compounds, carotenoids, phytic acid, zinc, iron, selenium, copper, manganese, etc. [26, 27]. The content of phenolic compounds also depends on genotype and environmental conditions. In a study of 13 barley cultivars conducted in Ontario, this parameter varied from 987 to 3,481  $\mu\text{g/g}$  [7]. Chinese scientists investigated the antioxidant activity of 67 domestic and 156 Tibetan barley genotypes. QTLs controlling the content of phenolic compounds in Tibetan barley were identified. It was also revealed that most of the markers associated with the phenol content were different in wild and domestic barleys [28]. Japanese scientists found that the total content of polyphenols was positively correlated with antiradical activity, as was shown in the reaction with 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) ( $r = 0.875$ ,  $P < 0.01$ ). The high content of phenolic acids determined the high antioxidant activity of pearl barley as well [28]. In Bosnia and Herzegovina, the antioxidant activity in different cereals, including barley, and its relationship with the content of phenolic compounds were investigated. As a result, a

кореляцію між двома дослідженими показниками ( $r = 0,99$ ) [29].

Таким чином, ячмінь відомий високим вмістом біоактивних сполук, які сприяють його харчовій цінності та антиоксидантним властивостям. До них належать гідроксибензойні кислоти (галова,  $\alpha$ -гідроксибензойна кислота), гідроксикоричні (ферулова кислота), ванілінова, бузкова, кумарова, кавова кислоти, флавоноїди (кверцитин, кемпферол) та лігнани. Зерно ячменю містить різноманітний спектр флавоноїдів, у тому числі флавоноли, флаванони та антоціани. Не лише зерно ячменю, а також плівки містять багато біоактивних сполук – фенольні речовини, танін, флавоноїди, токоферолі та алкілрезорцини [13, 31-33]. У різних дослідженнях повідомляється про вміст фенольних сполук – від 1,95 до 4,51 мг/г сухої речовини за еквівалентом галової кислоти [13, 20, 26, 34]. Окрім цього, зерно ячменю містить флавоноли міріцетин, катехін та проціанідин B3 [7]. Існують дані про вміст флавоноїдів від 1,38 до 2,24 мг/г сухої речовини, таніну – 1,38–2,24 [13, 31], таніну – 9–70 мг СЕ/100 г борошна [13, 35]. Склад фенольних сполук в ячмені може змінюватися залежно від температури, рН ґрунту, вологості, застосування добрив та стадії збирання врожаю [32, 35–37].

В Італії була ініційована селекційна програма для одержання зародкової плазми голозерного ячменю з кольоровим зерном, багатой на біологічно активні речовини фенольної природи. Встановлено, що вміст більшості біологічно активних сполук мав високу успадкованість, а врожайність зерна мала значиму позитивну кореляцію з величинами вмісту фенолів та антиоксидантної активності. Італійським ученим вдалося створити лінії ячменю, які характеризуються високими показниками скоростиглості, врожайності, натури зерна, маси 1000 зерен у поєднанні з високим вмістом фенолів, антоціанів, флавоноїдів, каротиноїдів,  $\beta$ -глюканів та високою антиоксидантною активністю [38].

Проводяться чисельні дослідження генетичного контролю забарвлення зерна ячменю. Встановлено, що фіолетову пігментацію зерна контролюють гени *Ant1* на хромосомі 7HS та *Ant2* на хромосомі 2HL. Ген *Blp* на хромосомі 1HL контролює чорне забарвлення лусок і перикарпу в ячменю. Успадкування чорного і фіолетового забарвлення відбувається за материнським компонентом [39, 40]. Dongdong

strong correlation was found between these parameters ( $r = 0.99$ ) [29].

Thus, barley is known for its high content of bioactive compounds, which contribute to its nutritional value and antioxidant properties. These include hydroxybenzoic acids (gallic,  $\alpha$ -hydroxybenzoic acid), hydroxycinnamic (ferulic, vanillic, syringic, coumaric, caffeic) acids, flavonoids (quercetin, kaempferol), and lignans. Barley grain contains a lot of different flavonoids, including flavonols, flavanones, and anthocyanins. Not only barley kernels but also chaff contain many bioactive compounds: phenolic substances, tannin, flavonoids, tocopherols, and alkylresorcinols [13, 31-33]. The content of phenolic compounds was reported in several studies: from 1.95 to 4.51 mg of gallic acid equivalent per g of dry matter [13, 20, 26, 34]. In addition, barley grain contains flavonols such as myricetin, catechin and procyanidin B3 [7]. There are data on the flavonoid content ranging 1.38 to 2.24 mg/g of dry matter [13, 31] and the tannin content ranging 9–70 mg CE/100 g of flour [13, 35]. The composition of phenolic compounds in barley can vary depending on temperature, soil pH, humidity, fertilization, and stage of harvest [32, 35, 36, 37].

In Italy, a breeding program was launched to obtain a germplasm of naked barley with pigmented caryopses in biologically active phenolic substances. It was demonstrated that the contents of most biologically active compounds were highly heritable features and grain yield was significantly positively correlated with the content of phenolic compounds and antioxidant activity. Italian scientists managed to create high-yielding, early-ripening barley lines with high test weight and thousand kernel weight in combination with high levels of phenols, anthocyanins, flavonoids, carotenoids, and  $\beta$ -glucans and high antioxidant activity [37].

Numerous studies of the genetic control of barley grain color are being conducted. The purple pigmentation of caryopses was revealed to be determined by the *Ant1* gene on chromosome 7HS and *Ant2* gene on chromosome 2HL. The *Blp* gene on chromosome 1HL determines the black color of glumes and pericarp in barley. The black and purple colors are inherited from female forms

Xu et al. [41] ідентифікували ген глутатіон-S-трансферази (HvGST), який відповідає за синє забарвлення алеїронового шару в тибетському ячмені qingke. Аналіз мінливості та експресії генів показав, що HvGST також бере участь у транспорті та накопиченні антоціанів у пурпурному ячменю.

У програмах пре-бридингу широко досліджується вміст пігментів у ячменю в залежності від кольору зернівки. Так, встановлено, що пеларгонідини визначають червоне (оранжеве) забарвлення, ціанідини – темно-червоне, дельфінідини – фіолетове (синє) [39, 41]. Пігмент-3-глюкозид волошки був основним антоціанідом у синьому, жовтому та фіолетовому ячмені, в чорному – дельфінідин-3-глюкозид. Темне забарвлення свідчить про збагачений вміст антоціанів [42]. Результатами інших досліджень встановлено підвищену концентрацію  $\beta$ -глюканів та антоціанів у пурпурному та синьому ячмені, тоді як чорний ячмінь не мав таких властивостей [43]. Аналогічні дані щодо підвищеного вмісту антоціанів саме у фіолетового ячменю є у роботі Yao X. et al. [44].

Доведено вплив вмісту фенольних сполук на забарвлення зерна ячменю [7, 40, 42, 45–48]. Зокрема, встановлено, що вміст загальних фенолів та флавоноїдів був високим у пурпурному ячмені; основними фенольними кислотами в синьому ячмені були поліфеноли бензойної кислоти, основними типами флавоноїдів в чорному та синьому ячмені були халкони і флавонони відповідно, а в жовтому та пурпурному ячмені – флавонол [42]. Xiangzhen Ge et al. [49] визначили профіль фенольних сполук у кольорового голозерного ячменю (білого, жовтого, чорного та синього) та ідентифікували 156 фенольних речовин. Найбільш різноманітним був профіль у чорного ячменю, а вміст фенолів варіює залежно від забарвлення зерна. Встановлено, що маркери, асоційовані зі складом та вмістом фенольних сполук, відрізняються у диких та культурних ячменів [50, 51]. Іншими дослідниками підтверджено вищий вміст флавоноїдів у зернівках ячменю синього та фіолетового забарвлення [52], до того ж у фіолетового голозерного ячменю вміст флавоноїдів був вищим, ніж у фіолетового плівчастого та голозерного жовтозерного [53].

Інформація про антиоксидантні властивості зернових культур, у тому числі генотипів ячменю,

[38, 39]. Dongdong Xu et al. [40] identified the glutathione-S-transferase (HvGST) gene responsible for the blue color of the aleurone layer in Tibetan barley (qingke). Analysis of variability and gene expression revealed that HvGST was also involved in the transport and accumulation of anthocyanins in purple barley.

In pre-breeding programs, the pigment contents in barley are intensively studied in association with caryopsis color. Thus, pelargonidins were found to determine red (orange) color, cyanidins – dark-red, and delphinidins – purple (blue) [38, 40]. Cornflower pigment-3-glucoside was the major anthocyanidin in blue, yellow and purple barley and delphinidin-3-glucoside – in black barley. A dark color indicates an increased content of anthocyanins [41]. In other studies, increased concentrations of  $\beta$ -glucans and anthocyanins were detected in purple and blue barley, unlike black barley, which did not have such properties [42]. Similar data on the increased content of anthocyanins in purple barley were reported by Yao X. et al. [43].

The influence of phenolic compound levels on barley grain color was proven [7, 39, 41, 44–47]. In particular, the contents of total phenols and flavonoids were found to be high in purple barley; the major phenolic acids in blue barley were benzoic acid polyphenols; the major types of flavonoids in black and blue barley were chalcones and flavanones, respectively; and flavonol was the major flavonoid in yellow and purple barley [41]. Xiangzhen Ge et al. [48] determined the profile of phenolic compounds in pigmented barley (white, yellow, black, and blue) and identified 156 phenolic substances. The profile of black barley was the most diverse, and the content of phenols varied depending on caryopsis color. Markers that are associated with the composition and content of phenolic compounds were demonstrated to differ in wild and domestic barleys [49]. Other researchers confirmed higher contents of flavonoids in blue and purple barley caryopses [50]; besides, the content of flavonoids was higher in purple naked barley than in purple chaffy and yellow naked barleys [51].

There is very little information about the antioxidant properties of cereals, including barley genotypes used in the production in our

які використовуються у виробництві нашого регіону, практично відсутня, тоді як у більшості розвинутих країн світу подібні дослідження проводяться дуже інтенсивно. Таким чином, вивчення властивостей кольорового голозерного ячменю широко розповсюджено у світі, а селекція сортів з таким зерном є перспективною та має важливе значення для продовольчої безпеки та створення продуктів для дієтичного харчування.

Метою нашої роботи було в рамках пребридингу встановлення у зразків голозерного ячменю вмісту фенольних сполук та флавоноїдів, успадкування забарвлення зерна, пов'язаного із вмістом фенолів та флавоноїдів у аспекті залучення кращих зразків до селекційного процесу як батьківських компонентів для схрещування.

### Методика

В Інституті рослинництва ім. В.Я. Юр'єва НААН України широко розгорнуто селекцію голозерного ячменю харчового напряму використання. Створено голозерні сорти різновиду *nudum* Явір, Орлан, Обрій та Гордій. Сорт Гордій внесено в Державний реєстр сортів рослин, придатних для поширення в Україні з 2024 року. Також проводиться селекція голозерного ячменю з кольоровим зерном та крохмалем зі змінним складом [55–57]. Вихідний матеріал одержано з Національного центру генетичних ресурсів рослин України. Це зразки різновиду *nudum* L., *daghestanicum* Vav. et Orl. із сіро-зеленим зерном, *viride* Vav. et Orl. із зеленим зерном, *violaceum* Koern. та *nudidubium* Koern. з фіолетовим зерном, *nigrinudum* Vav., *nudimelanocrithum* Giess. et al. з чорним зерном та лінія SGI 7024 з блакитним зерном селекції СГІ-НЦНС (автор Рибалка О.І.). Як джерела мутації ваху було взято голозерні сорти канадської селекції CDC Alamo та Mebere, джерелом підвищеного вмісту амілози в крохмалі – теж сорт канадської селекції CDC Hilose. Для гібридизації використано також зразки плівчастого ячменю, в т.ч. з кольоровим зерном як джерела підвищення адаптивності голозерного ячменю до умов середовища (табл. 1).

region, while in most of the developed countries worldwide, such studies are being conducted very intensively. Thus, research into properties of pigmented naked barleys is conducted all over the world and the breeding of cultivars with such grains is promising and important for food security and dietary nutrition.

Our purpose was, as part of pre-breeding, to determine the contents of phenolic compounds and flavonoids in naked barley accessions and to elucidate the inheritance of caryopsis color associated with contents of phenols and flavonoids in order to involve the best accessions in breeding as parents for crossings.

### Methods

The Yuriev Plant Production Institute (YPPI) of NAAS of Ukraine intensively works to breed naked food barley cultivars. Cultivars 'Yavir', 'Orlan', 'Obrii', and 'Hordii' (the variety *nudum*) have been created. Cultivar 'Hordii' has been in the State Register of Plant Varieties Suitable for Dissemination in Ukraine since 2024. Naked barley cultivars with pigmented caryopses and starch with changed compositions are also being bred [52–56]. The starting material was obtained from the National Center for Plant Genetic Resources of Ukraine: accessions of the varieties *nudum* L. and *daghestanicum* Vav. et Orl. with gray-green caryopses, of the variety *viride* Vav. et Orl. with green caryopses, of the varieties *violaceum* Koern. and *nudidubium* Koern. with purple caryopses, of the varieties *nigrinudum* Vav. and *nudimelanocrithum* Giess. et al. with black caryopses, and line SGI 7024 with blue caryopses bred at the Plant Breeding and Genetics Institute – National Center of Seed and Cultivar Investigations (PBGI-NCSCI; the author - Rybalka O.I.). Canadian naked cvs. 'CDC Alamo' and 'Mebere' were taken as sources of the waxy mutation and Canadian cv. 'CDC Hilose' was used as a source of an increased content of amylose in starch. In hybridization, chaffy barley accessions, including those with pigmented caryopses, were also used as sources enhanced adaptability to make naked barley more adaptable to environmental conditions (Table 1).

**Таблиця 1.** Вихідний матеріал для гібридизації

**Table 1.** Starting material for hybridization

Зразок / Accession	Різнovid / Variety	Походження / Origin	Особливості / Features
Голозерні / Naked			
CDC / Alamo	<i>nudum</i>	Crop Development Centre (CDC), Canada	Ваху, дуже висока загальна антиоксидантна активність (АОА), вміст $\beta$ -глюканів, олії та фенольних сполук / Waxy, very high total AOA, high contents of $\beta$ -glucans, oil and phenolic compounds
Mebere	<i>nudum</i>	AAFC, Canada	Ваху, зерно округлої форми, висока АОА, високий вміст олії / Waxy, rounded kernels, high AOA, high content of oil
CDC Hilose	<i>nudum</i>	CDC, Canada	High amylose, дуже високий вміст олії (понад 4,70 %), дуже довгий колос / High-amylose, very high content of oil (>4.70 %), very long spikes
Явір / Yavir	<i>nudum</i>	ІР, Україна / YPPI, Ukraine	Високий вміст олії, висока АОА / High content of oil, high AOA
Гатунок / Gatunok	<i>nudum</i>	ІСГС, Україна / Institute of Steppe Agriculture, Ukraine	високий вміст поліненасиченої $\omega$ -3 ліноленової кислоти / High content of polyunsaturated $\omega$ -3 linolenic acid
Гордій / Hordii	<i>nudum</i>	ІР, Україна / YPPI, Ukraine	Високий вміст фенольних сполук, кругле зерно / High content of phenolic compounds, round kernels
NSGJ-1	<i>nudum</i>	Сербія Serbia	Посухостійкий, стабільна врожайність / Drought-resistant, stable-yielding
Tercel	<i>nudum</i>	Canada	стабільна врожайність, округле зерно / Stable-yielding, rounded kernels
UA 5462	<i>daghestani-cum</i>		Сіро-зелене зерно, довгий колос, дуже високий вміст крохмалю (понад 65 %) та олії / Gray-green caryopses, long spikes, very high contents of starch (>65%) and oil
UA 0663	<i>viride</i>		Зелене зерно, дуже високий вміст білка (понад 17 %) / Green caryopses, very high content of protein (>17%)
Ноем	<i>violaceum</i>		Фіолетове зерно / Purple caryopses
Віолет 18-1207	<i>nudidubium</i>	ІР, Україна / YPPI, Ukraine	Фіолетове зерно, дуже високий вміст крохмалю (понад 66 %) та олії / Purple caryopses, very high contents of starch (>66%) and oil
UA 0645	<i>nudimelano-crithum</i>		Чорне зерно, дуже високий вміст білка (понад 17 %) / Black caryopses, very high content of protein (>17 %)
UA 2220	<i>hymalaense</i>		Зелене зерно, шестирядний / Green caryopses, six-rowed plants
Плівчасті / Chaffy			
Взірець / Vzirets	<i>nutans</i>	ІР, Україна / YPPI, Ukraine	Висока АОА, високий вміст фенольних сполук, поліненасиченої $\omega$ -3 ліноленової та мононенасиченої пальмітолеїнової кислоти / High AOA, high content of phenolic compounds, polyunsaturated $\omega$ -3 linolenic and monounsaturated palmitoleic acids
Троян / Troian	<i>nutans</i>	ІР, Україна / YPPI, Ukraine	Високий вміст поліненасиченої $\omega$ -3 ліноленової кислоти / High content of polyunsaturated $\omega$ -3 linolenic acid
Парнас / Parnas	<i>nutans</i>	ІР, Україна / YPPI, Ukraine	Високий вміст олії, висока перетравлюваність білка / High content of oil, high digestibility of protein

Дослідження проводили в 2022–2023 рр., зразки ячменю було посіяно в селекційному розсаднику, площа ділянки 2 м<sup>2</sup>. Схрещування проводили примусово, із колоска в колосок.

Вміст білка та крохмалю в зерні визначали на ІнфраЛІУМ ФТ-10М 09495. Ваху-генотипи ідентифікували методом фарбування йодним розчином Люголя (модифікований метод Джуліана) [58]. Загальну антиоксидантну активність (АОА) зразків ячменю оцінювали за здатністю спиртових екстрактів нейтралізувати радикалі DPPH• (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl). Метод базується на знебарвленні спиртового розчину стабільного радикала DPPH у присутності спиртових екстрактів зернових продуктів, що містять антиоксиданти, які є донорами протонів, здатних нейтралізувати радикал DPPH та перевести його у знебарвлену відновлену форму. Визначення антирадикальної активності проводили за методом, описаним у роботі S. Arabshahi, A. Urooj [58].

Фенольні сполуки і антоціани екстрагували із розмеленого зерна 80% етанолом (співвідношення наважки і екстрагенту 1:20) за температури 2-4°C протягом 14-16 год, після чого фільтрували. Для аналізу вмісту фенольних сполук у реакційні пробірки вносили 0,5 мл фільтрату, 8 мл дистильованої води та 0,5 мл реактиву Фоліна, перемішували і через 3 хв додавали 1 мл 10%-го Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>. Через 1 годину вимірювали абсорбцію реакційної суміші при 725 нм [60]. Вміст фенольних сполук виражали у мкмоль галлової кислоти на 1 г наважки. Перед визначенням вмісту антоціанів супернатант підкислювали HCl до кінцевої концентрації 1%. Поглинання визначали при 530 нм [61]. Результати виражені в умовних одиницях, як абсорбція у розрахунку на 1 г наважки.

Вміст олії визначали за вагою сухого знежиреного залишку за модифікованою методикою С.В. Рушковського (гравіметричний метод), аналіз жирнокислотного складу олії – методом газової хроматографії метилових ефірів жирних кислот на газовому хроматографі «Селмихром-1».

The study was conducted in 2022–2023. The barley accessions were sown in a breeding nursery. The plot area was 2 m<sup>2</sup>. Crossings were controlled, from spikelet to spikelet.

The contents of protein and starch in grain were determined on an InfraLIUM FT-10M 09495 analyzer. Waxy genotypes were identified by staining with Lugol's iodine solution (modified Juliano's method) [57]. The total antioxidant activity in the barley accessions was evaluated by ability of ethanol extracts to neutralize DPPH• (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl) radicals. The method is based on the decolorization of ethanol solution of the stable DPPH radical in the presence of antioxidant-containing ethanol extracts from kernels, as antioxidants are proton donors capable of neutralizing the DPPH radical and converting it into a decolorized reduced form. The antiradical activity was determined, as described by S. Arabshahi and A. Urooj [58].

Phenolic compounds and anthocyanins were extracted from ground kernels with 80% ethanol (the sample weight/extractant ratio was 1:20) at 2-4°C for 14-16 hours; then the extracts were filtered. To analyze the content of phenolic compounds, 0.5 mL of filtrate, 8 mL of distilled water, and 0.5 mL of Folin's reagent were added to the reaction tubes, mixed, and after 3 minutes, 1 mL of 10% Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> was added. After 1 hour, the absorbance of the reaction mixture was measured at 725 nm [59]. The content of phenolic compounds was expressed in μmol of gallic acid per 1 g of sample weight. Before determining the anthocyanin content, the supernatants were acidified with HCl to a final concentration of 1%. The absorbance was measured at 530 nm [60]. The results are expressed in relative units, as absorption per 1 g of sample weight.

The oil content was gravimetrically determined by weight of the dry, defatted residue using a modification of S.V. Rushkovsky's method (method). The fatty acid composition of oil was analyzed by gas chromatography of methyl esters of fatty acids on a Selmikhrom-1 gas chromatograph.



## Результати та обговорення

В наших попередніх дослідженнях було визначено показники якості зерна у зразків, які обрано батьківськими компонентами. Зокрема, встановлено, що вміст білка у зразків UA 0645 var. *daghestanicum* (сіро-зелене зерно) та UA 0663 var. *viride* (зелене зерно) вищий за 17%, у інших зразків – 16–14%. Вміст крохмалю найвищим був у лінії Віолет 18-1207 var. *nudidubium* – 66,20 %, інші зразки – на рівні 65,35–61,67 %.

Олії в зерні ячменю міститься дуже мало, тому селекція за цією ознакою не поширена, але олія ячменю має високий вміст  $\omega$ -3 поліненасиченої ліноленової кислоти, одного із найсильніших антиоксидантів. Деякі з наших зразків мали дуже високий (4,70 %, CDC Hilose з високоамілозним крохмалем) та високий (3,82–3,71 %, UA 5462 var. *daghestanicum*, CDC Lophy-1 та Mebere var. *nudum*) вміст олії. За вмістом в олії  $\omega$ -3 ліноленової кислоти виділено сорти CDC Alamo, CDC Candle (5,12–6,05 % від загального вмісту олії) [54, 55, 61, 62]. Доречно відзначити, що створена нами цінна лінія Віолет 18-1207 (UA 0805977) різновиду *nudidubium* має не лише зерно фіолетового кольору, але і всі інші частини рослини мають яскраво фіолетове забарвлення у фазі колосіння–налив. У міру дозрівання рослина набуває сіро-бузкового кольору [56, 57]. Вміст антоціанів у неї складає 0,260 умов. од. D530/г, вміст фенолів теж високий – 1,04 мг/г за еквівалентом галлової кислоти (табл. 2). Взаємозв'язок темного забарвлення зернівки, зокрема фіолетового, як у Віолет 18-1207, та високого вмісту антоціанів також встановлено Yao et al. [44]. В літературі відзначається також зв'язок темного забарвлення зернівок та високого вмісту фенолів [62].

Лінія Віолет 18-1207 характеризується високою стійкістю до сажкових і листкових хвороб та до посухи. Такі дані узгоджуються з твердженнями інших учених про важливе агрономічні значення підвищеного вмісту кольорових пігментів у ячменю, оскільки теж пов'язують це зі стійкістю до стресових чинників різної природи, а саме – темнозабарвлені зразки мають у зерні вищий вміст фенольних сполук, які в свою чергу є складовими антиоксидантного комплексу. Зразки з підвищеною АОА є більш стресостійкими [34, 50–52].

У лабораторії фізіології та біохімії рослин у зерні зразків ячменю було визначено вміст фенольних сполук та антоціанів (табл. 2). У результаті встановлено тісний лінійний зв'язок між цими ознаками ( $r = 0,79$ ), що узгоджується з даними Yoshida [29], Hodzic [30], Ianucci [37].

## Results and Discussion

In our previous studies, we determined grain quality parameters in the accessions that were selected as parents. In particular, we found that the protein content in var. *daghestanicum* accession 'UA 0645' (gray-green caryopses) and var. *viride* accession 'UA 0663' (green caryopses) exceeded 17%; in the other accessions. It was 16–14%. Var. *nudidubium* line 'Violet 18-1207' had the highest starch content of 66.20%; the other accessions contained 65.35–61.67% of starch.

Barley grain contains very little oil, so breeding for this trait is not common; however, barley oil has a high content of  $\omega$ -3 polyunsaturated linolenic acid, one of the most potent antioxidants. Some of our accessions had very high (4.70 % in high-amylose cv. 'CDC Hilose') or high (3.82–3.71 % in var. *daghestanicum* accession 'UA 5462', var. *nudum* cv. 'CDC Lophy-1' and 'Mebere') oil levels. Cultivars 'CDC Alamo' and 'CDC Candle' were distinguished due to  $\omega$ -3 linolenic acid content in oil (5.12–6.05% of the total oil content) [54, 55, 61, 62]. It is appropriate to note that our valuable var. *nudidubium* line 'Violet 18-1207' (UA 0805977) has not only purple caryopses, but also all other parts of the plant are bright purple in the "earring-filling" phase. As the plant matures, it turns gray-lilac [61, 62]. The anthocyanin content in it is 0.260 relative units D530/g; the phenol content is also high (1.04 mg of gallic acid equivalent/g (Table 2). The relationship between dark colors of caryopses, in particular purple, like in line 'Violet 18-1207', and high levels of anthocyanins was also demonstrated by Yao et al. [43]. It was also reported about the relationship between dark grain and high levels of phenols [63].

Line 'Violet 18-1207' is highly resistant to smuts and leaf diseases as well as to drought. These data are consistent with other scientists' findings on the agronomic importance of increased contents of pigments in barley, as they are also associated with resistance to different stressors, specifically, accessions with dark caryopses contained more phenolic compounds in grain, which are components of the antioxidant system. Accessions with increased AOA are more stress-resistant [34, 49, 50, 51].

In the Laboratory of Plant Physiology and Biochemistry, the contents of phenolic compounds and anthocyanins in barley grain were determined (Table 2). There was a strong linear correlation between these parameters ( $r = 0.79$ ), which is consistent with data of Yoshida [29], Hodzic [30], and Ianucci [37].

**Таблиця 2.** Вміст фенольних сполук та антоціанидинів у зерні зразків голозерного яменю, 2022–2023 рр.  
**Table 2.** Contents of phenolic compounds and anthocyanins in the naked barley accessions, 2022–2023

Зразок / Accession	Вміст фенольних сполук, мг/г за еквівалентом галової кислоти / Contents of phenolic compounds, mg of gallic acid equivalent/g		Вміст антоціанидинів, умов. од. D530/г / Content of anthocyanins, relative units D530/g	
	Урожай 2022 р. / Harvested in 2022	Урожай 2023 р. / Harvested in 2023	Урожай 2022 р. / Harvested in 2022	Урожай 2023 р. / Harvested in 2023
Violet 18-1207	<b>1.04</b>	<b>1.35</b>	<b>0.26</b>	<b>0.22</b>
CDC Alamo	<b>0.94</b>	<b>1.36</b>	–	<b>0.23</b>
CDC Hilose	<b>0.81</b>	<b>1.04</b>	–	<b>0.18</b>
Hordii	<b>0.89</b>	0.97	–	<b>0.19</b>
Orlan	–	0.95	–	0.16
Mebere	<b>0.89</b>	0.72	–	0.11
UA 2220	–	<b>1.21</b>	–	0.20
UA 0663	0.70	<b>1.19</b>	0.19	<b>0.24</b>
UA 5462	0.75	0.63	0.18	0.17
UA 0645	0.77	0.94	0.19	0.14
NSGJ-1	0.75	0.99	<b>0.22</b>	0.16
Tercel	0.78	0.87	<b>0.23</b>	0.15

Примітка. Жирним шрифтом виділено найвищі значення показників.  
 Note: The highest values are highlighted in bold.

Установлено стабільно високі показники вмісту фенольних сполук та антоціанів у лінії Віолет 18-1207 та сортів CDC Alamo, CDC Hilose. В залежності від погодних умов вміст фенольних сполук був високим у зразків Гордій, Mebere, UA 2220, UA 0663, антоціанів – у зразків Гордій, UA 0663, NSGJ-1, Tercel. Наші дані щодо залежності вмісту фенольних сполук від генотипу та умов середовища узгоджуються з результатами дослідження сортів ячменю в Онтаріо Abdel-Aal et al. [7] та El-Sayed M. et al. [63], в Литві Legzdina L. et al. [63]. Іншими вченими також було зроблено висновки про вплив середовища, генотипу та їх взаємодії на рівень фенольних сполук, що підкреслює необхідність тестування генотипів в різних умовах для виділення зразків з високим вмістом цих метаболітів [65]. Аналогічні результати одержано Rao S. et al. [66] про значний вплив середовища на АОА та вміст фенолів, зокрема флавоноїдів та протоантоціанидинів, а різна реакція сортів на місце вирощування вказує на вплив генотипу.

В цілому, результатами чисельних досліджень доведено, що АОА тісно пов'язана з вмістом фенольних сполук у зерні ячменю [7, 9, 13, 15–18, 20–24, 27–34, 30–42, 47–50]. У наших попередніх дослідженнях у 2016–2017 рр. установлено істотну залежність рівня АОА від вмісту фенольних сполук у зерні сортів та ліній ярого ячменю різного походження, в тому числі плівчастих та голозерних різновидів [55, 61, 62].

Consistently high levels of phenolic compounds and anthocyanins were detected in line 'Violet 18-1207' and cvs. 'CDC Alamo' and 'CDC Hilose'. Depending on the weather conditions, the content of phenolic compounds was high in accessions 'Hordii', 'Mebere', 'UA 2220', and 'UA 0663'; the content of anthocyanins was high in accessions 'Hordii', 'UA 0663', 'NSGJ-1', and 'Tercel'. Our data on the dependence of the content of phenolic compounds on genotype and environmental conditions are consistent with findings on barley cultivars in studies by Ontario by Abdel-Aal et al. [7], El-Sayed M. et al. [56], Legzdina L. et al. [64]. Other scientists also drew conclusions about the influence of environment, genotype and their interaction on levels of phenolic compounds, emphasizing the need to test genotypes in different conditions to select accessions with high contents of these metabolites [65]. Similar results were obtained by Rao S. et al. [66] about a significant influence of environment on AOA and content of phenols, in particular flavonoids and protoanthocyanidins, while different responses of cultivars to cultivation locations indicated the effect of genotype.

In general, in numerous studies, AOA was proven to be closely related to levels of phenolic compounds in barley grain [7, 9, 13, 15–18, 20–24, 27–34, 39–41, 46–49]. In our previous study in 2016-2017, there was a significant correlation between AOA and content of phenolic compounds in grain of spring barley cultivars and lines of

У результаті вивчення одержаних шляхом гібридизації зерен гібридних рослин F<sub>1</sub> встановлено, що деякі зразки стабільно передають у поколіннях своє забарвлення зерна. Так, за участі в скрещуванні лінії Віолет 18-1207 як за материнський, так і за батьківський компонент забарвлення зерна F<sub>1</sub> завжди було фіолетове. При цьому форма зерна у Віолет 18-1207 видовжено еліптична, а у F<sub>1</sub> за її участі – від округлої до видовжено еліптичної (табл. 3). Доцільно зауважити, що для голозерного ячменю округла форма зерна є цінною, тому що при обмолоті у такого зерна не відбивається зародок. А саме в зародку найвищий вміст корисних для функціонального харчування речовин – нутрієнтів.

different origins, including chaffy and naked varieties [55, 61, 62].

Having investigated seeds of F<sub>1</sub> hybrid plants obtained by hybridization, we found that some accessions consistently transmitted their caryopsis color over generations. Thus, the F<sub>1</sub> offspring of line 'Violet 18-1207', regardless of how it was used in crossing, as the female form or as the male one, always had purple caryopses. At the same time, line 'Violet 18-1207' has elongated elliptical kernels, but its F<sub>1</sub> offspring had kernels of various shapes - from rounded to elongated elliptical (Table 3). It should be noted that the rounded shape of kernels is valuable for naked barley, because the germ is not removed from such grains when threshed and it is germs that contain the greatest amounts of substances useful for functional nutrition - nutraceuticals.

**Таблиця 3.** Забарвлення зерна гібридних рослин F<sub>1</sub>

**Table 3.** Caryopsis color in F<sub>1</sub> hybrid plants

Гібридна комбінація F <sub>1</sub> / F <sub>1</sub> hybrid	Забарвлення зерна / Caryopsis color	Форма зерна, інші особливості / Kernel shape, other features
Violet 18-1207 x Yavir	Фіолетове / Purple	Зерно видовжено еліптичне, колос фіолетово-сірий / Elongated elliptic kernels, purple-gray spikes
Violet 18-1207 x CDC Hilose	Фіолетове / Purple	Зерно видовжено еліптичне, колос фіолетово-сірий / Elongated elliptic kernels, purple-gray spikes
Violet 18-1207 x Mebere	Фіолетове / Purple	Зерно видовжено еліптичне, колос фіолетово-сірий / Elongated elliptic kernels, purple-gray spikes
Violet 18-1207 x SGI 7024	Фіолетове / Purple	Зерно кругле / Rounded kernels
UA 0663 x Violet 18-1207	Фіолетове / Purple	Колос фіолетовий / Purple spikes
UA 0663 x Yavir	Зелене / Green	Зерно видовжено еліптичне / Elongated elliptic kernels
UA 0663 x SGI 7024	Блакитне / Blue	Зерно еліптичне / Elliptic kernels
UA 0645 x CDC Alamo	Чорне / Black	Зерно еліптичне, колос чорний, стрижень ламкий / Elliptic kernels, black spikes, brittle rachides
UA 0645 x Yavir	Чорне / Black	Зерно еліптичне, колос чорний / Elliptic kernels, black spikes
UA 0645 x UA 0663	Сіро-зелене / Gray-green	Зерно видовжено еліптичне / Elongated elliptic kernels
Mebere x UA 0663	Зелене / Green	Зерно еліптичне / Elliptic kernels
UA 5462 x SGI 7024	Сіро-зелене / Gray-green	Зерно видовжено еліптичне, колос сірий / Elongated elliptic kernels, gray spikes
Hoem x SGI 7024	Блакитне / Blue	Зерно еліптичне, рослини двохрядні / Elliptic kernels, two-rowed plants
Hoem x CDC Hilose	Фіолетове / Purple	Колос фіолетовий, зерно ромбічне, рослини інтермедіальні / Purple spikes, rhombic kernels, intermediate plants

При цьому в іншого зразка з фіолетовим зерном – Ноем подібна закономірність не встановлена. У гібридних рослин F<sub>1</sub> забарвлення зерна було як фіолетове, так і іншого кольору (блакитного при схрещуванні з SGI 7024).

У гібридних популяціях за участю в схрещуваннях колекційного чорнозерного зразка UA 0645 var. *nudimelanocrithum* одержано F<sub>1</sub> як з чорним, так і з іншого кольору зерном (сіро-зелене при схрещуванні з UA 0663). Особливістю зразка UA 0645 є те, що цей різновид еректоїдний. Гібридні рослини F<sub>1</sub> лише в комбінації UA 0645 x CDC Alamo були еректоїдного типу, а в інших – нормального типу, середньої висоти з нещільним колосом. Доречно зауважити, що еректоїдні рослини характеризуються дуже ламким стрижнем колоса, що є небажаним для селекції.

Наші дані лише частково узгоджуються з відомостями Jia et al. [39] та Kim et al. [40], згідно з якими успадкування чорного і фіолетового забарвлення відбувається за материнським компонентом.

При схрещуванні Ноем і CDC Hilose рослини F<sub>1</sub> були типу intermedium, зерно і колос фіолетового забарвлення, зерно ромбічне. Інтермедіальний тип гібридних рослин пояснюється належністю зразка Ноем до різновиду шестирядного ячменю *violaceae*, а при схрещуванні двохрядних і шестирядних різновидів часто з'являються саме такі інтермедіальні (проміжного типу) рослини.

Доцільно відзначити, що серед усіх популяцій F<sub>1</sub> було виділено популяцію Віолет 18-1207 x SGI 7024. У гібридних рослин зерно було фіолетового кольору, округлої форми. Саме така форма зерна є оптимальною для голозерного ячменю, оскільки при обмолоті та обробці зерна округлої форми менше втрачається чи пошкоджується зародок, багатий антиоксидантами (табл. 3).

У популяціях F<sub>2</sub> відбувалося розщеплення за кольором зерна, було встановлено, що успадкування забарвлення зернівки у ячменю можна пояснити взаємодією неалельних генів переважно за типом комплементарності (табл. 4).

At the same time, another accession with purple caryopses, 'Hoem', did not show a similar pattern. F<sub>1</sub> hybrid plants can have either purple caryopses or in a different color (blue when crossed with 'SGI 7024').

In F<sub>1</sub> hybrid populations from collection var. *nudimelanocrithum* accession 'UA 0645' with black caryopses, there were plants with either black caryopses or in a different color (gray-green when crossed with 'UA 0663'). The peculiarity of accession 'UA 0645' is that this variety is erectoid. F<sub>1</sub> hybrid plants were erectoid only in the combination 'UA 0645 x CDC Alamo', while in the others, plants were normal, medium-tall with loose spikes. It is noteworthy that erectoid plants have very brittle rachides, which are undesirable for breeding.

Our findings are only partially consistent with those of Jia et al. [35] and Kim et al. [36], as they reported that black and purple colors were inherited from female forms.

When 'Hoem' was crossed with 'CDC Hilose', F<sub>1</sub> plants were of the intermedium type, their caryopses and spikes were purple and kernels were rhombic. The intermediate type of hybrid plants is explained by the fact that accession 'Hoem' belongs to var. *violaceae* of six-rowed barley, and when two-rowed and six-rowed varieties are crossed, such intermediate plants often appear.

It should be noted that of all F<sub>1</sub> populations, population 'Violet 18-1207 x SGI 7024' was selected. In this population, hybrid plants had purple, rounded caryopses. It is this shape of kernels that is optimal for naked barley, since the germ, rich in antioxidants, is less probably lost or damaged during threshing and processing of rounded kernels (Table 3).

In F<sub>2</sub> populations, we observed segregation by caryopsis color and believe that the inheritance of caryopsis color in barley can be explained by interaction of non-allelic genes mainly via complementarity (Table 4).

**Таблиця 4.** Розщеплення в гібридних популяціях F<sub>2</sub> голозерного ячменю за забарвленням зернівки, 2024 р.  
**Table 4.** Segregation in F<sub>2</sub> hybrid naked barley populations by caryopsis color, 2024

Комбінація схрещування / Crossing combination		Забарв-лення зернівки в F <sub>1</sub> / Caryopsis pigmentation in F <sub>1</sub>	Співвідношення рослин за забарвленням зернівки, частка Proportion of plants with caryopses in corresponding color						$\chi^2$	Тип успадкування / Inherutance type
			жовте / Yellow	зелене / Green	сіро-зелене / Gray-green	блакитне / Blue	чорне / Black	фіолетове / Purple		
Violet 18-1207 / SGI 7024		Фіолетове / Purple	–	–	–	1	–	3	0.01	Повне домінування / Complete dominance
Violet 18-1207 / Mebere		Фіолетове / Purple	1	–	–	–	–	2	1.42	Компліментарність / Complementarity
Violet 18-1207 / CDC Hilose		Фіолетове / Purple	1	–	–	–	–	4	0.06	Домінантний епістаз / Dominant epistasis
Violet 18-1207 / Явір		Фіолетове / Purple	1	–	–	–	–	1.8	1.97	Компліментарність / Complementarity
UA 0663 / SGI 7024		Блакитне / Blue	–	1	–	1	–	–	0.14	Компліментарність / Complementarity
UA 0663 / Yavir		Зелене / Green	1	1	–	–	–	–	0.28	Компліментарність / Complementarity
UA 0663 / Violet 18-1207		Фіолетове / Purple	–	1	–	–	–	1.8	2.67	Компліментарність / Complementarity
UA 5462 / SGI 7024		Сіро-зелене / Gray-green	–	–	1.5	1	–	–	0.82	Компліментарність / Complementarity
UA 5462 / CDC Hilose		Жовте / Yellow	15	–	1	–	–	–	0.56	Кумулятивна полімерія / Cumulative polymery
Hoem / SGI 7024	шестирядні / Six-rowed	Блакитне, двохрядні / Blue; two-rowed	–	–	–	2	–	1	0.09	Компліментарність / Complementarity
	інтермедіум / Intermedium		–	–	–	1	–	1		
Hoem / CDC Alamo	шестирядні / Six-rowed	Фіолетове / Purple	1	–	–	–	–	1	0.25	Компліментарність / Complementarity
	інтермедіум / Intermedium		1	–	–	–	–	1		
UA 2152 / UA 0663		Зелене / Green	1	2	–	–	–	–	3.17	Компліментарність / Complementarity
UA 0645 / Yavir	звичайні / Normal	Чорне / Black	1	–	–	–	3	–	0.30	Повне домінування / Complete dominance
	еректоїди / Erectoid		1	–	–	–	1	–		
UA 0645 / CDC Alamo		Чорне / Black	1	–	–	–	7	–	0.49	Домінантний епістаз / Dominant epistasis
Mebere / UA 0663		Жовте / Yellow	3	1	–	–	–	–	0.04	Повне домінування / Complete dominance
UA 2152 / UA 0663		Зелене / Green	1	2	–	–	–	–	3.17	Компліментарність / Complementarity

За такого типу успадкування домінантні гени не мають самостійного прояву і лише разом зумовлюють певне забарвлення зернівки. Окрім компліментарності, зустрічаються також повне домінування, домінантний епістаз (домінантний алель одного гена пригнічує прояв інших генів), кумулятивна полімерія (ступінь розвитку ознаки залежить від кількості полімерних генів, тобто генів, які діють в однаковому напрямі, підсилюючи один одного). Доречно зауважити, що в F<sub>2</sub> домінує забарвлення зернівки таке ж, як було в F<sub>1</sub>. У деяких гібридних популяціях виявлено новоутворення, тобто компліментарна взаємодія генів супроводжувалася утворенням генотипів, які не були схожими ні на жоден з батьківських компонентів.

Так, в гібридних популяції Hoem / SGI 7024 було виявлено рослини інтермедіального типу з фіолетовим і блакитним зерном та шестирядні рослини з блакитним зерном. У популяції Hoem / CDC Alamo – рослини інтермедіального типу з фіолетовим і жовтим зерном та шестирядні з жовтим зерном.

У гібридній популяції UA 0645 / Явір виявлено рослини звичайні з чорним зерном та еректоїди з жовтим зерном; у популяції UA 0645 / CDC Alamo – чорнозерні рослини з сірим колосом.

### **Висновки**

Таким чином, голозерний ячмінь, у тому числі з кольоровим зерном, є цінним вихідним матеріалом для створення різних сортів, придатних для виготовлення продукції функціонального харчування. В результаті наших досліджень підтверджено домінування в F<sub>1</sub> ячменю фіолетового, чорного, зеленого, блакитного та сіро-зеленого забарвлення зерна над жовтим. У F<sub>2</sub> відбувається розщеплення за кольором зерна переважно за типом компліментарності. В результаті рекомбінації генів отримано нові варіанти поєднання цінних ознак, виділено новоутворення з ознаками, нехарактерними для батьківських компонентів. За допомогою новоутворень можна одержати достатній обсяг вихідного матеріалу для добороїв та створення інноваційних сортів харчового напрямку використання.

In this inheritance type, dominant genes are not expressed independently but only together determine a certain color of the caryopsis. In addition to complementarity, there were also complete dominance, dominant epistasis (the dominant allele of one gene inhibits the expression of other genes), and cumulative polymery (the trait degree depends on the number of polymeric genes, that is, genes that act in the same direction, enhancing one's another's expression). It is worth noting that in F<sub>2</sub> the same caryopsis color dominated as in F<sub>1</sub>. Traits that were not intrinsic to parents were observed in some hybrid populations, that is, the complementary interaction of genes was associated with involvement of genotypes that were not similar to any of the parents.

Thus, in hybrid population 'Hoem / SGI 7024', intermediate plants with purple and blue caryopses and six-rowed plants with blue caryopses were found. Population 'Hoem / CDC Alamo' comprised intermediate plants with purple and yellow caryopses and six-rowed plants with yellow caryopses.

In hybrid population 'UA 0645 / Yavir', there were normal plants with black caryopses and erectoids with yellow caryopses; in population 'UA 0645 / CDC Alamo', we had plants with black caryopses and gray spikes.

### **Conclusions**

Thus, naked barley, including accessions with pigmented caryopses, is a valuable starting material to breed different cultivars suitable for functional food production. Our study confirmed the dominance of purple, black, green, blue, and gray-green colors of caryopses over yellow in F<sub>1</sub> barley. In F<sub>2</sub>, there was segregation by caryopsis color, mainly according to complementarity. As a result of gene recombinations, new combinations of valuable traits were obtained; traits that were not intrinsic to parents evolved. Using such traits one can create a large amount of starting materials for breeding and development of innovative food cultivars.

## References

1. Newton A.C., Flavell A.J., George T.S., Leat P., Mullholland B., Ramsay L., Revoredo-Giha C., Russel J., Steffenson B.J., Swanston S., et al. Crops that feed world 4. Barley: a resilient crop? Strengths and weakness in the context of food security. *Food Security*. 2011. V. 3. P. 141–178. <https://doi.org/10.1007/s12571-011-0126-3>.
2. Toyo Shinyaku. Food for specified health use (FOSHU). <http://www.toyoshinyaku.co.jp>
3. Iwatani S., Yamamoto N. Functional food products in Japan. *Food Sciences and Human Wellness*. 2019. V. 8. P. 96. <https://doi.org/10.1016/j.fshw.2019.03.011>
4. Martirosyan D., Adany A., Kanya H. Japan's health food industry: An analysis of the efficacy of the FOSHU system. *Bioactive compounds in health and disease*. 2021. V. 4(4). <https://doi.org/10.31989/bchd.v4i4.795>
5. Ulrich S.E., editor. Barley production, improvement, and uses. Chichester, UK: Wiley-Blackwell, 2011. 637 p.
6. Abdel-Aal E.S.M., Young J.C., Rabalski I. Anthocyanin composition in black, blue, pink, purple, and red cereal grains. *J. Agric Food Chem*. 2006. V. 54. 4696e704.
7. Abdel-Aal E.S.M., Choo T.M., Dhillon S., Rabalski I. Free and bound phenolic acids and total phenolics in black, blue, and yellow barley and their contribution to free radical scavenging capacity. *Cereal Chem*. 2012. V. 89. 198e204. <https://doi.org/10.1094/CCHEM-10-11-0116>
8. Idehen E., Tang Y., Sang S. Bioactive phytochemicals in barley. *Journal of Food and Drug Analysis*. 2016. V. 25(1). <https://doi.org/10.1016/j.jfda.2016.08.002>
9. Rybalka O.I., Morhun B.V., Polishchuk S.S. Yachmin yak produkt funktsionalnoho kharchuvannia [Barley as a product of functional nutrition]. Kyiv: Logos, 2016.
10. Liao Zh., Cai H., Xu Z., Wang J., Qiu Ch., Xie J., Huang W., Sui Zh. Protective role of antioxidant huskless barley extracts of TNF- $\alpha$ -Induced endothelial dysfunction in human vascular endothelial cells. *Oxidative medicine and cellular longevity*. 2018. (10 pages). <https://doi.org/10.1155/2018/3846029>.
11. Polakova K., Vaculova K., Kucera L. Selection of barley lines with waxy endosperm and hullless grains: genotyping and phenotyping. *Czech Journal of Genetics and Plant Breeding*. 2004. V. 40. P. 114.
12. Zhao S., Li X., Hu G., Liang X., Liu C., Liu Q. Rheological behaviors, structural properties and freeze–thaw stability of normal and waxy genotypes of barley starch: A comparative study with mung bean, potato, and corn starches. *Food Sci. Biotechnol*. 2021. V. 30. P. 1171–1181. <https://doi.org/10.007/s10068-021-00967-z>
13. Salar R.K., Purewal S.S., Sandhu K.S. Relationships between DNA damage protection activity, total phenolic content, condensed tannin content and antioxidant potential among Indian barley cultivars. *Biocatal. Agric. Biotechnol*. 2017. V. 11. P. 201–206. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2021.07.006>
14. Baik B.K., Ullrich S.E. Barley for food: Characteristics, improvement, and renewed interest. *J. Cereal. Sci*. 2008. V. 48. P. 233–242. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2008.02.002>
15. Kaur A., Singh S., Yuthana P., Sneha P., Bangar P. Unraveling the hidden potential of barley (*Hordeum vulgare*): An important review. *Plants*. 2024. V. 13(17). P. 2421. <https://doi.org/10.3390/plants13172421>
16. Quinde-Axtelle Z., Baik B.K. Phenolic compounds of barley grain and their implication in food product discoloration. *J. Agric. Food Chem*. 2006. Vol. 54(26). P. 9978–9984. <https://doi.org/10.1021/jf060974w>.
17. Mahmoudi T., Oveisi M.R., Jannat B., Behzad M., Hajimahmoodi M., Sadeghi N. Antioxidant activity of Iranian barley grain cultivars and their malts. *African Journal of Food Science*. 2015. Vol. 9(11): 534–539. <https://doi.org/10.5897/AJFS2014.110>.
18. Punia S., Sandhu K.S. Functional and antioxidant properties of different milling fractions of Indian barley cultivars. *Carpathian J. Food Sci. Technol*. 2015. V. 7. P. 19–27.
19. Tehami W., Nani A., Khan N.A., Hichami A. New insights into the anticancer effects of p-coumaric acid: focus on colorectal cancer. *Dose Response*. 2023. V. 21.. <https://doi.org/10.1177/15593258221150704>
20. Maillard M.N., Boivin P., Soum M.H., Berset C. Antioxidant activity of barley and malt: relationship with phenolic content. *Food Science and Technology*. 1996. No 29(3). P. 238–244. <https://doi.org/10.1006/fst.1996.0035>.

21. Simic G., Horvat D., Dvojkojic K., Abicic J., Viljevac Vuletic M., Tucak M., Lalic A. Evaluation of total phenolic content and antioxidant activity of malting and hulless barley grain and malt extracts. *Czech. J. Food Sci.* 2017. No 35(1). P. 73–78. <https://doi.org/10.17221/144/2016-CJFS>.
22. Zhigang Han, Jingjie Zhang, Shengguan Cai, Xiaohui Chen, Xiaoyan Quan, Guoping Zhang. Association mapping for total polyphenol content, total flavonoid content and antioxidant activity in barley. *BMC Genomics.* 2018. No 19. P. 81–90. <https://doi.org/10.1186/S12864-018-4483-6>.
23. Raj R., Shams R., Pandey V.K., Dash K.K., Singh P., Bashir O. Barley phytochemicals and health promoting benefits: A comprehensive review. *J. Agric. Food Res.* 2023. V. 14. 100677. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2023.100677>
24. Sun W., Shahrajabian M.H. Therapeutic potential of phenolic compounds in medicinal plants—natural health products for human health. *Molecule.* 2023. V. 28. P. 1845. <https://doi.org/10.3390/molecules28041845>
25. Rashid N.A., Abd-Halim S.A.S., Teoh S.L., Budin S.B., Hassan F., Adib-Ridzuan N.R., Abdul-Jalil N.A. The role of natural antioxidants in cisplatin-induced hepatotoxicity. *Biomed. Pharmacothear.* 2021. V. 144. <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2021.112328>
26. Tucakovich L., Colson N., Singh I. Relationship between common dietary polyphenols and obesity-induced inflammation. *Food Public Health.* 2015. No5(3). P. 84–91. <https://doi.org/10.5923/j.fph.20150503.04>.
27. Madhujith T., Shahidi F. Antioxidant potential of barley as affected by alkaline hydrolysis and release of soluble-bound phenolics. *Food Chem.* 2009. No 117. P. 615–620.
28. Dabina-Bicka I., Karklina D., Kruma Z. Polyphenols and vitamin E as potential antioxidants in barley and malt. *Proc. conf. FOODBALT 2011.* P. 121–126.
29. Yoshida A., Sonoda K., Nogata Y., Nagamine T., Sato M., Oki T., Hashimoto Sh., Ohta H. Determination of free and bound phenolic acid, and evaluation of antioxidant activities and total polyphenolic contents in selected pearled barley. *Food Sci. Technol. Res.* 2010. No 16(3). P. 215–224. <https://doi.org/10.3136/fstr.16.215>
30. Hodzic Z., Pasalic H., Memisevic A., Srabovic M., Saletovic M., Poljakovic M. The influence of total phenols content on antioxidant capacity in the whole grain extracts. *European Journal of Scientific Research.* 2009. Vol. 28. No 3. P. 471–477.
31. Sharma P., Gujral H.S. Effect of sand roasting and microwave cooking on antioxidant activity of barley. *Food Res. Int.* 2011. V. 44. P. 235–240. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2010.10.030>
32. Lin S., Guo H., Gong J.D., Lu M., Lu M.Y., Wang L., Zhang Q., Qin W., Wu D.T. Phenolic profiles,  $\beta$ -glucan contents, and antioxidant capacities of colored Qingke (Tibetan hulless barley) cultivars. *J. Cereal Sci.* 2018. V. 81. P. 69–75. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2018.04.001>
33. Zhao H., Dong J., Lu J., Chen J., Li Y., Shan L., Lin Y., Fan W., Gu G. Effects of extraction solvent mixtures on antioxidant activity evaluation and their extraction capacity and selectivity for free phenolic compounds in barley (*Hordeum vulgare* L.). *J. Agric. Food Chem.* 2006. V. 54. P. 7277–7286. <https://doi.org/10.1021/jf0610878w>
34. Sharma P., Gujral H.S. Antioxidant and polyphenol oxidase activity of germinated barley and its milling fractions. *Food Chem.* 2010. V. 120. P. 673–678. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.10.059>
35. Elouadi F., Amri A., El-Baouchi A., Zakaria K., Jilal A., Ibriz M. Genotypic and environmental effects on quality and nutritional attributes of Moroccan barley cultivars and elite breeding lines. *Front. Nutr.* 2023. V. 6. 1204572. <https://doi.org/10.3389/fnut.2023.1204572> eCollection 2023
36. Tezara W., Mitchell V.J., Driscoll S.D., Lawlor D.W. Water stress inhibits plant photosynthesis by decreasing coupling factor and ATP. *Nature.* 1999. V. 401. P. 914–917. <https://doi.org/10.1038/44842>
37. Ianucci A., Suriano S., Codianni P. Genetic diversity for agronomic traits and phytochemical compounds in colored naked barley lines. *Plants.* 2021. V. 10(8). P. 1575. <https://doi.org/10.3390/plants10081575>
38. Jia Q., Wang J., Zhu J., Hua W., Shang Y., Yang J. Toward identification of black lemma and pericarp gene *Blp1* in barley combining bulked segregant analysis and specific locus amplified fragment sequencing. *Front. Plant Sci.* 2017. V. 8. P. 1414. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01414>.
39. Kim M., Hyun J., Kim J., Park J., Kim M., Kim J. Relationship between phenolic compounds, anthocyanins content and antioxidant activity in colored barley germplasm. *J. Agric. Food Chem.* 2007. V. 55(12). P. 4802–4809. <https://doi.org/10.1021/jf0701943>.



40. Xu D., Dondup D., Dou T., Wang C., Zhang R., Fan C., Aikui G., Lhundrup N., Ga Z., Liu M., Wu B., Gao J., Zhang J., Guo G. HvGST plays a key role in anthocyanin accumulation in colored barley. *Plant J.* 2023. V. 113(1). P. 47–59. <https://doi.org/10.1111/tjp.16033>.
41. Jin H.-M., Dang B., Zhang W.-G., Zheng W.-C., Yang, X.-J. Polyphenol and anthocyanin composition and activity of highland barley with different colors. *Molecules.* 2022. V. 27(11). P. 3411. <https://doi.org/10.3390/molecules27113411>
42. Sicker N. Beta-glucans and anthocyanins in barley for human food. 2017. <https://scholarworks.montana.edu/xmlui/handle/1/13022>.
43. Yao X., Yao Y., An L., Li X., Bai Y., Cui Y., Wu K. Accumulation and regulation of anthocyanins in white and purple Tibetan Hulless Barley (*Hordeum vulgare* L. var. *nudum* Hook. F.) revealed by combined de novo transcriptomics and metabolomics. *BMC Plant Biology.* 2022. V. 22. P. 391. <https://doi.org/10.1186/s12870-022-036992>.
44. Rybalka O.I., Polishchuk S.S., Kirdohlo Ye.K., Morhun B.V. Genetic and breeding criteria of hulless barley cultivars production for the food end-use. *Физиология и биохимия культурных растений.* 2013. Т. 45, № 3. С. 187–205.
45. Rybalka O.I., Morgun V.V., Morgun B.V. Colored grain of wheat and barley – a new breeding strategy of crops with grain of high nutritional value. *Fiziol. Rast. Genet.* 2020. V. 52(2). P. 95–127. <https://doi.org/10.15407/frg2020.02.095>
46. Suriano S., Ianucci A., Codianna P., Fares C., Russo M., Peccioni N., Marciellj U., Savino M. Phenolic acids profile, nutritional and phytochemical compounds, antioxidant properties in colored barley grown in southern Italy. *Food Res. Int.* 2018. V. 113. P. 221–233. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.06.072>.
47. Nignpense B.E., Latif S., Francis N., Blanchard, C.L. Bioaccessibility and antioxidant activity of polyphenols from pigmented barley and wheat. *Foods.* 2022. V. 11(22). P. 3697. <https://doi.org/10.3390/foods11223697>.
48. Ge X., Jing L., Zhao K., Su C., Zhang B., Zhang Q., Han L., Yu X., Li W. The phenolic compounds profile, quantitative analysis and antioxidant activity of four naked barley grains with different color. *Food Chem.* 2021. V. 335. P. 127655. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127655>
49. Han Z., Zhang J., Cai S., Chen X., Quan X., Zhang G. Association mapping for total polyphenol content, total flavonoid content and antioxidant activity in barley. *BMC Genomics.* 2018. V. 19. P:81–90. <https://doi.org/10.1186/S12864-018-4483-6>.
50. Liu Z., Liu Y., Pu Z., Wang J., Zheng Y., Li Y., Wei Y. Regulation, evolution, and functionality of flavonoids in cereal crops. *Biotechnol Lett.* 2013; 35: 1765e80.
51. Yang T., Duan C.L., Zeng Y.W., Du J., Yang S.M., Pu X.Y., Yang S..C. HPLC analysis of flavonoids compounds of purple, normal barley grain. *AMR.* 2013; 634: 1486e90.
52. Bleidere M., Grunte I. Grain chemical composition of spring barley genotypes. *Proc. of the Intern. scien. conf. «Research for rural development».* 2007. P. 36–41.
53. Long Z., Jia Y., Tan C., Hang X.-Q., Angessa T., Broughton S., Westcott S., Dai F., Zhang G., Sun D., Xu Y, Li, C. Genetic mapping and evolutionary analyses of the black grain trait in barley. *Front. Plant Sci.* 2019. V. 9. P. 1–11. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01921>
54. Vasko N.I., Kozachenko M.R., Pozdniakov V.V., Naumov O.G., Solonechnyi P.M., Vazhenina O.E., Solonechna O.V., Zymogliad O.V., Sheliakina T.A, Ilchenko N.K., Antsyferova O.V., Suprun O.G., Serik M.L. Creation of naked varieties and lines of spring barley with high food qualities. *Sel. Nasinn.* 2018. Is. 114. P. 25–38. <https://doi.org/10.30835/2413-7510.2018.152128>.
55. Vasko N.I., Kozachenko M.R., Solonechnyi P.M., Naumov O.G., Zymogliad O.V., Mykhaylenko Ye.O. Naked barley varieties to ensure food security. *Visn. Agrarn. nauky.* 2023. V. 101. № 10. С. 34–40. <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202310-05>
56. El-Sayed M., Abdel-Aal E.S.M., Choo T.M. Differences in compositional properties of a hulless barley cultivar grown in 23 environments in eastern Canada. *Canadian Journal of Plant Science.* 2014. No 94(5). P. 807–815. <https://doi.org/10.4141/cjps2013-301>.
57. Mac Gregor A., Fincher G. Carbohydrate of the barley grain. In: *Barley: Chemistry and technology.* A.W. Mac Gregor, R.S. Bhatti, eds. American Association of Cereal Chemists, St. Paul, MN, 1993. P. 73–130.
58. Arabshahi-Delouee S., Urooj A. Antioxidant properties of various solvent extracts of mulberry *Morus indica* L. leaves. *Food Chem.* 2007. Vol. 102. P. 1233–1240. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.07.013>

59. Bobo-García G., Davidov-Pardo G., Arroqui C., Virseda P., Marín-Arroyo M.R., Navarro M. Intra-laboratory validation of microplate methods for total phenolic content and antioxidant activity on polyphenolic extracts, and comparison with conventional spectrophotometric methods. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2015. V. 95(1). P. 204–209. <https://doi.org/10.1002/jsfa.670>
60. Nogues S., Baker N.R. Effects of drought on photosynthesis in Mediterranean plants grown under enhanced UV-B radiation. *J. of Experimental Botany*. 2000. V/ 51/ Is. 348. P. 1309–1317. <https://doi.org/10.1093/jxb/51.348.1309>
61. Vasko N.I., Solonechnyi P.M., Solonechna O.V., Naumov O.G., Kozachenko M.R., Zymogliad O.V., Mykhaylenko Ye.O. The value of naked barley with colored grain as a starting material for the selection of food barley. *Proc. of the 4th Internat. Sci.and Prac. Internet conf. «Ways of Science development in modern crisis conditions»*, June 8–9, 2023. Dnipro, Ukraine, 2023. P. 111–112.
62. Vasko N., Mykhailenko E. Anthocyanins in naked pigmented barley grain as a source of antioxidant activity *Food Science & Nutrition Technology*. 2023. V. 8. Issue 3. <https://doi.org/10.23880/fsnt-16000301>
63. Panizo M., Déniz-Expósito P., Rodríguez-Galdón B., Morales D.A., Mesa D.R., Diaz C., Rodriguez-Rodriguez E.M. The chemical composition of barley grain (*Hordeum vulgare* L.) landraces from the Canary Islands. *J. of Food Science*. 2020. V. 85(6). <https://doi.org/10.1111/1750-3841.15144>
64. Legzdina L., Ivdre E., Piliksere D., Vaivode A. Effect of genotype and crop management systems on the content covered spring barley. *Zemdirbyste-Agriculture*. 2018. V. 105(4). P. 315–322. <https://doi.org/10.13080/z-a.2018.105.040>
65. Yang X.-J., Dang B., Fan M.-T. Free and bound phenolic compound content and antioxidant activity of different cultivated blue Highland barley varieties from the Qinghai Tibet Plateau. *Molecules*. 2018. V. 23(4). P. 879. <https://doi.org/10.3390/molecules23040879>
66. Rao S., Santhkumar A.B., Chinkwo K.A., Blanchard C. Investigation of phenolic compounds with antioxidant activity in barley, and oats affected by variation in growing location. *Cereal Chemistry*. 2020. V. 97(7). <https://doi.org/10.1002/ccge.10291>

Надійшла до редакції 15.11.2024 р.  
Received 15.11.2024

УДК 633.18:631.51

Р.А. Вожегова<sup>1</sup>, В.О. Скидан<sup>2\*</sup>, М.С. Скидан<sup>3</sup>

## Особливості наливу зерна та реакції на добрива у сортів рису різних агроекологічних типів

<sup>1</sup>Інститут кліматично орієнтованого сільського господарства НААН України, смт. Хлібодарське, Одеський район, Одеська область, Україна

<sup>2</sup>Інститут рослинництва ім. В.Я. Юр'єва НААН України, Харків, Україна

<sup>3</sup>Державний біотехнологічний університет, Харків, Україна

\*E-mail: [vskydan@gmail.com](mailto:vskydan@gmail.com)

UDC 633.18:631.51

R.A. Vozhehova<sup>1</sup>, V.O. Skydan<sup>2\*</sup>, M.S. Skydan<sup>3</sup>

## Characteristics of Grain Filling and Response to Fertilizers in Rice Cultivars of Different Agro-Ecological Types

<sup>1</sup> Institute of Climate-Smart Agriculture of NAAS of Ukraine, Khlibodarske Village, Odeskyi District, Odeska Oblast, Ukraine

<sup>2</sup> Yuriev Plant Production Institute of NAAS of Ukraine, Kharkiv, Ukraine

<sup>3</sup> State Biotechnology University, Kharkiv, Ukraine

\*E-mail: [vskydan@gmail.com](mailto:vskydan@gmail.com)

**Реферат:** Метою роботи було встановити особливості реакції рису сортів Дебют, Маршал, Лазурит, Корсар, Віконт та Онтаріо на систему удобрення в умовах південної частини Степу України. Дослідження проводили на дослідному полі Інституту рису НААН України у 2019-2021 рр. Встановлено, що найвищий урожай рису сформувався на варіанті N120P30 з дворазовим підживленням, який становив 11,27 у сорту Віконт, 9,62 т/га у сорту Корсар, 8,99 т/га у сорту Лазурит, для сортів Дебют – 7,06 т/га, Маршал – 9,77 т/га, Онтаріо – 9,24 т/га. Виділено три агроекологічні типи сортів північний, помірний і південний.

**Ключові слова:** Рис, сорт, мінеральні добрива, урожайність, агроекологічні типи, налив зерна.

**Abstract:** The purpose of this study was to characterize responses of rice cultivars 'Debiut', 'Marshal', 'Lazuryt', 'Korsar', 'Vikont', and 'Ontario' to fertilization in the southern steppe of Ukraine. The study was conducted in the experimental field of the Institute of Rice of NAAS of Ukraine in 2019-2021. It was found that rice yielded the most when double-fertilized at a dose of N120P30: cv. 'Vikont' yielded 11.27 t/ha, cv. 'Korsar' - 9.62 t/ha, cv. 'Lazuryt' - 8.99 t/ha, cv. 'Debiut' - 7.06 t/ha, cv. 'Marshal' - 9.77 t/ha, and cv. 'Ontario' - 9.24 t/ha. Three agro-ecological types of cultivars (northern, temperate and southern) were distinguished.

**Key words:** Rice, cultivar, mineral fertilizers, yield, agro-ecological types, grain filling.

Для забезпечення зростаючих потреб населення в рисі необхідно застосовувати заходи, які направлені на підвищення його урожайності. Цього можна досягти шляхом вирощування високоурожайних сортів, вдосконалення агротехнічних та меліоративних прийомів, раціонального використання добрив. Вибір оптимального сорту рису в певних ґрунтово-кліматичних умовах є необхідною передумовою ефективного використання ресурсів середовища для формування високого врожаю посівом. Тому

To satisfy the growing needs of the population in rice, it is necessary to apply measures aimed at increasing its yield. This can be achieved due to growing high-yielding cultivars, improving farming and amelioratory techniques, and rational using fertilizers. The choice of optimal rice cultivars for certain pedo-climatic conditions is a necessary prerequisite for the effective use of environmental resources in order a field yielded a lot. Therefore, new cultivars require improved fertilization

нові сорти потребують удосконалення системи живлення посівів та вирощування в районах згідно їх агроекологічної належності.

Одним із важливих напрямків підвищення продуктивності сільськогосподарських культур є вивчення біологічних особливостей кожного сорту та виявлення оптимальних параметрів основних агротехнічних факторів, які в значній мірі визначають реалізацію продуктивного потенціалу культур та забезпечують отримання сталих врожаїв зерна з високими якісними показниками. Для рису першочерговим фактором, який в разі застосування вискоєфективної системи захисту посівів від шкідливих організмів, є рівень забезпечення поживними речовинами з розрахунку на генетично обумовлений потенціал продуктивності [1]. Рис має дуже добру реакцію на елементи мінерального живлення, переважно на ранніх етапах органогенезу. Високий вміст елементів живлення в рослинах рису на перших етапах органогенезу свідчить про необхідність створення сприятливих умов живлення в перші дні їх росту [2, 3].

Найвищий приріст урожаю рису забезпечується застосуванням азотних добрив [4]. В специфічних анаеробних умовах затоплюваного ґрунту слід використовувати ті форми добрив, які містять азот в амонійній і амідній формах: сульфат амонію з вмістом азоту 20,5-21,0 % та сечовину (46 % азоту). Саме амонійна форма азоту закріплюється ґрунтовим поглинальним комплексом та забезпечує рослини рису цим поживним елементом впродовж вегетаційного періоду. Нітратний азот здебільшого вимивається з водою в нижні горизонти ґрунту або відновлюються до вільного азоту в процесі денітрифікації і також втрачається [5].

У затопленому ґрунті створюються сприятливі умови для мобілізації доступних форм фосфору. Рис потребує фосфорного живлення протягом усієї вегетації, але особливо важливо забезпечити рослини цим елементом живлення у початковий період їх росту [1, 2-4].

За агроекологічними особливостями сорти та гібриди умовно поділяють на три типи [5]. До першого типу належать генотипи, які найбільш активно накопичують пластичні речовини в першій половині фази наливу зерна, саме вони більш придатні для вирощування в посушливих умовах Степу, де ГТК (гідротермічний коефіцієнт) становить менше 1,0. До другого типу відносять рослини, що накопичують пластичні речовини рівномірно протягом фази наливу зерна, а отже

regimens and cultivation modes according to their agro-ecological suitability. Research into the biological characteristics of each cultivar and the identification of optimal parameters of major farming factors are important ways to increase the agricultural crop productivity, which largely determine the fulfilment of the productive potentials of crops and ensure harvesting stable yields of top-quality grain. Nutrient supply adjusted for the genetically determined productivity potential (in the case of applying a highly effective algorithm of crop protection against harmful organisms) is the primary factor for rice [1]. Rice responses to mineral fertilization very well, especially in the early stages of organogenesis. High contents of nutrients in rice plants at the first stages of organogenesis indicate the need to create favourable nutritional conditions in the first days of their growth [2, 3].

The greatest increase in rice yield is ensured by nitrogen fertilizers [4]. Under specific anaerobic conditions of flooded soil, fertilizer formulations that contain nitrogen in ammonium and amide forms should be applied: ammonium sulphate with a nitrogen content of 20.5-21.0% and urea (46% nitrogen). It is the ammonium form of nitrogen that is fixed by the soil absorption complex and provides rice plants with this nutrient throughout the growing period. Nitrate nitrogen is mostly washed out with water into the lower soil horizons or reduced to free nitrogen in the denitrification reaction and also lost [5].

In flooded soil, favourable conditions are created for the mobilization of available forms of phosphorus. Rice needs phosphorus nutrition throughout the growing period, but it is especially important to provide plants with this nutrient during the initial period of their growth [1, 2-4].

According to agro-ecological features, cultivars and hybrids are conditionally divided into three types [5]. Type 1 includes genotypes that most intensively accumulate plastic substances in the first half of the grain filling phase; they are more suitable for growing in arid conditions of the steppe, where the HTC (hydrothermal coefficient) is below 1.0. Type 2 includes plants that accumulate plastic substances evenly during the grain filling phase and, therefore, are suitable for cultivation in the forest-steppe, where the HTC is about 1.0. Type

придатні для вирощування в умовах Лісостепу, де ГТК становить близько 1,0. До третього типу належать рослини, які найбільш активно накопичують пластичні речовини в другій половині фази наливу зерна, вони придатні для вирощування у вологих умовах Полісся, де ГТК становить більше 1,0 [5].

Проте недоліком такого способу агроєкологічної класифікації є те, що він придатний лише для суходільних культур, для яких лімітуючим фактором є продуктивна волога. Він дозволяє лише районувати сорти та гібриди сільськогосподарських культур за кліматичними зонами залежно від ГТК, але не враховує особливості такої культури як рис в умовах затоплення. Адже ця культура протягом вегетаційного періоду повністю забезпечена вологою, а головним лімітуючим фактором для неї є температурний режим.

Зважаючи на це, із появою нових сортів рису виникла необхідність визначити типи агроєкологічної належності сортів рису з удосконаленням системи живлення рослин в умовах південного Степу України.

Метою наших досліджень було визначення придатності сортів рису для вирощування в умовах затоплення залежно від кліматичних особливостей території та встановлення характеру їх реакції на систему удобрення у південній частині Степу України. Для цього оцінювали закономірності наливу зерна різних сортів рису та ефективність застосування мінеральних добрив при їх вирощуванні.

## Методика

Дослідження проводили на дослідному полі Інституту рису НААН у 2019-2021 рр. у стаціонарній рисовій сівозміні Інституту рису НААН з наступним чергуванням культур: 1 – люцерна, 2 – рис, 3 – рис, 4 – пшениця озима, 5 – рис, 6 – ячмінь ярий, 7 – рис, 8 – ячмінь ярий з підсівом люцерни.

Досліди були закладені з дотриманням загальноприйнятих вимог методики дослідної справи [6]. Ґрунт дослідного поля – лучно-каштановий залишково-солонцюватий.

У дослідях висівали шість сортів рису: Онтаріо, Маршал, Віконт (середньостиглі), Дебют, Корсар, Лазуріт (ранньостиглі).

Сівбу сортів рису проводили при переході середньодобової температури повітря через 10-12°C. Здійснювали її сівалкою «Клєн»-1,5П вздовж ділянок. Норма висіву насіння – 7 млн. схожих насінин /га.

3 includes plants that most intensively accumulate plastic substances in the second half of the grain filling phase; they are suitable for growing in wet conditions of the woodlands, where the HTC is above 1.0 [5].

However, the disadvantage of this method of agro-ecological classification is that it is suitable only for upland crops, for which available water is the limiting factor. It only allows for the zoning of cultivars and hybrids of agricultural crops by climatic zones depending on HTC, but does not take into account the peculiarities of such a crop as rice in flooding conditions. After all, this crop is fully supplied with water during the growing period and the main limiting factor for rice is temperature.

Considering this, with the development of new rice cultivars, it became vital to determine the types of agro-ecological attribution of rice cultivars with due account for improved regimens of plant fertilization in the Southern Steppe of Ukraine.

The purpose of our study was to determine the suitability of rice cultivars for growing in flooded conditions depending on the climatic peculiarities of a location and to describe their responses to fertilization in the Southern Steppe of Ukraine. For this purpose, the grain filling patterns and the effectiveness of mineral fertilizers were evaluated for different rice cultivars.

## Methods

The study was conducted in the experimental field of the Institute of Rice of NAAS in 2019-2021. The study was carried out in the stationary rice crop rotation of the Institute of Rice of NAAS, where the crops were rotated as follows: 1 – alfalfa, 2 – rice, 3 – rice, 4 – winter wheat, 5 – rice, 6 – spring barley, 7 – rice, 8 – spring barley with complementary seeded alfalfa.

The experiments were carried out in compliance with the traditional requirements for experimentation [6]. The soil in the experimental field was meadow-chestnut, residual solonchak-like soil.

In the experiments, six rice cultivars were sown: ‘Ontario’, ‘Marshal’, ‘Vikont’ (medium-ripening), ‘Debiut’, ‘Korsar’, and ‘Lazuryt’ (early-ripening).

The rice cultivars were sown when the average daily air temperature was at least 10-12°C.

Мінеральні добрива в дослідах були внесені вручну перед сівбою рису. Водний режим встановлено за типом “укорочене затоплення” відразу після сівби рису. Збирання урожаю проводили при повній стиглості зерна комбайном «Янмар» з наступним перерахунком на 14% вологість та 100% чистоту зерна.

Для визначення агроєкологічної належності сорту рису використовували методику В.М. Костромітіна [7]. Протягом фази наливу зерна через кожні чотири дні відбирали зерно з верхнього ярусу волотей по 10 г. Потім його висушували в сушильній шафі до абсолютно сухого стану. Після цього зважували, підраховували кількість зерен та визначали масу 1000 абсолютно сухих зерен за формулою:

$M_{1000 \text{ abs. сух.}} = M_z \times 1000 / K_z$ , де

$M_{1000 \text{ abs. сух.}}$  – маса 1000 абсолютно сухих зерен, г;

$M_z$  – маса зерен після висушування, які було відібрано з волотей, г;

$K_z$  – кількість зерен в наважці (10 г зерен), яку було відібрано з волотей, шт.

Після отримання даних за масою 1000 абсолютно сухих зерен протягом фази наливу зерна будували графік динаміки наливу зерна та визначали агроєкологічну належність сорту рису.

Технологія вирощування рису загальноприйнята для зони південної частини Степу України, окрім варіантів, що досліджували [1].

За погодними умовами 2019-2021 рр. характеризувалися наступними показниками. 2019 рік характеризувався як досить жарким протягом вегетації (середньодобова температура повітря майже завжди перевищувала багаторічні показники) та посушливим в період II декади червня – I декади серпня. Тому умови не сприяли активному розвитку пірікуляріозу протягом вегетації посівів рису. Лише період з II по III декади травня 2012 р. виявився досить вологим – сума опадів становила 45,0 та 42,8 мм, а середньодобова температура повітря була нижчою за середню багаторічну на 1,8°C та 1,7°C, відповідно, що зумовило зниження ростових процесів у рослин рису. Сума активних температур з III декади квітня по III декаду вересня становила 3268,0°C. 2020 рік характеризувався як досить жаркий протягом першої половини вегетації (середньодобова температура повітря майже завжди

The cultivars were sown with a Klyon-1.5P seeder along the plots. The seed rate was 7,000,000 germinable seeds/ha.

Mineral fertilizers in the experiments were applied manually before sowing. The water mode was as "short flooding" immediately after sowing rice. Rice was harvested with a Yanmar harvester when the grain was fully ripe, with subsequent conversion to 14% moisture content and 100% grain purity.

V.M. Kostromitin's method was used to determine the agro-ecological attribution of the rice cultivars [7]. During the grain filling phase, 10 g of grain was taken from the upper tier of panicles every four days. Then it was dried in a drying cabinet until completely dry. Afterwards, kernels were weighed and counted; the weight of 1,000 completely dry kernels was calculated using the following formula:

$W_{1000 \text{ abs. dry}} = W_k \times 1000 / N_k$ , where

$W_{1000 \text{ abs. dry}}$  – weight of 1,000 completely dry kernels, g;

$W_k$  – weight of sampled kernels after drying, g;

$N_k$  – number of sampled kernels in a weighed portion (10 g).

Using data on the 1,000 dry kernel weights throughout the grain filling phase, we plotted a graph of grain filling over time and determined the agro-ecological attribution of the rice cultivars.

The rice cultivation technology was traditional for the Southern Steppe of Ukraine, except for the factors studied [1].

The weather conditions in 2019-2021 are described as follows: 2019 was quite hot during the growing period (the mean daily air temperature was almost always higher than the multi-year average) and dry from the second 10 days of June to the first 10 days of August. Hence, the conditions did not favour intensive development of rice blast during the growing period. Only the second 10 days and the third 10 days of May 2019 turned out to be quite wet: the precipitation amount was 45.0 and 42.8 mm, respectively, and the mean daily air temperature was lower than the multi-year average by 1.8°C and 1.7°C, respectively, slowing down growth processes in rice plants. The sum of active temperatures from the third 10 days of April to the third 10 days of September was 3,268.0°C. 2020 was characterized as quite hot during the first half of the growing period (the mean daily air temperature almost always exceeded the multi-year average) and cool and humid from the first 10 days of July to the second 10 days of September. During

перевищувала багаторічні показники) та прохолодний і вологий в період з I декади липня до II декади вересня. Лише за період з II декади серпня і до кінця вегетації посівів рису випало опадів 95,7 мм, що ускладнило налив зерна. Тому такі погодні умови сприяли активному розвитку пірікуляріозу у фазі наливу зерна. Також слід відзначити, що середньодобова температура повітря III декади липня була нижчою від середньої багаторічної на 1,1°C. 2021 р. характеризувався як досить прохолодним протягом вегетації та вологим в період I-II декади травня, що негативно вплинуло на сходи рису та подовжило вегетаційний період рослин. Середньодобова температура повітря була нижчою від норми на 1,2-2,2°C. Також у II-III декаді червня випала значна кількість опадів (в сумі 102,4 мм). Такі погодні умови сприяли активному розвитку пірікуляріозу у фазі кушіння. Період у вересні 2021 р. виявився посушливим, що зумовило оптимальні умови для росту та розвитку рослин рису у фазі наливу зерна. Сума активних температур з I липня до II декади вересня становила 1788°C.

Повторність у досліді – триразова. Загальна площа ділянки 30 м<sup>2</sup>, облікова площа ділянки – 24 м<sup>2</sup> (16,0 × 1,5 м). Усі математичні та статистичні розрахунки проводили у програмах Microsoft Office Excel та Statistica 6.

### Результати та обговорення

За різними літературними джерелами в різних країнах оптимальна доза азотно-фосфорних добрив для рису є досить різною. Так, зокрема деякі автори стверджують, що вона становити N120-150P50-60 [8]. Згідно з іншими джерелами доза добрив повинна бути на рівні N110P45, але вона повинна бути розподілена на три внесення рівномірно у фазах сходів, кушіння та наливу зерна [9]. За даними наших досліджень в умовах Півдня України у 2019-2021 рр. було встановлено, що урожайність сортів рису перебувала в прямій залежності від доз азотних добрив, строків їх внесення. Від виду азотних добрив цей показник менше залежав. Найбільший рівень урожайності був на фоні N120 за дворазового підживлення азотом. Так, наприклад, на цьому фоні живлення урожайність у сорту Віконт становила 11,27 т/га, у сорту Корсар – 9,62 т/га, у сорту Лазурит – 8,99 т/га, у сорту Дебют – 7,06 т/га, у сорту Маршал – 9,77 т/га, у сорту Онтаріо – 9,24 т/га (таблиця). Крім того слід відзначити, що за багаторічними

the period from the second 10 days of August to the end of the rice growing period, 95.7 mm of rain only fell, making grain filling difficult. Such weather conditions contributed to the intensive development of rice blast during the grain filling phase. It should also be noted that the mean daily air temperature during the third 10 days of July was lower than the multi-year average by 1.1°C. 2021 was characterized as rather cool during the growing period and wet during the first and second 10 days of May, which had a negative effect on the rice germination and extended the growing period. The mean daily air temperature was 1.2-2.2°C lower than the multi-year average. In addition, a considerable amount of precipitation (102.4 mm in total) fell during the second and the third 10 days of June. Such weather conditions contributed to the intensive development of rice blast in the tillering phase. September 2021 turned out to be arid, meaning the optimal conditions for the growth and development of rice plants in the grain filling phase. The sum of active temperatures from 1st July to the second 10 days of September was 1,788°C.

The experiments were carried out in three replications. The total area of the plot was 30 m<sup>2</sup>; the record area was 24 m<sup>2</sup> (16.0 × 1.5 m). All mathematical and statistical calculations were performed in Microsoft Office Excel and Statistica 6.

### Results and Discussion

In a number of publications in different countries, the optimal dose of nitrogen-phosphorus fertilizers for rice differed considerably. Some authors reported that it was N120-150P50-60 [8]. According to other references, the fertilizer dose should be N110P45, but it should be divided into three applications evenly in the sprouting, tillering and grain filling phases [9]. Our studies in the South of Ukraine in 2019-2021 showed that the yields of rice cultivars directly depended on doses of nitrogen fertilizers and time of their application. The yields depended on the type of nitrogen fertilizers to a lesser extent. The highest yield was harvested after N120 application and double additional fertilization with nitrogen. For example, in this variant of fertilization, cv. 'Vikont' yielded 11.27 t/ha; cv. 'Korsar' - 9.62 t/ha; cv. 'Lazuryt' - 8.99 t/ha; cv. 'Debiut' - 7.06 t/ha; cv. 'Marshal' - 9.77 t/ha; and cv. 'Ontario' - 9.24 t/ha (Table). In addition, it should be noted that according to long-term

даними для сортів Маршал та Онтаріо основне внесення азотних добрив у формі сульфату амонію було більш ефективним порівняно з карбамідом. Так, урожайність у варіанті N120(сульфат амонію)P30 становила 7,76 та 7,41 т/га відповідно, а у варіанті N120(карбамід)P30 – 7,53 та 7,28 т/га, відповідно. Для сортів Віконт, Корсар та Лазуріт більш ефективним було основне внесення сульфату амонію. Так, урожайність при цьому становила 9,33, 7,99 та 7,27 т/га, відповідно. У сорту Дебют більша продуктивність була у варіанті N120(карбамід)P30 і становила 6,03 т/га, що на 0,37 т/га менше ніж у варіанті N120(сульфат амонію)P30.

Також необхідно відзначити, що було досить ефективним підживлення посівів азотом та давало досить значні прибавки урожайності. Так, у сортів Дебют, Маршал, Онтаріо, Віконт, Корсар, Лазуріт на фоні N120P30 за одноразового підживлення прибавка урожайності становила 0,65, 0,92, 0,76, 1,23, 1,41 та 1,05 т/га відповідно, а за дворазового – 1,40, 2,01, 1,83, 1,94, 1,63 та 1,72 т/га відповідно. При цьому слід відзначити, що підживлення азотними добривами було більш ефективним в період, коли середньодобові температури підвищувалися.

data on cvs. ‘Marshal’ and ‘Ontario’, the basic application of ammonium sulphate as nitrogen fertilizer was more effective compared to urea. Thus, the yield in the N120 (ammonium sulphate) P30 variant was 7.76 and 7.41 t/ha, respectively, while in the N120 (urea)P30 variant, it was 7.53 and 7.28 t/ha, respectively. For cvs. ‘Vikont’, ‘Korsar’, and ‘Lazuryt’, the basic application of ammonium sulphate was more effective: the yield was 9.33, 7.99, and 7.27 t/ha, respectively. Cultivar ‘Debiut’ yielded more in the N120 (urea)P30 experiment (6.03 t/ha), but it was 0.37 t/ha less than in the N120(ammonium sulphate) P30 experiment.

It should also be noted that nitrogen fertilization was quite effective, ensuring a quite considerable gain in the yield. Thus, in cvs. ‘Debiut’, ‘Marshal’, ‘Ontario’, ‘Vikont’, ‘Korsar’, and ‘Lazuryt’ fertilized with N120P30 as a single dose, the yield was increased by 0.65, 0.92, 0.76, 1.23, 1.41, and 1.05 t/ha respectively; when N120P30 was supplemented with two fertilizations, the yield was increased by 1.40, 2.01, 1.83, 1.94, 1.63 and 1.72 t/ha, respectively. At the same time, it should be noted that nitrogen fertilization was more effective during the period when the mean daily temperature were elevated.

**Таблиця 2.** Урожайність рису залежно від доз добрив, 2019-2021 рр.

**Table 2.** Rice yield depending on fertilizer doses, 2019-2021

Варіанти (A) / Variants (A)	Сорт (B) / Cultivar (B)					
	Дебют / Debiut	Маршал / Marshal	Онтаріо / Ontario	Віконт / Vikont	Корсар / Korsar	Лазуріт / Lazuryt
Без добрив / No fertilization	3.76	5.99	6.00	7.06	5.74	5.38
N <sub>0+30</sub>	4.49	6.60	6.49	7.43	6.20	5.69
N <sub>0+30+30</sub>	5.76	7.39	7.04	8.51	7.62	7.04
N <sub>60</sub> P <sub>30</sub>	4.76	6.61	6.25	8.14	6.25	5.95
N <sub>60+30</sub> P <sub>30</sub>	5.28	7.35	6.99	8.52	6.98	6.36
N <sub>60+30+30</sub> P <sub>30</sub>	6.04	8.70	7.90	9.47	8.14	7.39
N <sub>120</sub>	5.30	7.50	7.27	8.77	7.69	7.22
N <sub>120</sub> (ammonium sulphate)P <sub>30</sub>	5.66	7.76	7.41	9.33	7.99	7.27
N <sub>120</sub> (urea)P <sub>30</sub>	6.03	7.53	7.28	8.96	7.53	6.88
N <sub>120+30</sub> P <sub>30</sub>	6.31	8.57	8.17	10.56	9.40	8.32
N <sub>120+30+30</sub> P <sub>30</sub>	7.06	9.77	9.24	11.27	9.62	8.99
N <sub>180</sub> P <sub>30</sub>	6.70	8.59	8.60	10.55	9.11	8.07
HIP <sub>05</sub> / LSD <sub>05</sub>	A – 0.15; B – 0.14; AB – 0.24					

Внесення азоту спільно з фосфором було ефективним лише для сортів Дебют, Маршал, Віконт та Корсар. Так, прибавка урожайності від фосфорних добрив у сорту Віконт

The combined application of nitrogen and phosphorus was only effective for cvs. ‘Debiut’, ‘Marshal’, ‘Vikont’, and ‘Korsar’. Thus, the yield increase from phosphorus fertilizers in cv.



становила 0,56 т/га, у Дебют – 0,36 т/га, у сорту Маршал – 0,26 т/га, у сорту Корсар – 0,30 т/га. У сортів Лазурит та Онтаріо прибавка урожайності була в межах НР0.05.

При цьому слід відзначити, що використання мінеральних добрив збільшувало кількість продуктивних стебел на 33,2-63,1%. Коефіцієнт продуктивного кушіння був більшим у сорту Дебют – 1,68-2,47, порівняно із сортами Маршал (1,27-2,25) та Онтаріо (1,18-1,80). Найкраще процеси кушіння проходили за дворазового підживлення посівів. Так, на N120P30 за дворазового підживлення коефіцієнт кушіння залежно від сорту становив від 1,71 до 2,47. Також за інтенсивного удобрення маса зерна з волоті збільшувалася на 3,8-50,0%.

Продуктивність сортів рису і їх реакція на добрива залежить від агроекологічних особливостей. Зважаючи на це, ми порівняли динаміку накопичення сухої речовини у трьох сортів рису (Дебют, Онтаріо і Маршал), що відрізняються за агроекологічними особливостями. За результатами досліджень 2019-2021 рр. особливостей наливу зерна було встановлено, що у сорту Дебют накопичення сухих речовин в зерні практично припинялося на початку воскової стиглості. Так, максимальна маса 1000 абсолютно сухих зерен становила 29,0 г на фоні N0+30P30 (рис. 1). Лише на фоні N120+30+30P30 налив зерна продовжувався до середини воскової фази. Слід відзначити, що активно процеси наливу розпочалися в першій половині молочної стиглості зерна, що свідчить про здатність сорту швидко накопичувати поживні речовини.

Отже, у сорту Дебют, налив зерна проходив у фазі молочної стиглості та практично припиняв на початку фази воскової стиглості, тому він придатний для вирощування у найбільш північних зонах поширення цієї культури в Україні, а також придатний до пізніх строків сівби.

У сорту Онтаріо накопичення сухих речовин в зерні продовжувалося до середини воскової стиглості. Так, максимальна маса 1000 абсолютно сухих зерен становила 26,3 г на фоні N0+30P30 (рис. 2). Лише на фоні N120+30+30P30 налив зерна продовжувався до кінця воскової фази. При цьому слід відзначити, що процеси наливу зерна проходили практично рівномірно протягом молочної та першої половини воскової фази стиглості зерна.

‘Vikont’ was 0.56 t/ha; cv. ‘Debiut’ yielded 0.36 t/ha more; cv. ‘Marshal’ - 0.26 t/ha more; and cv. ‘Korsar’ - 0.30 t/ha more. In cvs. ‘Lazuryt’ and ‘Ontario’, the yield increase was within the LSD0.05 limits.

At the same time, it should be noted that mineral fertilizers increased the number of productive stems by 33.2-63.1%. The productive tillering coefficient was higher cv. ‘Debiut’: 1.68-2.47 vs. 1.27-2.25 in cv. ‘Marshal’ and 1.18-1.80 in cv. ‘Ontario’. The tillering processes occurred in the best way with two-time application of fertilizers. The tillering coefficient varied from 1.71 to 2.47 in different cultivars when N120P30 was supplemented with double fertilization. In addition, with intensive fertilization, the kernel weight per panicle increased by 3.8-50.0%.

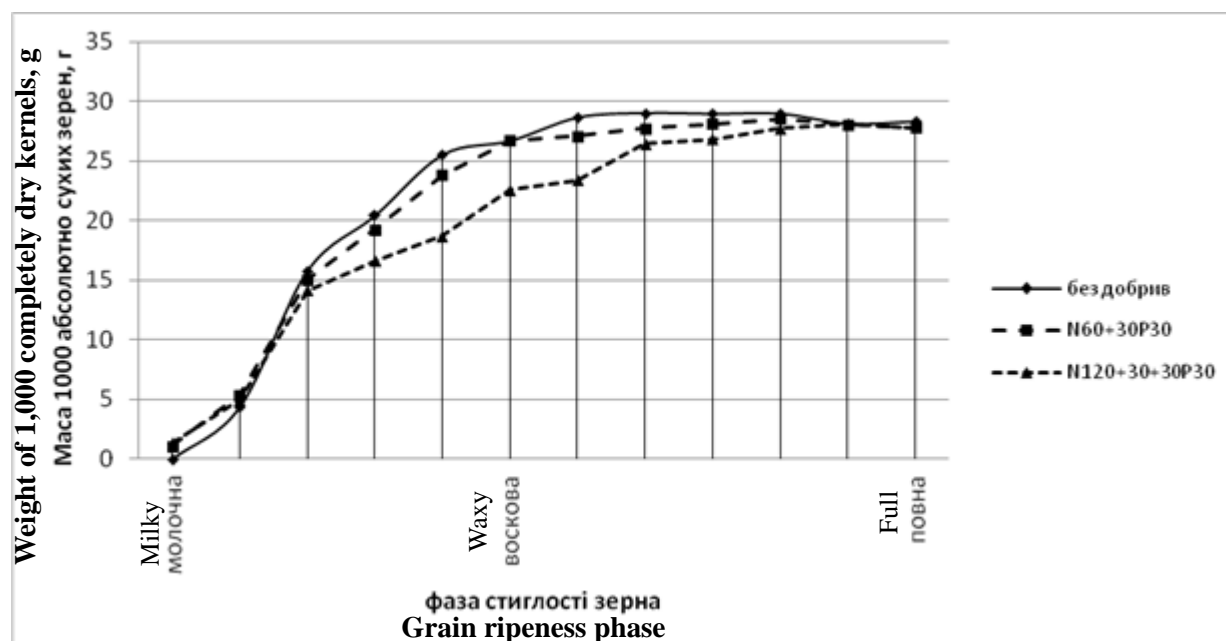
The performance of rice cultivars and their responses to fertilizers depend on agro-ecological features. With this in mind, we compared the dry matter accumulation over time in three rice cultivars (‘Debiut’, ‘Ontario’, and ‘Marshal’), which differed in agro-ecological features. The grain filling peculiarities were studied in 2019-2021 and the results demonstrated that that in cv. ‘Debiut’, the dry matter accumulation in grain almost stopped at the beginning of waxy ripeness. The maximum weight of 1,000 absolutely dry kernels was 29.0 g in the N0+30P30 experiment (Fig. 1). The grain filling phase only continued until the middle of the waxy phase in the N120+30+30P30 experiment. It should be noted that the grain filling processes actively started in the first half of the grain milky ripeness, indicating the cultivar’s ability to quickly accumulate nutrients.

So, in cv. ‘Debiut’, grain was filled in the milky ripeness phase and almost ceased at the beginning of the waxy ripeness phase; hence, this cultivar is suitable for cultivation in the most northern zones of this crop cultivation in Ukraine; it is also suitable for late sowing.

In cv. ‘Ontario’, the dry matter accumulation in grain continued until the middle of waxy ripeness. The maximum weight of 1,000 completely dry kernels was 26.3 g in the N0+30P30 variant (Fig. 2). Only in the N120+30+30P30 variant, the grain filling continued until the end of the waxy phase. At the same time, it should be noted that the grain filling processes occurred almost evenly during the milky phase and the first half of the waxy ripeness phase.

Отже, у сорту Онтаріо найбільш активно налив зерна проходив у фазі молочної стиглості і першій половині фази воскової стиглості та практично припинявся на початку другої половини фази воскової стиглості, тому він придатний для вирощування у центральній та південній частині Степу України.

Therefore, in cv. 'Ontario', grain was filled most intensively in the milky ripeness phase and the first half of the waxy ripeness phase but almost stopped at the beginning of the second half of the waxy ripeness phase; therefore, this cultivar is suitable for growing in the central and southern parts of the Ukrainian steppe.



**Рис. 1.** Динаміка накопичення абсолютно сухої маси в зерні рису сорту Дебют залежно від фону живлення, 2019-2021 рр.

**Fig. 1.** Accumulation of absolutely dry mass in rice cv. 'Debiut' grain over time on different fertilization regimens, 2019-2021

У сорту Маршал накопичення сухих речовин в зерні продовжувалося практично до кінця воскової стиглості. Так, максимальна маса 1000 абсолютно сухих зерен становила 25,0 г на фоні N120+30+30P30 наприкінці цієї фази (рис. 3). Слід відзначити, що процеси наливу зерна проходили рівномірно протягом всього періоду наливу зерна, що свідчить про повільний перебіг процесів накопичення поживні речовини. Також на інтенсивних фонах живлення практично в усіх сортів спостерігали поступове накопичення абсолютно сухої маси протягом фази наливу зерна.

Отже, у сорту Маршал налив зерна активно проходив в період від фази молочної стиглості до кінця фази воскової стиглості, тому він придатний для вирощування в південних зонах поширення цієї культури в Україні, а також вимагає більш ранніх строків сівби.

Крім того, сорт Дебют, який швидко накопичував запасні речовини в зерні, можна

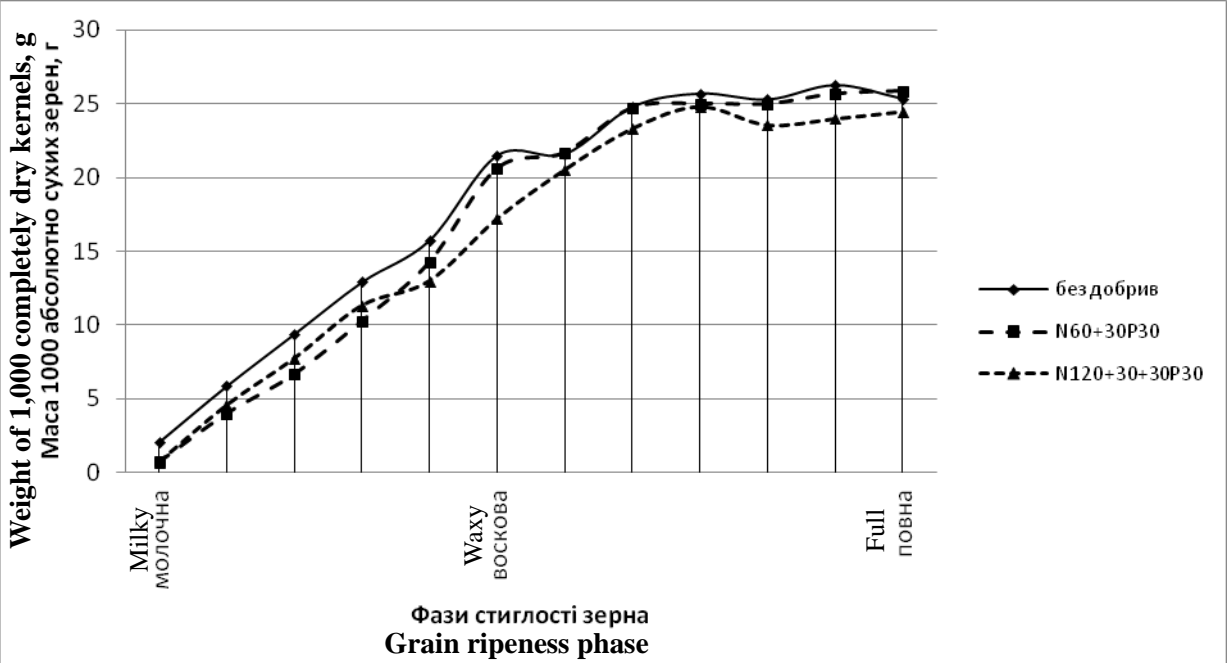
In cv. 'Marshal', the dry matter accumulation in grain continued almost until the end of waxy ripeness phase. The maximum weight of 1,000 completely dry kernels was 25.0 g at the end of this phase in the N120+30+30P30 experiment (Fig. 3). It should be noted that the grain filling processes occurred uniformly during the entire period of grain filling, indicating a slow accumulation of nutrients. In addition, on intensive fertilization, a gradual accumulation of completely dry mass was observed during the grain filling phase in almost all cultivars.

So, in cv. 'Marshal', an intensive grain filling occurred from the milky ripeness phase to the end of the waxy ripeness phase; therefore, this cultivar is suitable for cultivation in the southern zones of this crop cultivation in Ukraine; it also requires earlier sowing timeframes.

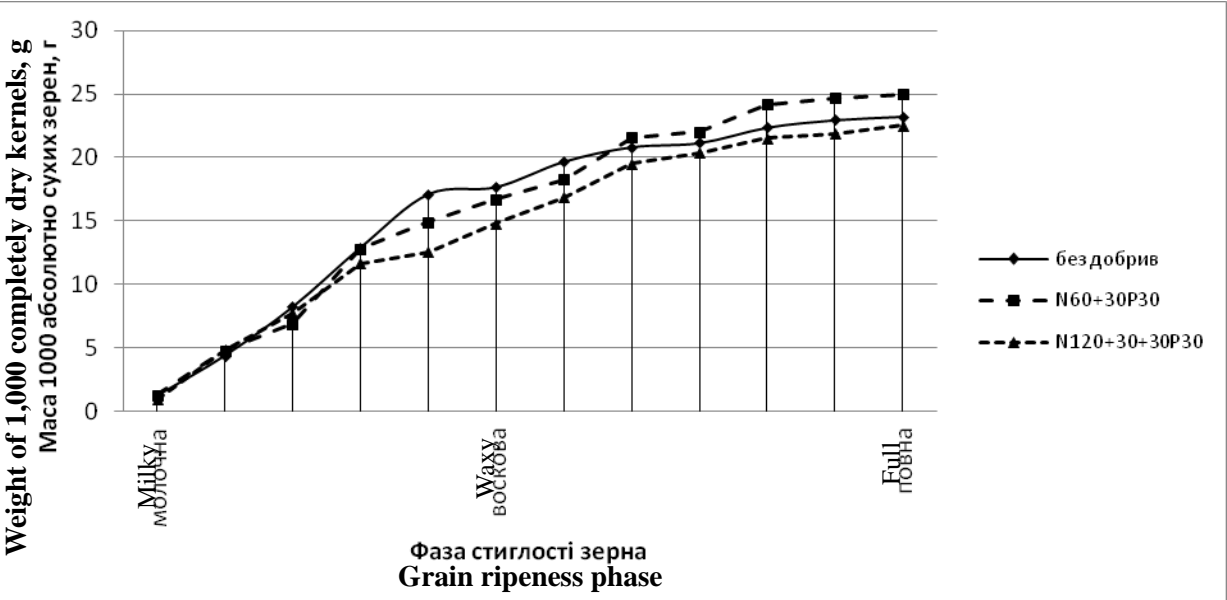
In addition, cv. 'Debiut', which quickly accumulated reserve substances in grain, can be considered as most resistant to temperature

вважати найбільш стабільним до температурного стресу через те, що він здатний пройти фазу наливу зерна до зниження середньодобових температур.

stress due to the fact that it is able to go through the grain filling phase before the mean daily temperature drops.



**Рис. 2.** Динаміка накопичення абсолютно сухої маси в зерні рису сорту Онтаріо залежно від фону живлення, 2019-2021 рр.  
**Fig. 2.** Accumulation of absolutely dry mass in rice cv. 'Ontario' grain over time on different fertilization regimens, 2019-2021



**Рис. 3.** Динаміка накопичення абсолютно сухої маси в зерні рису сорту Маршал залежно від фону живлення, 2019-2021 рр.  
**Fig. 3.** Accumulation of absolutely dry mass in rice cv. 'Marshal' grain over time on different fertilization regimens, 2019-2021

Сорт Маршал, навпаки, можна вважати найменш стійким до стресових температур через те, що в нього процеси наливу зерна проходили за пониженого температурного режиму, що в роки з раннім зниженням середньодобових температур не дає змоги реалізувати його потенціал. Але у більш ранніх сортів, як правило, потенційна урожайність значно нижча. Тому сорт Онтаріо виявився найбільш оптимальним для нашої зони: налив зерна у нього відбувається до настання несприятливих умов.

За результатами цих досліджень у 2019-2021 рр. ми виділили три агроекологічні типи сортів рису – північний, помірний та південний.

Так, якщо налив зерна сортів рису в умовах затоплення, найбільш активно проходить у фазі молочної стиглості та практично припиняється на початку фази воскової стиглості, то такі сорти можна віднести до північного агроекологічного типу. Ці рослини швидко накопичують пластичні речовини в зерні, а значить проходять фазу наливу зерна до зниження середньодобових температур (для рису лімітуючим фактором є саме температурний режим). Сорти північного типу агроекологічної належності придатні для вирощування у північній частині зони поширення рису в Україні, а також придатні до пізніх строків сівби.

Якщо налив зерна сортів рису в умовах затоплення найбільш активно проходить у фазі молочної стиглості і першій половині фази воскової стиглості та практично припиняється на початку другої половини фази воскової стиглості, то такі сорти можна віднести до помірного типу агроекологічної належності. Сорти помірного типу агроекологічної належності придатні для вирощування у центральній та південній частині Степу України.

Зрештою, якщо налив зерна сортів рису в умовах затоплення, активно проходить від фази молочної стиглості до кінця фази воскової стиглості, то такі сорти можна віднести до південного типу агроекологічної належності. Ці рослини повільно накопичують пластичні речовини в зерні, а значить не завжди можуть пройти фазу наливу зерна до зниження середньодобових температур. Також цей тип можна вважати найменш стійким до несприятливого температурного режиму. Сорти південного типу агроекологічної належності придатні для вирощування в південній частині зони поширення рису, а також вимагають більш ранніх строків сівби.

On the contrary, cv. 'Marshal' can be considered as least resistant to stressful temperature because in years with an early decrease in the mean daily temperature, when its grain was filled at low temperatures, this cultivar cannot fulfil its potential. However, in more early-ripening cultivars, as a rule, the potential yield is much lower. That is why cv. 'Ontario' turned out to be most optimal for our zone: its grain is filled before the onset of unfavourable conditions.

Based on the results of these studies in 2019-2021, we identified three agro-ecological types of rice cultivars - northern, temperate, and southern.

Thus, if the grain filling in rice cultivars under flooding conditions occurs most intensively in the milky ripeness phase and almost stops at the beginning of the waxy ripeness phase, such cultivars can be attributed to the northern agro-ecological type. These plants quickly accumulate plastic substances in grain, meaning that they go through the grain filling phase until the mean daily temperatures drops (for rice, it is the temperature mode that is the limiting factor). Cultivars of the northern agro-ecological type are suitable for growing in the northern part of the rice cultivation zone in Ukraine, and can be also sown late.

If the grain filling in rice cultivars under flooding conditions occurs most intensively in the milky ripeness phase and the first half of the waxy ripeness phase, almost stopping at the beginning of the second half of the waxy ripeness phase, such cultivars can be attributed to the temperate agro-ecological type. Cultivars of the temperate agro-ecological type are suitable for growing in the Central and Southern Steppe of Ukraine.

Finally, if the grain filling in rice cultivars under flooding conditions intensively occurs from the milky ripeness phase to the end of the waxy ripeness phase, such cultivars can be attributed to the southern agro-ecological type. These plants accumulate plastic substances in grain slowly, meaning that they cannot always go through the grain filling phase before the mean daily temperatures drops. Also, this type can be considered as least resistant to adverse temperatures. Cultivars of the southern agro-ecological type are suitable for growing in the southern part of the rice cultivation zone; they also require earlier sowing timeframes.

## Висновки.

1. Найбільший рівень урожайності сорти рису забезпечували на фоні N120 за дворазового підживлення азотом: сорт Віконт – 11,27 т/га, сорт Корсар – 9,62 т/га, сорт Лазуріт – 8,99 т/га, сорт Дебют – 7,06 т/га, сорт Маршал – 9,77 т/га, сорт Онтаріо – 9,24 т/га.

2. Для сортів Віконт, Корсар та Лазуріт більш ефективним було в основне внесення сульфату амонію. Так, урожайність при цьому становила 9,33, 7,99 та 7,27 т/га відповідно. У сорту Дебют більша продуктивність була за варіанту N120(карбамід)P30 – 6,03 т/га. На урожайність сортів Маршал та Онтаріо вид добрив за основного внесення не впливав.

3. Дворазові підживлення посівів азотом на фоні N120P30 забезпечували значні прибавки урожайності сортів Дебют, Маршал, Онтаріо, Віконт, Корсар, Лазуріт, які становили 1,40, 2,01, 1,83, 1,94, 1,63 та 1,72 т/га відповідно.

4. Сорт Дебют належить до північного агроecологічного типу, Онтаріо – до помірного і сорт Маршал – до південного.

## Conclusions.

1. The greatest yield from the rice cultivars was harvested when they were double fertilized with nitrogen on N120 background: cv. 'Vikont' yielded 11.27 t/ha, cv. 'Korsar' - 9.62 t/ha, cv. 'Lazuryt' - 8.99 t/ha, cv. 'Debiut' - 7.06 t/ha, cv. 'Marshal' - 9.77 t/ha, and cv. 'Ontario' - 9.24 t/ha.

2. For cvs. 'Vikont', 'Korsar', and 'Lazuryt', it was more effective to apply ammonium sulphate as basic fertilization. In this variant they yielded 9.33, 7.99, and 7.27 t/ha, respectively. Cv. 'Debiut' yielded most (6.03 t/ha) when fertilized with N120 (urea)P30. The yields of cvs. 'Marshal' and 'Ontario' were not affected by fertilizer type used for basic fertilization.

3. Double fertilization with nitrogen on N120P30 background ensured a significant increase in the yields of cvs. 'Debiut', 'Marshal', 'Ontario', 'Vikont', 'Korsar' and 'Lazuryt': 1.40, 2.01, 1.83, 1.94, 1.63, and 1.72 t/ha, respectively.

4. Cv. 'Debiut' belongs to the northern agro-ecological type; cv. 'Ontario' - to the temperate type; and cv. 'Marshal' - to the southern type.

## References

1. Technology of rice cultivation with due account for the requirements of environment protection on farms of Ukraine / V. V. Dudchenko, M. M. Lisovyi, R., R.A. Vozhehova et al. - Skadovsk, AS. - 2011. - 84 p. [in Ukrainian]
2. Alyoshin Ye. P., Tur N. S. Effect of nitrogen on tillering intensity and rice yield. Trudy VNII Risa, 1971. - 1: 50-53. [in Russian]
3. Vantsovskiy A. A. Rice crop in Ukraine. Kherson: Ailant. 2004. - 172 p. [in Ukrainian]
4. Alyoshin Ye. P., Alyoshin I. Ye. Rice. Krasnodar: Inform - Tsentr, 1997. - 504 p. [in Russian]
5. Vorobyov N. V., Skazhenik M. Physiological basics of mineral nutrition of rice. Krasnodar, Mir Kubani, 2005. - 194 p. [in Russian]
6. Dospekhov B. A. Methods of field experimentationn. - M.: Kolos, 1979. - 416 p. [inn Russian]
7. Kostromitin V.M. Methods for determining agro-ecological plasticity of varieties: [Methodological recommendations]. Kharkiv, 1985. - 14 p. [in Russian]
8. THAU Agritech portal [Internet]. Crop Production: Cereals: Rice: Transplanted Puddled Lowland Rice: Rights Reserved. TNAU 2008 – 2022 [update on Dec 2022]. Available from: <https://agritech.tnau.ac.in/agriculture/>.
9. KAU Agri-Infotech Portal [Internet]. Centre for e-Learning Kerala Agricultural University. 2019 [update 2024 Sept 10]. Available from: <http://www.celkau.in/crops/Cereals/Rice/>.

Надійшла до редакції 15.06.2024 р.  
Received 15.06.2024

УДК 633.854.78:575:631.5

Р.А. Гутянський\*, В.П. Коломацька

## Вплив норм висіву на біометричні показники та врожайність нових гібридів соняшнику

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

\*E-mail: [rammale@ukr.net](mailto:rammale@ukr.net)

UDC 633.854.78:575:631.5

R.A. Hutianskyi\*, V.P. Kolomatska

## Effect of Seeding Rates on Biometric Parameters and Yield of New Sunflower Hybrids

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

\*E-mail: [rammale@ukr.net](mailto:rammale@ukr.net)

**Реферат:** Густота стояння рослин і система удобрення гібридів соняшнику розглядаються як одні із важливих елементів технології вирощування культури. Метою роботи було визначити вплив норм висіву та мінеральних добрив на біометричні показники та врожайність насіння нових районованих гібридів соняшнику в умовах Східного Лісостепу України. Дослідження проводили в 2021, 2023 рр. на дослідному полі Інституту рослинництва ім. В.Я. Юр'єва НААН України. Вивчали два класичні гібриди соняшнику олійного напрямку використання Ярило і Хорив, два фони живлення (без внесення добрив (контроль) та N30P30K30), чотири норми висіву (40, 50, 60 і 70 тис. схожих насінин на 1 га). Встановлено, що за норми висіву 70 тис. шт./га найвищими були рослини гібрида Хорив у контролі (165,8 см), а найнижчими – рослини гібрида Ярило на фоні N30P30K30 за норми висіву 60 тис. шт./га (139,2 см). Середня кількість листків на рослині гібрида Хорив була більшою (31,2 шт.), ніж у гібрида Ярило (30,4 шт.). Максимальну площу листової поверхні на рослину та на один гектар сформував гібрид Ярило на фоні N30P30K30 за норми висіву 40 тис. шт./га (9425,6 см<sup>2</sup> і 39,5 тис./м<sup>2</sup>, відповідно). Урожайність насіння гібрида Ярило була вищою за норми висіву 40 тис. шт./га і 50 тис. шт./га, особливо на фоні N30P30K30 (2,07 т/га і 2,02 т/га, відповідно). У гібрида Хорив урожайність насіння була найвищою в контролі за норми висіву 70 тис. шт./га (2,19 т/га), а на фоні N30P30K30 – за норми висіву 40 тис. шт./га (2,24 т/га). Отже, формування висоти рослин, кількості листків, площі листової поверхні та врожайності насіння соняшнику залежало від гібридних особливостей культури, удобрення та густоти стояння рослин.

**Ключові слова:** *Helianthus annuus* L., гібрид, удобрення, норма висіву, висота рослин, листової поверхня, врожайність насіння.

**Abstract:** Plant density and fertilization regimens are considered as important elements of the sunflower hybrid cultivation technology. The purpose of this study was to evaluate the effect of seeding rates and mineral fertilizers on biometric parameters and seed yield of new zoned sunflower hybrids in the Eastern Forest-Steppe of Ukraine. The study was conducted in an experimental field of the Yuriev Plant Production Institute of NAAS of Ukraine in 2021 and 2023. We studied two classic oil sunflower hybrids ('Yarylo' and 'Khoryv'), two fertilization regimens (without fertilization (control) and N30P30K30), and four seeding rates (40,000, 50,000, 60,000, and 70,000 germinable seeds per 1 ha). The tallest plants (165.8 cm) were recorded for hyb. 'Khoryv' sown at a seeding rate of 70,000 seeds/ha in the control and the shortest ones – for hyb. 'Yarylo' (139.2 cm) sown at the seeding rate of 60,000 seeds/ha hybrid and fertilized with N30P30K30. The mean number of leaves per plant was greater in hyb. 'Khoryv' (31.2 leaves) than in hyb. 'Yarylo' (30.4). The maximum leaf area per plant and per hectare was formed by hyb. 'Yarylo' sown at the seeding rate of 40,000 seeds/ha and fertilized with N30P30K30 (9,425.6 cm<sup>2</sup> and 39,500 m<sup>2</sup>, respectively). Hyb. 'Yarylo' yielded more seeds when sown at the seeding rates of 40,000 seeds/ha and 50,000 seeds/ha, especially after N30P30K30 fertilization (2.07 t/ha and 2.02 t/ha, respectively). Hyb. 'Khoryv' yielded more seeds in the control when sown at the seeding rate of 70,000 seeds/ha (2.19 t/ha) and

in the N30P30K30 experiment when sown at the seeding rate of 40,000 seeds/ha (2.24 t/ha). Therefore, the sunflower plant height, number of leaves, leaf area, and seed yield depended on hybrid features, fertilization, and plant density.

**Key words:** *Helianthus annuus* L., hybrid, fertilizer, seeding rate, plant height, leaf area, seed yield.

Площі посівів соняшнику (*Helianthus annuus* L.) в Україні, Європі та світі мають тенденцію до зростання. З 2010 до 2021 рр. це зростання в Європі становило 49 %, у світі – 28 %. В Україні за даний період площі посівів соняшнику збільшились у 1,5 раза. Збільшення площ вирощування супроводжується і зростанням врожайності насіння соняшнику. Урожайність насіння соняшнику в Україні у середньому за вказаний період становить 2,07 т/га. Збільшення посівних площ та рівня врожайності зумовлює і зростання обсягів виробництва насіння соняшнику. У 2021 р. світове виробництво, порівняно з 2010 р., збільшилось в 1,8 раза. При цьому 63,3–75,7 % світового виробництва насіння соняшнику забезпечують країни Європи. В Європі обсяги виробництва за вказаний період зросли в 2,2 раза. Частка України в обсягах світового виробництва становить 25,5 %, а в обсягах європейського виробництва – 35,9 %. Такі обсяги виробництва пов'язані з економічною привабливістю соняшнику для сільгоспвиробників [1].

Економічна ефективність виробництва соняшнику залежить від рівня врожайності насіння. Норми висіву насіння, як фактор впливу на інтенсивність фотосинтезу, водоспоживання агроценозу в кінцевому рахунку визначають рівень формування врожайності агроценозом. Отримані багаторічні дані свідчать про специфічну реакцію різних гібридів та сортів соняшнику на дію різних норм висіву [2, 3].

Гібриди соняшнику різної селекції являють собою різноманітні екологічні біотики культури. Для них характерна різна реакція на зміну умов зовнішнього середовища. Зважаючи на це, формування оптимальної густоти стояння рослин соняшнику в посіві відіграє суттєву роль у забезпеченні оптимального перебігу фізіологічних процесів культури, що в результаті позначається на її продуктивності. Так, збільшення густоти посіву понад оптимальної норми призводить до збільшення витрати поживних речовин і води із ґрунту на формування вегетативних органів рослин, що, особливо в умовах недостатнього зволоження, зумовлює недобір урожаю насіння. Правильний вибір гібридів соняшнику, густоти стояння та способу розміщення дає змогу уникнути перегрівання ґрунту, яке спричиняє порушення водообміну в рослин, а умови

The sunflower (*Helianthus annuus* L.) acreage in Ukraine, Europe and the whole world tends to grow. From 2010 to 2021, it increased by 49% in Europe and by 28% in the world. In Ukraine, there was a 1.5-fold increase in the crop acreage during this period. The acreage enlargement is associated with an increase in sunflower seed yields. In the specified period, the average yield of sunflower seeds in Ukraine was 2.07 t/ha. Increased acreages and yields lead to a rise in sunflower seed production. In 2021, the global production increased by 1.8 times, compared to 2010. Here, European countries provide 63.3–75.7% of the global production of sunflower seeds. In Europe, there was a 2.2-fold rise in the production volume during the specified period. The share of Ukraine is 25.5% and 35.9% in the global production volume and in the European production volume, respectively. Such production volumes are related to the economic attractiveness of sunflower for agrarians [1].

The economic efficiency of sunflower production depends on seed yield. Seeding rates, as a factor influencing photosynthesis intensity and water consumption by an agroecosystem, ultimately determine the yield produced by this agroecosystem. Long-term data indicate that different sunflower hybrids and varieties respond specifically to various seeding rates [2, 3].

Sunflower hybrids bred in different locations represent different ecological biotypes of the crop. They respond differently to changing environmental conditions. Considering this, the optimal density of sunflower plants in the field is very important for optimal levels of physiological processes, finally affecting the crop productivity. Thus, when the plant density is increased above the optimum, the consumption of nutrients and water from soil is enhanced to form vegetative organs of plants, which, especially under insufficient wetting, reduces seed yields. Appropriate selection of sunflower hybrids, plant density and placement helps avoid soil overheating, which perturbs water metabolism in plants, and water metabolism and transpiration significantly affect photosynthesis [4, 5].

водообміну і транспірація істотно впливають на фотосинтез [4, 5].

Отже, щільність розташування рослин в ценозі є потужним фактором, що впливає на продуктивність соняшнику та її складові. Визначення оптимальної щільності для таких культур, як соняшник, вкрай необхідно. Так, для сортів ранньостиглої групи олійного призначення в зоні північно-східного Лісостепу України оптимальною щільністю стояння рослин, що забезпечує високий рівень продуктивності рослин, є 40–50 тисяч рослин на гектар [6].

За результатами польових досліджень встановлено, що при вирощуванні соняшнику на темно-каштановому ґрунті в неполивних умовах півдня України густоту стояння рослин слід коригувати залежно від генетичного потенціалу гібридів. Так, для гібрида Ясон оптимальною густотою стояння є 50 тис./га, а для гібрида Дарій – 40 тис./га. Найбільший вплив на формування врожайності насіння мали гібридний склад та добрива, частка впливу яких перевищувала 30 %, а в окремі роки – 35–40 %. Найбільшу олійність насіння (понад 40 %) одержано за підвищеної кількості опадів у період вегетації рослин [7, 8]. В умовах Південного Степу України найкращою нормою висіву соняшнику сорту Фушія КЛ є 50 тис. схожих насінин на 1 га [4]. Дослідженнями О.В. Швачка та Н.О. Новошинської також встановлено, що в умовах півдня України найбільшу урожайність (2,27 т/га) отримано за густоти стояння рослин 50 тис. шт./га [9]. За даними Г.В. Пінковського та співавторів, оптимальна густота сівби соняшнику для більшості гібридів у Правобережному Степу України становить 60 тис. шт./га [10, 11].

Дослідження показали, що найбільший урожай для зони сухого степу Казахстану отримано у гібрида соняшнику Baiterek 17 за строку сівби 15 травня та норми висіву 57 тис. насінин/га, а для зони степу – за строку сівби 10 травня та норми висіву 65 тис. насінин/га [12].

Отримані результати на фермі агрономічного факультету сільськогосподарського факультету Університету Асьют показали, що на висоту рослин, масу насіння на рослину, урожайність насіння, відсоток олії і вихід олії істотно впливала густота рослин соняшнику. Щільність посіву 20000 рослин/га дала найвищі середні значення врожайності насіння [13].

Дослідженнями М.І. Федорчук, М.А. Ковальова доведено, що найбільш економно використовували воду рослини високоолеїнових гібридів соняшнику з густотою стояння 60 тис./га. За їх розрахунками максимальний вплив на

Therefore, the plant density in a coenosis is a powerful factor affecting the sunflower productivity and its constituents. Determination of the optimal density for crops such as sunflower is vital. Thus, for early-ripening oil varieties grown in the Northeastern Forest-Steppe of Ukraine, the optimal plant density, which ensures a high productivity of plants, is 40,000–50,000 plants per hectare [6].

Based on field results, it was revealed that when sunflower is rainfed grown on dark chestnut soil in the South of Ukraine, the plant density should be adjusted depending on the genetic potential of a hybrid. For example, for hyb. ‘Yason’, the optimal plant density is 50,000 plants/ha, while for hyb. ‘Darii’, it is 40,000 plants/ha. Hybrid composition and fertilizers had the greatest impact on the seed yield: the contribution exceeded 30%, reaching 35–40% in some years. The highest oil content in seeds (over 40%) was achieved with increased rainfall during the growing period of plants [7, 8]. In the Southern Steppe of Ukraine, the best seeding rate for sunflower variety ‘Fushia KL’ is 50,000 of germinable seeds per 1 ha [4]. O.V. Shvachka and N.O. Novoshynska also reported that in the South of Ukraine, the greatest yield (2.27 t/ha) was harvested at a density of 50,000 plants/ha [9]. According to H.V. Pinkovskyi et al., the optimal seeding rate for most sunflower hybrids in the Right-Bank Steppe of Ukraine is 60,000 seeds/ha [10, 11].

A study showed that the greatest yield of sunflower seeds in the dry steppe of Kazakhstan was harvested from hyb. ‘Baiterek 17’ sown on May 15 at a seeding rate of 57,000 seeds/ha; in the steppe, that the greatest yield was harvested from hyb. ‘Baiterek 17’ sown on May 10 at a seeding rate of 65,000 seeds/ha [12].

Results obtained on the Agronomy Department farm of the Faculty of Agriculture of Assiut University showed that sunflower plant height, seed weight per plant, seed yield, oil percentage, and oil yield were significantly influenced by plant density. With a plant density of 20,000 plants/ha, the highest mean yield of seeds was harvested [13].

M.I. Fedorchuk and M.A. Kovaliov proved that plants of high-oleic sunflower hybrids used water most economically when grown at a density of 60,000 plants/ha. According to their calculations, the maximum effect (63.7%) on the seed yield was exerted by plant density, while the hybrid contribution was 27.3% [14].



формування врожаю насіння має густота стояння рослин 63,7 %, а на гібридний склад доводиться 27,3 % [14].

За даними О.І. Полякова, найбільшу урожайність гібридів соняшнику на дослідному полі Інституту олійних культур НААН отримано за густоти стояння 60 тис./га у варіантах з допосівною обробкою насіння (біологічне добриво Поліміксобактерин, 12 мл/кг). Зменшення до 40 тис./га або збільшення до 80 тис./га густоти стояння рослин призвело до зниження врожайності на 0,02–0,14 т/га [15].

Результати досліджень В.В. Борисенко свідчать, що у фазі утворення кошиків–цвітіння при густоті рослин 90 тис./га та ширині міжрядь 70 см площа листкової поверхні мала більші показники в ранньостиглого гібрида Заграва (80,7 тис. м<sup>2</sup>/га) та середньораннього гібрида Український F1 (78,0 тис. м<sup>2</sup>/га), порівняно з вирощуванням цих гібридів при густоті 70 тис./га і ширині міжрядь 70 см – 78,0 тис. м<sup>2</sup>/га та 69,9 тис. м<sup>2</sup>/га відповідно. Фотосинтетичний потенціал рослин соняшнику в зазначеній фазі також був вищим [16]. Водночас, публікації цього автора у співавторстві з іншими науковцями свідчать, що для вирощування обох гібридів в умовах Правобережного Лісостепу України оптимальною є густота 70 тис. рослин/га із шириною міжрядь 70 см, за яких максимально реалізується насіннєвий потенціал гібридів та формується максимальна кількість насіння [17], діаметр кошиків [18], вищі показники вмісту протеїну в насінні, більший показник збору протеїну та олії з одиниці площі та краща олійність соняшника [19].

За вирощування соняшнику в післяукісних посівах в умовах Східного Степу України спостерігалась перевага густоти стояння рослин 90 тис./га в усіх досліджуваних гібридів. Зниження густоти стояння рослин (до 70 тис./га та 50 тис./га) або її підвищення (до 110 тис./га) спричиняло зниження продуктивності на 0,9–13,7 % [20]. Показано також, що способи сівби (ширина міжрядь – від 15 см до 70 см) мало впливали на якість насіння, але в більшості років спостерігалось підвищення олійності на суцільному посіві. Загущення соняшнику (40; 50; 60; 70 тис./га) сприяє збільшенню олійності та зменшенню білковості насіння [21].

Важливим елементом технології вирощування соняшнику є також фон мінерального живлення. Результати досліджень на темно-каштанових ґрунтах південного регіону України показали, що оптимізація фону мінерального живлення сприяла збільшенню висоти рослин і площі листя. Обидва показники

According to O.I. Poliakov, the greatest yields of sunflower hybrids in the experimental field of the Institute of Oilseed Crops of NAAS were obtained at a density of 60,000 plants/ha in experiments with pre-sowing seed treatment (biofertilizer Polymyxobacterin, 12 mL/kg). A decrease in the density to 40,000 plants/ha or an increase to 80,000 plants/ha led to a reduction in the yield by 0.02–0.14 t/ha [15].

V.V. Borysenko's results indicate that in the "calathidium formation-anthesis" period at a plant density of 90,000 plants/ha and an inter-row width of 70 cm, leaves were larger in early-ripening hyb. 'Zahrava' (80,700 m<sup>2</sup>/ha) and in medium-early hyb. 'Ukrainskyi F1' (78,000 m<sup>2</sup>/ha) compared to the cultivation of these hybrids at a density of 70,000 plants/ha and an inter-row width of 70 cm (78,000 m<sup>2</sup>/ha and 69,900 m<sup>2</sup>/ha, respectively). The photosynthetic potential of sunflower plants in this phase was also higher [16]. At the same time, publications by this author in co-authorship with other scientists indicate that for the cultivation of both hybrids in the Right-Bank Forest-Steppe of Ukraine, the optimal density is 70,000 plants/ha and the optimal inter-row width is 70 cm: these conditions maximize the seed potential of the hybrids and ensure the maximum amount of seeds [17], the largest head diameter [18], higher protein and oil contents in seeds, and better collections of protein and oil per unit area [19].

Upon sunflower cultivation in stubble crops in the Eastern Steppe of Ukraine, the plant density of 90,000 plants/ha was beneficial for all studied hybrids. A decrease in the plant density (to 70,000 plants/ha and 50,000 plants/ha) or an increase (to 110,000 plants/ha) caused a reduction in productivity by 0.9–13.7% [20]. It was also shown that sowing methods (width between rows - from 15 cm to 70 cm) had little influence on seed quality, but in most years, the oil content was higher in the close-grown fields. The thickening of sunflower (40,000, 50,000, 60,000, and 70,000 plants/ha) helps to increase the oil content and decrease the protein content in seeds [21].

Mineral fertilization is also an important element of sunflower cultivation technology. Results of studies on dark chestnut soils of the southern region of Ukraine showed that optimized mineral fertilization made plants taller and leaves larger. Both parameters were maximized when hybs. 'Alambra KS' and 'Blyutuz hybrids' were fertilized with N90P60.

максимізувалися при вирощуванні гібридів Alambra KS та Blyutuz із внесенням добрив у дозі N90P60. Ці дослідні варіанти також забезпечили формування максимального рівня врожайності насіння та найвищих показників рентабельності на 1 кг діючої речовини добрив [22].

Результати досліджень показали, що середня густота рослин (приблизно 10 рослин на 1 м<sup>2</sup>) із помірною нормою N (приблизно 150 кг N на 1 га) може бути корисною для покращення росту, розвитку та загальної врожайності інокульованого соняшнику (біологічне добриво Nitroxin (містить *Azotobacter* sp. і *Azospirillum* sp.) в кількості 1 літр на 30 кг насіння) [23].

В умовах Тімішоари внесення комбінованих добрив (N50P50K0 та N50P50K50) вплинуло на 78,55% мінливості врожайності гібрида соняшнику NK Neoma, що є значно вищим порівняно з густотою посіву (70 × 29 см, що давало 49261 проростаючих ядер на 1 га; 70 × 26,5 см – 53908 на 1 га; 70 × 24 см – 59524 на 1 га; 70 × 21,4 см – 66756 на 1 га) та впливом обробітку ґрунту (оранка, фрезування та фрезування + оранка). Збільшення густоти за рахунок зменшення відстані між рослинами з 29 см до 24 см або 21,4 см позитивно впливало на врожайність соняшнику. Застосування різних NPK привело до значного підвищення врожайності на 45–46 % порівняно з неудобреною ділянкою. Обробіток ґрунту суттєво не вплинув на врожайність соняшнику [24].

Оптимізація сільськогосподарських ресурсів, таких як рівень добрив і густота рослин, показала, що завдяки густому посіву (відстань між рослинами – 15 см) та задоволенню потреби соняшнику в P (30,8 кг/га) і K (41,5 кг/га) норма внесення N може бути значно зменшена (62,3 кг/га) разом із отриманням прийнятного врожаю насіння (3797 кг/га) [25].

Два польових досліди, проведені в дослідному господарстві Саханської сільськогосподарської дослідної станції, показали, що збільшення внесення азотних добрив із 72 до 168 кг N/га та посів генотипу Nsovak при щільній відстані 15 см між рослинами максимізує врожайність насіння з одиниці площі [26].

Пакистанськими вченими виявлено, що життєздатність насіння, індекс площі листків, формування біомаси, маса насіння та врожайність насіння соняшнику на одиницю площі значно збільшуються завдяки внесенню високої норми N. Урожайність насіння та поглинання фотосинетично активної радіації зростає зі збільшенням рівня азоту та густоти рослин. Проте надлишок азоту, посилюючи вегетативний ріст надземної частини, подовжує періоди до цвітіння

These experimental conditions also ensured the maximum seed yield and the highest profitability per 1 kg of active substance of fertilizers [22].

In a study, it was shown that a medium plant density (about 10 plants per 1 m<sup>2</sup>) with a moderate N dose (about 150 kg of N per 1 ha) could be useful to improve the growth, development and total yield of inoculated sunflower (biofertilizer Nitroxin containing *Azotobacter* sp. and *Azospirillum* sp.; 1 liter per 30 kg of seeds) [23].

In Timisoara, the contribution of combined fertilizers (N50P50K0 and N50P50K50) to the yield variability in sunflower hyb. 'NK Neoma' was 78.55%, which was significantly higher compared to that of the seeding density (70 × 29 cm, which produced 49,261 germinating kernels per 1 ha; 70 × 26.5 cm – 53,908 germinating kernels per 1 ha; 70 × 24 cm – 59,524 germinating kernels per 1 ha; and 70 × 21.4 cm – 66,756 germinating kernels per 1 ha) and to the effect of soil cultivation (ploughing, scarifying, and scarifying + ploughing). Increasing the plant density by reducing the distance between plants from 29 cm to 24 cm or 21.4 cm had a positive effect on the sunflower yield. The application of different NPK doses led to a significant (45–46%) increase in the yield by compared to the unfertilized plots. Tillage did not significantly affect the sunflower yield [24].

Optimization of agricultural resources, such as fertilizer amounts and plant density, showed that due to dense sowing (distance between plants - 15 cm) and satisfaction of sunflower's need for P (30.8 kg/ha) and K (41.5 kg/ha), the N application can be significantly reduced (62.3 kg/ha), with harvesting an acceptable seed yield (3797 kg/ha) [25].

Two field experiments conducted on the experimental farm of Sakhanske Agricultural Research Station showed that an increase in the nitrogen fertilizer dose from 72 to 168 kg N/ha on genotype 'Nsovak' sown with an inter-plant distance of 15 cm maximized the seed yield per unit area [26].

Pakistani scientists found that sunflower seed viability, leaf area index, biomass formation, seed weight, and seed yield per unit area increased significantly due to high doses of N. The seed yield and photosynthetically active radiation absorption were increased as the nitrogen dose and plant density were elevated. However, an excess of nitrogen, increasing the

та фізіологічної стиглості [27]. Результати іншого дослідження також показують, що азот і густота рослин суттєво впливають на врожайність насіння та деякі компоненти врожайності гібридів соняшнику [28].

Все, що наведено вище, зумовлює доцільність проведення спеціальних досліджень щодо визначення впливу норм висіву на біометричні показники та врожайність насіння нових районованих класичних гібридів соняшнику в умовах Східного Лісостепу України з обов'язковим вивченням ефективності мінеральних добрив.

### Методика

Дослідження було проведене в 2021, 2023 рр. на дослідному полі Інституту рослинництва ім. В.Я. Юр'єва НААН (Харківський район Харківської області України). Ґрунт – чорнозем типовий середньогумусний слабовилужений. Попередник соняшнику – ячмінь ярий (2021 р.) та жито озиме (2023 р.).

Вивчали два класичні гібриди соняшнику олійного напрямку використання Ярило і Хорив (оригіатор – Інститут рослинництва ім. В.Я. Юр'єва НААН), два фони живлення (без внесення добрив (контроль) та N30P30K30 під першу передпосівну культивуацію), чотири норми висіву (40, 50, 60 і 70 тис. схожих насінин на 1 га). Повторення – чотириразове, площа облікової ділянки – 33,6 м<sup>2</sup>.

Дослід закладали та проводили на фоні застосування ґрунтових гербіцидів під другу передпосівну культивуацію (бакова суміш Тізер (діюча речовина – пропізохлор, 720 г/л) – 2,0 л/га + Селефіт (діюча речовина – прометрин, 500 г/л) – 2,0 л/га). У період вегетації культури застосовували грамініцид Квін Стар Макс (діюча речовина – хізалопф-П-етил, 125 г/л) – 1,2 л/га. Перед сівбою насіння обох гібридів соняшнику обробили баковою сумішню препаратів Баріон (діюча речовина – металаксил-м, 350 г/л) – 3,0 л/га + Екзор (діюча речовина – тіаметоксам, 600 г/л) – 6,0 л/га. Сівбу проводили сівалкою «Клен-2,8» (26.05.2021 р.) та «Клен-4,2» (22.05.2023 р.) з міжряддям 70 см.

Дослідження виконано згідно із загально прийнятими методиками. У фазі цвітіння в кожному варіанті виділяли і закріплювали 40 рослин (по 10 рослин поспіль у чотирьох

vegetative growth of the aboveground part, extends the periods until anthesis and physiological ripeness [27]. Results of another study also showed that nitrogen and plant density significantly affected the seed yield and some yield components in sunflower hybrids [28].

All of the above determines the expediency of specific studies on evaluation of effects of seeding rates on biometric parameters and seed yield of new zoned classic sunflower hybrids in the Eastern Forest-Steppe of Ukraine, with a mandatory assessment of the effectiveness of mineral fertilizers.

### Methods

The study was conducted in an experimental field of the Yuriev Plant Production Institute of NAAS of Ukraine in 2021 and 2023 (Kharkivskyi District, Kharkivska Oblast of Ukraine) in 2021 and 2023. The soil was typical medium-humus, slightly leached chernozem. The predecessor of sunflower was spring barley (2021) and winter rye (2023).

We studied two classic oil sunflower hybrids ('Yarylo' and 'Khoryv'; the originator is the of the Yuriev Plant Production Institute of NAAS of Ukraine in 2021 and 2023), two fertilization regimens (without fertilizer (control) and N30P30K30 before the first pre-sowing cultivation), and four seeding rates (40,000, 50,000, 60,000, and 70,000 germinable seeds per 1 ha). The experiments were carried out in four replications. The record plot area was 33.6 m<sup>2</sup>.

The experiments were laid out and carried out on the application of soil herbicides before the second pre-sowing cultivation (tank mixture Tizer [active substance – propisochlor; 720 g/L] 2.0 L/ha + Selefite [active substance – promethrin; 500 g/L] 2.0 L/ha). During the crop vegetation, 1.2 L/ha of graminicide Queen Star Max was used (active substance – hizalofop-P-ethyl; 125 g/L). Before sowing, seeds of both sunflower hybrids were treated with a tank mixture Barion (active substance - metalaxyl-m; 350 g/L) 3.0 L/ha + Exor (active substance – thiamethoxam; 600 g/L) 6.0 L/ha. The hybrids were sown with a Klyon seeder (05.26.2021) or a Klyon-4.2 seeds (05.22.2023). The inter-row width was 70 cm.

повтореннях) та підраховували кількість листків і вимірювали лінійкою розмір 20-го листка-ідентифікатора для подальшого розрахунку площі листової поверхні за формулою, наведеною в патенті на корисну модель № 56163 Україна [29]. У фазі повного утворення кошиків на вже закріплених 40 рослинах визначали лінійкою висоту рослин – від поверхні ґрунту до місця прикріплення кошика (середнє арифметичне з усіх вимірювань) [30]. Урожайність насіння соняшнику визначено методом суцільного поділянкового обмолоту з подальшим перерахуванням на 10 % вологості та 100 % чистоти [31]. Статистичну обробку результатів досліді проведено за допомогою Excel [32].

### Результати та обговорення

Встановлено, в середньому за 2021, 2023 рр., що середня висота рослин гібридів Ярило та Хорив у досліді становила відповідно 144,7 см і 164,1 см. Максимальна висота рослин зафіксована в гібрида Хорив у контролі за норми висіву 70 тис. шт./га (165,8 см), а мінімальна – в гібрида Ярило на фоні N30P30K30 за норми висіву 60 тис. шт./га (139,2 см). Висота рослин на всіх варіантах у гібрида Хорив була статистично вірогідною, порівняно з усіма варіантами у гібрида Ярило. Порівняно з контролем внесення N30P30K30 призвело до доказового зниження висоти рослин у гібрида Ярило за норми висіву 50 тис. шт./га (на 5,4 см) і 70 тис. шт./га (на 5,2 см) (табл. 1). Взаємодія між гібридами і густотою посіву та гібридами і удобренням була значущою для висоти рослин соняшнику й в іншому дослідженні [33].

Середня кількість листків на рослині гібрида Хорив була більшою (31,2 шт.), ніж у гібрида Ярило (30,4 шт.). Удобрення, порівняно з контролем, зумовило статистично значиме зменшення кількості листків на рослину у гібрида Ярило за норми висіву 50 тис. шт./га (на 1,0 шт.) і 70 тис. шт./га (на 0,7 шт.), а у гібрида Хорив – за норми висіву 40 тис. шт./га (на 0,5 шт.). Водночас відбулось доказове збільшення кількості листків на рослину в гібрида Ярило за норми висіву 40 тис. шт./га (на 0,9 шт.). Інше дослідження також свідчить, що висота рослин і кількість

The study was conducted by traditional methods. During anthesis, 40 plants were chosen and marked with pegs in each variant (10 plants without distinction in four replications), leaves were counted, and the size of the 20th leaf-identifier was measured with a ruler for further calculation of the leaf area by the formula given in the utility model patent no. 56163 Ukraine [29]. In the completely formed calathidium phase, the plant height was measured with a ruler on the 40 chosen plants - from the soil surface to the head attachment point (mean of all measurements) [30]. The yield of sunflower seeds was determined by threshing without distinction by plots with subsequent adjustment for 10% moisture content and 100% purity [31]. Data were statistically processed in Excel [32].

### Results and Discussion

It was found that in 2021 and 2023, that the mean plant height in hybrids. ‘Yarylo’ and ‘Khoryv’ was 144.7 cm and 164.1 cm, respectively. The tallest plants (165.8 cm) were recorded for hybrid. ‘Khoryv’ sown at a seeding rate of 70,000 seeds/ha in the control and the shortest ones – for hybrid ‘Yarylo’ (139.2 cm) sown at the seeding rate of 60,000 seeds/ha hybrid and fertilized with N30P30K30. The plant height in hybrid ‘Khoryv’ in all experimental variants statistically significantly differed from that in hyb. ‘Yarylo’ in all experimental variants. Compared to the control, the N30P30K30 application led to a significant decrease in the plant height in hyb. ‘Yarylo’ sown at a seeding rate of 50,000 seeds/ha (by 5.4 cm) or 70,000 seeds/ha (by 5.2 cm) (Table 1). The effects of “hybrids - seeding density” and “hybrids – fertilizer” interactions were significant for the sunflower plant height in another study as well [33].

Hybrid ‘Khoryv’ had more leaves per plant (the mean number of leaves was 31.2) than hyb. ‘Yarylo’ (30.4). Fertilization, compared to the control, led to a statistically significant decrease in the number of leaves per plant in hyb. ‘Yarylo’ sown at a seeding rate of 50,000 seeds/ha (by 1.0 leaves) or 70,000 seeds/ha (by 0.7 leaves) and in hyb. ‘Khoryv’ sown at a seeding rate of 40,000 seeds/ha (by 0.5 leaves). At the same time, there was a significant increase in the number of leaves per plant in hyb. ‘Yarylo’ sown at a seeding rate of 40,000 seeds/ha (by 0.9 leaves). Another study

листіків на рослині залежать від генотипу соняшнику [26].

Середня площа листової поверхні на одній рослині гібрида Ярило була більшою (5962,9 см<sup>2</sup>), ніж у гібрида Хорив (5319,0 см<sup>2</sup>). Водночас середня площа листової поверхні на одному гектарі посівів гібридів Ярило та Хорив була однаковою (28,8 тис./м<sup>2</sup>). Максимальну площу листової поверхні на рослину та на один гектар сформував гібрид Ярило на фоні N30P30K30 за норми висіву 40 тис. шт./га (9425,6 см<sup>2</sup> і 39,5 тис./м<sup>2</sup>, відповідно). Дані два показники були статистично достовірними, порівняно з більшістю варіантів досліду.

also showed that the plant height and the number of leaves per plant differed in different sunflower genotype [26].

The mean leaf area per plant in hyb. 'Yarylo' was larger (5,962.9 cm<sup>2</sup>) than that of in hyb. 'Khoryv' (5,319.0 cm<sup>2</sup>). At the same time, the mean leaf areas per hectare in hybrids 'Yarylo' and 'Khoryv' were identical (28,800 m<sup>2</sup>). The maximum leaf areas per plant and per hectare were recorded for hybrid 'Yarylo' sown at a seeding rate of 40,000 seeds/ha and fertilized with N30P30K30 (9,425.6 cm<sup>2</sup> and 39,500 m<sup>2</sup>, respectively). These two parameters were statistically different compared to those in most experimental variants.

**Таблиця 1.** Біометричні показники класичних гібридів соняшнику у фазі цвітіння залежно від фону живлення та норми висіву, 2021, 2023 рр.

**Table 1.** Biometric parameters of the classic sunflower hybrids during anthesis depending fertilization and seeding rate, 2021, 2023.

Гібрид (А) / Hybrid (A)	Фон живлення / (B)Fertilization (B)	Норма висіву, тис. шт./га (C) / Seeding rate, thousand seeds/ha (C)	Висота рослин, см / Plant height, cm	Кількість листіків на рослину, шт. / Number of leaves per plant	Площа листової поверхні / Leaf area	
					на рослину, см <sup>2</sup> / per plant, cm <sup>2</sup>	на 1 га, тис. м <sup>2</sup> / per 1 ha, thousand m <sup>2</sup>
Ярило / Yarylo	без добрив (контроль)No fertilizer (control)	40	146.5	30.2	5320.4	23.2
		50	149.1	31.2	5391.9	26.8
		60	142.8	30.4	4102.7	21.9
		70	148.9	30.4	3725.3	22.7
	N <sub>30</sub> P <sub>30</sub> K <sub>30</sub>	40	143.7	31.1	9425.6	39.5
		50	143.7	30.2	7455.2	33.0
		60	139.2	30.1	6829.8	33.8
		70	143.7	29.7	5452.2	29.7
Хорив / Khoryv	без добрив (контроль)No fertilizer (control)	40	163.4	31.6	5385.1	25.4
		50	164.0	31.7	4714.0	27.8
		60	163.3	31.3	4045.6	23.2
		70	165.8	30.8	3991.8	26.0
	N <sub>30</sub> P <sub>30</sub> K <sub>30</sub>	40	164.2	31.1	7958.5	35.2
		50	164.7	31.7	6443.8	32.4
		60	161.8	31.0	5562.2	31.4
		70	165.6	30.6	4451.3	28.9
H <sub>IP</sub> 0.05 для фактору А / LSD <sub>0.05</sub> for factor A			6.5	0.4	1559.0	5.9
H <sub>IP</sub> 0.05 для фактору В / LSD <sub>0.05</sub> for factor B			6.5	0.4	1559.0	5.9
H <sub>IP</sub> 0.05 для фактору С / LSD <sub>0.05</sub> for factor C			9.1	0.6	2204.8	8.3
H <sub>IP</sub> 0.05 для факторів АВ / LSD <sub>0.05</sub> for factors AB			9.1	0.6	2204.8	8.3
H <sub>IP</sub> 0.05 для факторів АС / LSD <sub>0.05</sub> for factors AC			12.9	0.8	3118.0	11.7
H <sub>IP</sub> 0.05 для факторів ВС / LSD <sub>0.05</sub> for factors BC			12.9	0.8	3118.0	11.7
H <sub>IP</sub> 0.05 для факторів ABC / LSD <sub>0.05</sub> for factors ABC			18.3	1.2	4409.5	16.6
Коефіцієнт кореляції (r) з урожайністю насіння / Coefficient of correlation with seed yield (r)			0.429	0.270	0.522*	0.643*

Примітка. \* – показник значимий за P ≤ 0.05.

**Таблиця 2.** Урожайність насіння класичних гібридів соняшнику залежно від фону живлення та норми висіву, 2021, 2023 рр.

**Table 2.** Seed yield of the classic sunflower hybrids depending on fertilization and seeding rates, 2021 and 2023.

Гібрид (А) / Hybrid (A)	Фон живлення / (B) Fertilization (B)	Норма висіву, тис. шт./га (C) / Seeding rate, thousand seeds/ha (C)	Урожайність насіння, т/га / Seed yield, t/ha	Відхилення врожайності насіння у контролі до варіанта з добривами (±), т/га / Fertilizer-induced change in the seed yield (±), t/ha
Ярило / Yarylo	без добрив (контроль)No fertilizer (control)	40	1.83	–
		50	1.84	–
		60	1.60	–
		70	1.63	–
	N <sub>30</sub> P <sub>30</sub> K <sub>30</sub>	40	2.07	+ 0.24
		50	2.02	+ 0.18
		60	1.91	+ 0.31
		70	1.69	+ 0.06
Хорив / Khoryv	без добрив (контроль)No fertilizer (control)	40	1.80	–
		50	1.79	–
		60	1.85	–
		70	2.19	–
	N <sub>30</sub> P <sub>30</sub> K <sub>30</sub>	40	2.24	+ 0.44
		50	1.99	+ 0.20
		60	2.07	+ 0.22
		70	2.01	– 0.18
НІР <sub>0.05</sub> для фактору А / LSD <sub>0.05</sub> for factor A			0.18	
НІР <sub>0.05</sub> для фактору В / LSD <sub>0.05</sub> for factor B			0.18	
НІР <sub>0.05</sub> для фактору С / LSD <sub>0.05</sub> for factor C			0.25	
НІР <sub>0.05</sub> для факторів АВ / LSD <sub>0.05</sub> for factors AB			0.25	
НІР <sub>0.05</sub> для факторів АС / LSD <sub>0.05</sub> for factors AC			0.36	
НІР <sub>0.05</sub> для факторів ВС / LSD <sub>0.05</sub> for factors BC			0.36	
НІР <sub>0.05</sub> для факторів АВС / LSD <sub>0.05</sub> for factors ABC			0.50	

Удобрення, порівняно з контролем, приводило до збільшення площі листкової поверхні на рослину та на один гектар у гібридів Ярило (від 1726,9 до 4105,2 см<sup>2</sup> та від 6,2 до 16,3 тис./м<sup>2</sup>, відповідно) та Хорив (від 459,5 до 2573,4 см<sup>2</sup> та від 2,9 до 9,8 тис./м<sup>2</sup>, відповідно). Мінеральне живлення сприяло збільшенню площі листя й в іншому досліді [22]. Загущення посівів призводило до зменшення площі листкової поверхні на одній рослині гібридів Ярило та Хорив.

Площа листкової поверхні на рослину та на один гектар, які вимірювали у фазі цвітіння класичних гібридів соняшнику Ярило та Хорив, мали статистично значимий позитивний зв'язок з урожайністю насіння цих гібридів ( $r=0,522$  і  $r=0,643$ , відповідно).

Аналіз урожайності насіння класичних гібридів соняшнику залежно від фону живлення та норми висіву виявив, що в гібрида Ярило даний показник був вищим за норм висіву 40 тис. шт./га і 50 тис. шт./га. Так, рівень

Fertilization led to an increase in the leaf areas per plant and per hectare in hybs. 'Yarylo' (from 1,726.9 to 4,105.2 cm<sup>2</sup> and from 6,200 to 16,300 m<sup>2</sup>, respectively) and 'Khoryv' (from 459.5 to 2,573.4 cm<sup>2</sup> and from 2,900 to 9,800 m<sup>2</sup>, respectively) compared to the control. Mineral fertilization increased the leaf area in another experiment as well [22]. The crop thickening resulted in a decrease in the leaf area per in hybs. 'Yarylo' and 'Khoryv'.

The leaf areas per plant and per hectare, which were measured during the anthesis, had a statistically significant positive correlation with the seed yields in classic sunflower hybs. 'Yarylo' and 'Khoryv' ( $r=0.522$  and  $r=0.643$ , respectively).

Analysis of the seed yields of the classic sunflower hybrids depending on fertilization and seeding rates revealed that hyb. 'Yarylo' yielded more when sown at seeding rates of 40,000 and 50,000 seeds/ha. Thus hybrid yielded 1.83, 1.84, 1.60, and 1.63 t/ha when sown at a seeding rate

урожайності насіння даного гібрида за норми висіву 40; 50; 60 і 70 тис. шт./га становив на фоні без добрив відповідно 1,83; 1,84; 1,60 і 1,63 т/га, а на фоні N30P30K30 – 2,07; 2,02; 1,91 і 1,69 т/га. Порівняно з контролем, статистично достовірну прибавку врожайності насіння даного гібрида від застосування мінеральних добрив забезпечили норми висіву 40 тис. шт./га (0,24 т/га) і 60 тис. шт./га (0,31 т/га) (табл. 2).

У гібрида Хорив урожайність насіння була найвищою в контролі за норми висіву 70 тис. шт./га (2,19 т/га), а на фоні N30P30K30 – за норми висіву 40 тис. шт./га (2,24 т/га). Порівняно з контролем статистично доказову прибавку врожайності насіння цього гібрида за внесення N30P30K30 забезпечили норми висіву 40; 50 і 60 тис. шт./га (0,44; 0,20 і 0,22 т/га, відповідно). Результати досліджень інших вчених також показують, що гібридний склад, добрива та густота посіву мають істотний вплив на формування врожайності насіння соняшнику [7, 8].

#### **Висновки.**

За норми висіву 70 тис. шт./га найвищими були рослини гібрида Хорив у контролі (165,8 см), а найнижчими – рослини гібрида Ярило на фоні N30P30K30 за норми висіву 60 тис. шт./га (139,2 см). Різниця у гібридів за висотою рослин була статистично вірогідною за  $P \leq 0.05$ .

Середня кількість листків на рослині гібрида Хорив була більшою (31,2 шт.), ніж у гібрида Ярило (30,4 шт.). Максимальну площу листової поверхні на рослину та на один гектар сформував гібрид Ярило на фоні N30P30K30 за норми висіву 40 тис. шт./га (9425,6 см<sup>2</sup> і 39,5 тис./м<sup>2</sup>, відповідно).

Урожайність насіння гібрида Ярило була вищою за норми висіву 40 тис. шт./га і 50 тис. шт./га, особливо на фоні N30P30K30 (2,07 т/га і 2,02 т/га, відповідно). У гібрида Хорив урожайність насіння була найвищою в контролі за норми висіву 70 тис. шт./га (2,19 т/га), а на фоні N30P30K30 – за норми висіву 40 тис. шт./га (2,24 т/га).

of 40,000, 50,000, 60,000, and 70,000 seeds/ha, respectively, without fertilizers and 2.07, 2.02, 1.91, and 1.69 t/ha, respectively, when fertilized at N30P30K30. Compared to the control, a statistically significant gain in the seed yield of this hybrid from mineral fertilization was ensured with seeding rates of 40,000 seeds/ha (0.24 t/ha) and 60,000 seeds/ha (0.31 t/ha) (Table 2).

The seed yield of hyb. 'Khoryv' was the maximal in the control at a seeding rate of 70,000 seeds/ha (2.19 t/ha) and in the N30P30K30 at a seeding rate of 40,000 seeds/ha (2.24 t/ha). Compared to the control, a statistically significant gain in the seed yield of this hybrid fertilized with N30P30K30 was ensured by seeding rates of 40,000, 50,000, and 60,000 seeds/ha (0.44, 0.20, and 0.22 t/ha, respectively). Other scientists' results also showed that the hybrid composition, fertilizers and seeding density had significant effects on the sunflower seed yield [7, 8].

#### **Conclusions.**

Hyb. 'Khoryv' had the tallest plants (165.8 cm) when sown at a seeding rate of 70,000 seeds/ha in the control and hyb. 'Yarylo' had the shortest ones (139.2 cm) when sown at a seeding rate 60,000 seeds/ha and fertilized with N30P30K30. The difference in the plant height between the hybrids was statistically significant at  $P \leq 0.05$ .

Hyb. 'Khoryv' on average had more leaves per plant (31.2 leaves) than hyb. 'Yarylo' (30.4). The maximum leaf areas per plant and per hectare were formed by hyb. 'Yarylo' sown at a seeding rate of 40,000 seeds/ha and fertilized with N30P30K30: (9,425.6 cm<sup>2</sup> and 39,500 m<sup>2</sup>, respectively).

Hyb. 'Yarylo' yielded more seeds when sown at seeding rates of 40,000 seeds/ha and 50,000 seeds/ha, especially in the N30P30K30 experiment (2.07 t/ha and 2.02 t/ha, respectively). Hyb. 'Khoryv' produced the maximum yield of seeds when sown at a seeding rate of 70,000 seeds/ha in the control (2.19 t/ha) and at a seeding rate of 40,000 seeds/ha in the N30P30K30 experiment (2.24 t/ha).

#### **References**

1. Sydiakina OV, Hamajunova VV. Current state and prospects of sunflower seed production. Taurida Scientific Herald. Series: Rural Sciences. 2023; 131: 196–204. <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2023.131.25> [in Ukrainian].
2. Tkach ID, Oleksiuk OM. The effect of sowing methods, plant stand density on the formation of the root system, water consumption and yield of sunflower hybrids. Bulletin of the Institute of Grain Management. 2000; 12–13: 18–22. [in Ukrainian].

3. Tkalic ID, Oleksiuk OM. The yield of sunflower depends on the density and methods of sowing. *Bulletin of the State Agrarian University*. 2000; 1–2: 24–26. [in Ukrainian].
4. Kohut IM, Valentiuk NO, Shchetnikova LA. The formation of productiveness of the sunflower depending on the spacing of the plants in the conditions of the Southern Steppe of Ukraine. *Taurida Scientific Herald. Series: Rural Sciences*. 2020; 112: 93–98. <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2020.112.13> [in Ukrainian].
5. Borysenko VV. Influence of seeding density and row spacing on the water consumption of sunflower hybrids of different ripeness stage. *Taurida Scientific Herald. Series: Rural Sciences*. 2020; 111: 22–28. <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2020.111.3> [in Ukrainian].
6. Zhatov OH, Zhatova HO. Productivity and quality of sunflower seeds depending on plant density. *Bulletin of Sumy National Agrarian University. The series “Agronomy and Biology”*. 2012; 2 (23): 105–107. [in Ukrainian].
7. Kokovikhin SV, Nesterchuk VV, Nosenko JM. Productivity and quality of seeds of sunflower hybrids, depending on plant population and fertilizer. *Taurida Scientific Herald. Series: Rural Sciences*. 2015; 94: 37–42. [in Ukrainian].
8. Kokovikhin SV, Nesterchuk VV. Effect of plant density and fertilizers on the formation of productivity of sunflower hybrids grown under the conditions of Southern Ukraine. *Taurida Scientific Herald. Series: Rural Sciences*. 2016; 96: 75–79. [in Ukrainian].
9. Shvachka OV, Novoshinskaya NA. Effect of sowing date and plant density on productivity of Ryabota hybrid sunflower under conditions of southern Ukraine. *Scientific and Technical Bulletin of the Institute of Oilseed Crops NAAS*. 2011; 16: 121–125. [in Ukrainian].
10. Pinkovskyi H, Tanchyk S. Influence of sowing dates and plant density on sunflower yield in the Right-bank Steppe of Ukraine. *Plant and Soil Science*. 2018; 294: 75–82. [in Ukrainian].
11. Pinkovsky GV, Maschenko YuV, Tanchyk SP. Influence of elements of nutritios on the fertility of soil and productivity of sunflower in the Right-Bank Steppe of Ukraine. *Taurida Scientific Herald. Series: Rural Sciences*. 2019; 107: 145–150. <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2019.107.19> [in Ukrainian].
12. Gordeyeva Y, Shelia V, Shestakova N, Amantayev B, Kipshakbayeva G, Shvidchenko V, Aitkhozhin S, Kurishbayev A, Hoogenboom G. Sunflower (*Heliánthus ánnuus*) Yield and Yield Components for Various Agricultural Practices (Sowing Date, Seeding Rate, Fertilization) for Steppe and Dry Steppe Growing Conditions. *Agronomy*. 2024; 14(1): 36. <https://doi.org/10.3390/agronomy14010036>
13. Farweez MR, Teama EA, El-Nager GR, Said MT. Effect of plant density and nitrogen fertilizer splitting on the production of sunflower. *Assuit J. Agric. Sci*. 2020; 51(2): 64–73.
14. Fedorchuk MI, Kovalev MA. Productivity of sunflower hybrids of the high-oleic type in dependence on plant density under growing conditions in the south of Ukraine. *Scientific and Technical Bulletin of the Institute of Oilseed Crops NAAS*. 2016; 23: 178–184. [in Ukrainian].
15. Poliakov OI. Productivity of sunflower depending on the plant stand density and the application of bio-fertilizers. *Scientific and Technical Bulletin of the Institute of Oilseed Crops NAAS*. 2018; 26: 73–80. <https://doi.org/10.36710/ioc-2018-26-08> [in Ukrainian].
16. Borysenko VV. Leaf area and photosynthetic potential of the sunflower crops depending on the conditions of cultivation. *Collected Works of Uman National University of Horticulture*. 2013; 83(1): Agronomy. 79–84. [in Ukrainian].
17. Borysenko VV, Novak AV, Kaliievskyi MV. The influence of seeding density and row spacing on the yield of sunflower hybrids of different ripeness groups. *Taurida Scientific Herald. Series: Rural Sciences*. 2018; 103: 3–9. [in Ukrainian].
18. Borysenko VV, Karnauh OB, Nakleka YuI, Novak AV, Usik SV, Koval GV. The influence of plant height and diameter of inflorescences on sunflower productivity depending on sowing density and row spacing . *Taurida Scientific Herald. Series: Rural Sciences*. 2020; 113: 28–34. <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2020.113.4> [in Ukrainian].
19. Borysenko VV, Chaploutskyi AM, Soroka LV. The influence of seeding density and row spacing on oil content in sunflower hybrids of different ripeness groups. *Taurida Scientific Herald. Series: Rural Sciences*. 2019; 106: 3–9. [in Ukrainian].
20. Khaskhachykh MV. The impact of plant stand and sowing method on the productivity of sunflower hybrids cultivated as a stubble crop in eastern Ukraine. *Taurida Scientific Herald. Series: Rural Sciences*. 2012; 79: 156–161. [in Ukrainian].
21. Masliyov SV, Stepanov VV, Kalinichenko MV, Yarchuk II. Growing and development of sunflower hybrids depending on plant density standing. *Bulletin of Poltava State Agrarian Academy*. 2018; 4: 104–110. <https://doi.org/10.31210/visnyk2018.04.15> [in Ukrainian].
22. Sydiakina O, Ivaniv M. Sunflower hybrids productivity depending on the rates of mineral fertilizers in the south of Ukraine. *Helia*. 2023; 46(79): 245–259. <https://doi.org/10.1515/helia-2023-0010>



23. Namvar A, Khandan T, Shojaei M. Effects of bio and chemical nitrogen fertilizer on grain and oil yield of sunflower (*Helianthus annuus* L.) under different rates of plant density. *Annals of Biological Research*. 2012; 3(2): 1125–1131.
24. Degianski A, Pirşan P. Study regarding the effect of density, fertilization and tillage on sunflower yield under the conditions from Timișoara. *Research Journal of Agricultural Science*. 2018; 50 (2): 28–34.
25. Mehrparvar M, Rokhzadi A, Mohammadi K. Reduced n application rate in sunflower production through supplying P and K need and dense-planting: A modeling and optimization approach by RSM. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*. 2021; 21: 1353–1367. <https://doi.org/10.1007/s42729-021-00445-9>
26. Kandil AA, Sharief AE, Odam AMA. Response of some sunflower hybrids (*Helianthus annuus* L.) to different nitrogen fertilizer rates and plant densities. *International Journal of Environment, Agriculture and Biotechnology*. 2017; 2(6): 2978–2994. <http://dx.doi.org/10.22161/ijeab/2.6.26>
27. Ali A, Ahmad A, Khaliq T, Ali A, Ahmad M. Nitrogen nutrition and planting density effects on sunflower growth and yield: A review. *Pakistan Journal of Nutrition*. 2013; 12(12): 1024–1035.
28. Süzer S. Effects of nitrogen and plant density on dwarf sunflower hybrids. *Helia*. 2010; 33(53): 207–214.
29. Kyrychenko VV, Kolomatska VP, Litun PP, Syvenko VI. Method of evaluation of sunflower breeding material by leaf surface area in different phases of plant development: patent for utility model No. 56163 Ukraine / owner V. Ya. Yuryev Institute of Crop Production of the Ukrainian Academy of Sciences (UA) - No. u 2010 04997; declared on 04/26/2010; published on 01/10/2011; Bulletin No. 1. 4 p. [in Ukrainian].
30. Tkachyk SO, editor. Methodology for examination of technical and fodder plant varieties for suitability for distribution in Ukraine. 3rd revised and extended edition. Vinnytsia: FOP Korzun DYU. 2017. 74 p. [in Ukrainian].
31. Tkachyk SO, Prysiashniuk OI, Leshchuk NV. Methodology for conducting a qualification examination of plant varieties for suitability for distribution in Ukraine (general part). 4rd revised and extended edition. Vinnytsia: FOP Korzun DYU. 2017. 119 p. [in Ukrainian].
32. Ermantraut ER, Hoptsi TI, Kalenska SM, Kryvoruchenko RV, Turchynova NP, Prysiashniuk OI. Methods of breeding experiments (in crop production). Kharkiv : KhNAU im. VV Dokuchaieva, 2014. 229 p. [in Ukrainian].

Надійшла до редакції 15.11.2024 р.  
Received 15.11.2024

УДК 635.655:631.53.04:631.811.98

А.О. Рожков, О.О. Лошак, Є.М. Огурцов, В.Г. Міхеєв\*

## Продуктивність сортів сої залежно від строків сівби і регуляторів росту

Державний біотехнологічний університет, Харків, Україна

\*E-mail: [mixeev.valentin@outlook.com](mailto:mixeev.valentin@outlook.com)

UDC 635.655:631.53.04:631.811.98

A. Rozhkov, O. Loshak, Ye. Ohurtsov, V. Mikheiev\*

## Performance of Soybean Cultivars Depends on Sowing Time and Growth Regulators

State Biotechnological University, Kharkiv, Ukraine

\*E-mail: [mixeev.valentin@outlook.com](mailto:mixeev.valentin@outlook.com)

**Реферат:** Висвітлено результати досліджень з вивчення впливу строків сівби та передпосівної обробки насіння на індивідуальну продуктивність рослин сої (*Glycine hispida*) і урожайність сортів різного морфобіотипу. Дослідження проводили методом розщеплених ділянок у чотирьох повтореннях за загальноприйнятою методикою. Ділянками першого порядку були сорти сої – Аннушка, Кобза і Мальвіна; другого порядку — ділянки з різними строками сівби (ранній (6–8°C), середній (10–12°C), пізній (14–16°C)), третього порядку — ділянки з варіантами оброблення насіння сої перед сівбою гумісолом, адаптофітом, рост-концентратом, фундазолом. В усі роки дослідження найкращі показники індивідуальної продуктивності рослин сої формувалися посівами сої сорту Мальвіна у варіантах середнього строку сівби і передпосівної обробки насіння Адаптофітом. Вища врожайність насіння сої у середньому за роками досліджень (2,34 т/га) формувалася у сорту Мальвіна у варіанті середнього строку сівби за умови обробки насіння Адаптофітом. Сорт сої Аннушка суттєво поступався за рівнем урожайності сортам Кобза та Мальвіна – різниця становила 0,31 та 0,43 т/га. Значною мірою врожайність зерна зростала за обробки насіння перед сівбою досліджуваними препаратами (прибавка в межах 0,10–0,38 т/га). Вплив строків сівби на рівень урожайності був найменшим. Таким чином, встановлено можливість отримання стабільних врожаїв сої в умовах Східного Лісостепу України за рахунок правильного підбору сортів, дотримання оптимальних строків сівби із застосуванням регуляторів росту.

**Ключові слова:** соя (*Glycine hispida*), сорт, строки сівби, регулятори росту, продуктивність, урожайність.

**Abstract:** The effects of sowing time and pre-sowing seed treatment on the individual performance of soybean (*Glycine hispida*) plants and the yield of morphologically different cultivars are covered. The study had a split plot design in four replications in accordance with conventional methods. The first order plots were soybean cultivars: ‘Annushka’, ‘Kobza’ and ‘Malvina’; the second order plots were sown within various timeframes (early (6–8°C), medium (10–12°C), or late (14–16°C)); the third order plots were pre-sowing treatments of soybean seeds with Humisol, Adaptophyte, Rost-concentrate, and Fundazol. In all study years, the best individual performance of soybean plants was shown by cv. ‘Malvina’ treated with Adaptophyt before sowing and sown within the medium timeframe. The greatest mean yield of soybean seeds from cv. ‘Malvina’ (the mean yield across the study years was 2.34 t/ha) was harvested when the cultivar’s seeds were treated with Adaptophyt and planted within the medium timeframe. Soybean cv. ‘Annushka’ was significantly inferior to cvs. ‘Kobza’ and ‘Malvina’ in terms of performance: the difference was 0.31 and 0.43 t/ha, respectively. The seed yield increased to a large extent, when seeds were treated with the tested agents before sowing (the gain ranged from 0.10 to 0.38 t/ha). The effect of sowing time on the performance was the smallest. Thus, it was demonstrated that it was possible to achieve stable soybean yields in the Eastern Forest-Steppe of Ukraine due to adequate selection of cultivars, adherence to optimal sowing timeframes and application of growth regulators..

**Key words:** soybean (*Glycine hispida*), cultivar, sowing time, growth regulators, performance, yield.

У мобілізації потенціалу продуктивності нових сортів сої важливим є застосування специфічних для них особливостей вирощування з урахуванням їх біологічних потреб. Серед факторів, що визначають рівень урожайності сої, важливе місце належить посівній агротехніці, зокрема, оптимальним строкам сівби з урахуванням ґрунтово-кліматичних умов і сортових особливостей, які сприяють кращому росту, розвитку та формуванню максимальної продуктивності. Оброблення насіння перед сівбою регуляторами росту підвищує стійкість сходів до несприятливих чинників зовнішнього середовища, що дозволяє висівати сою раніше рекомендованих строків [2, 3, 13]. Для таких цілей в останні роки використовуються: ріст-концентрат – комплексне органо-мінеральне рідке добриво, основою якого є гумат калію та комплекс макро- і мікроелементів у високій концентрації; адаптофіт – комплексний регулятор росту рослин до складу якого входять фізіологічно активні речовини природного походження (фітогормони з ауксиною, цитокініною та гібереліною активністю, амінокислоти, низькомолекулярні водорозчинні білки, вуглеводи, жирні кислоти та їх ефіри); гумісол – рідкий препарат гумінової природи, вироблений на основі вермікомпосту – продукту переробки гною великої рогатої худоби червоними каліфорнійськими черв'яками *Eisenia fetida*.

При встановленні строків сівби, на думку науковців [3, 15], потрібно враховувати режим прогрівання ґрунту та тривалість світлового дня, що значно впливає на продуктивність рослин сої. Відомо, що строки сівби залежать від ґрунтово-кліматичної зони, особливостей сорту, тривалості дня, прогрівання посівного шару ґрунту до 10–12°C, що в наших умовах (зоні східного Лісостепу) припадає на період кінця квітня початок травня. Для сої строки сівби мають вирішальне значення, оскільки від них залежить час і можливість її досягання, а отже величина врожаю і якість насіння. Визначити оптимальні строки сівби сої можна лише для конкретного регіону і сорту, на підставі польових досліджень. Однак дотепер немає єдиної думки вчених стосовно оптимальних строків сівби сої. Одні вчені [5] вважають, що оптимальний строк сівби сої збігається із прогріванням ґрунту до 12–14°C на глибині загортання насіння. На думку інших науковців [3, 15], забезпечення дружних сходів насіння сої можливе за температури ґрунту 10–12°C на глибині 10 см.

To fully use the performance potential of new soybean cultivars, it is important to take into account specific features of their cultivation and their biological needs. Among the factors that determine soybean yield, sowing techniques, in particular, optimal sowing time in given pedo-climatic conditions and varietal characteristics that contribute to better growth, development and maximum performance are of great importance. Pre-sowing treatment of seeds with growth regulators increases the resistance of seedlings to adverse factors of the environment, allowing farmers to sow soybeans earlier than the recommended timeframes [2, 3, 13]. For such purposes, the following approaches have been used recently: Rost-concentrate, a complex organic-mineral liquid fertilizer containing potassium humate and macro- and micronutrients in high concentrations; Adaptophyte, a complex plant growth regulator containing natural physiologically active substances (phytohormones with auxin, cytokinin and gibberellin activities, amino acids, low-molecular water-soluble proteins, carbohydrates, fatty acids and their esters); Humicol, a liquid humic agent produced made from vermicompost (a product of cattle manure processing by the red Californian worm *Eisenia fetida*).

Scientists think [3, 15] that, when deciding on sowing timeframes, it is necessary to take into account the soil temperature profile and photoperiod significantly affecting the performance of soybean plants. It is known that the timing of sowing depends on pedo-climatic zones, cultivars' characteristics, photoperiod, and heating of the seeding soil layer to 10–12°C, which means late April or early May in our conditions (Eastern Forest-Steppe). For soybeans, the timing of sowing is of crucial importance, since it affects the possibility and length of their ripening, and therefore the yield amount and seed quality. To choose the optimal time of sowing soybeans is only possible for a specific region and cultivar and the decision should be based on field data. However, until now there is no unanimous opinion of scientists regarding the optimal timeframes of soybean sowing. Some researchers [5] believe that the optimal time for sowing soybeans is when the soil is warmed to 12–14°C at the seed burying depth. According to other scientists [3, 15], soybean seedlings emerge evenly when the soil temperature at a 10 cm depth is 10–12°C.

Дослідженнями, проведеними в зоні східного Лісостепу, встановлено, що строки сівби найбільш суттєво впливали на польову схожість насіння, а саме: при сівбі 18–20 квітня вона становила 63,7 %, 28–30 квітня – 69,7 %, 8–10 травня – 80,4 %, 18–20 травня – 79% і 28–30 травня – 70,1 % [3].

Результати досліджень засвідчили [7], що в умовах Лісостепу України найвища урожайність сорту Медея (1,9 т/га) була отримана за сівби під час прогрівання ґрунту на глибині 10 см до 15–16°C. [15]. Запізнення із сівбою на 5 днів порівняно з оптимальними строками призводило до зниження урожайності насіння на 0,15–0,38 т/га. Іншими дослідженнями в цьому регіоні було встановлено, що сівба сої при прогріванні ґрунту до 12°C на глибині 10 см забезпечила максимальну урожайність насіння сої сорту Київська 27 (2,81 т/га), сорту Нива (1,87 т/га) з отриманням найвищої кількості білка та олії [24]. В умовах північного Степу України найбільший урожай був отриманий у сої сорту Валюта (1,54 т/га) за сівби при прогріванні ґрунту до 10–12 °C на глибині 10 см [3]. Інші вчені вважають [5, 15], що початок сівби в ранній строк забезпечує досягнення максимально можливої урожайності сої.

Отже, на сьогодні відсутні єдині рекомендації щодо оптимального строку сівби сої. За даними однієї групи вчених, при встановленні оптимального строку сівби необхідно керуватися календарним строком сівби і сіяти сою за прогрівання ґрунту на глибині загортання насіння (4–5 см) до 12–14°C [1]. Друга група вчених вважає, що оптимальний строк сівби необхідно встановлювати за показником рівня температурного режиму на глибині 10 і навіть 20 см [4]. Третя група вчених рекомендує визначати оптимальні строки сівби сої з урахуванням характеру весни [5]. Більшість вчених сходяться на думці, що до встановлення строків сівби сої необхідно підходити диференційовано, в першу чергу, залежно від ґрунтово-кліматичної зони [15, 19].

За останні десятиріччя зросла потреба пошуку нових шляхів підвищення продуктивності сої. Результати досліджень показали [10, 18, 20, 21], що важливим компонентом сучасних технологій вирощування рослин стають сучасні регулятори росту рослин. Серед них популярними стали ріст-концентрат та адаптафіт [4, 11].

В останні роки в Україні зменшилися площі вигідних попередників під озиму пшеницю, зокрема, гороху, однорічних і багаторічних трав,

In a study conducted in the eastern forest-steppe, it was shown that the sowing time most significantly affected the field germination of seeds: when sowing on April 18–20, it was 63.7%, on April 28–30 – 69.7%, on May 8–10 – 80.4%, on May 18–20 – 79%, and on May 28–30 – 70.1% [3].

It was proven [7] that, in the Forest-Steppe of Ukraine, the highest yield from cv. ‘Medeia’ (1.9 t/ha) was harvested provided the cultivar was sown when the soil at a 10 cm depth was warmed to 15–16°C. [15]. A 5-day delay in sowing compared to the optimal time led to a decrease in the seed yield by 0.15–0.38 t/ha. Other studies in this region demonstrated that sowing soybeans when the soil was heated to 12°C at a 10 cm depth ensured the maximum yield of high-protein, high-oil seeds from soybean cvs. ‘Kyivska 27’ (2.81 t/ha) and ‘Niva’ (1.87 t/ha) [24]. In the Northern Steppe of Ukraine, the greatest yield was harvested from soybean cv. ‘Valiuta’ (1.54 t/ha) sown when the soil was warmed to 10–12 °C at a 10 cm depth [3]. Other authors believe [5, 15] that early start of sowing guarantees the maximum possible yield of soybeans.

Therefore, today there are no harmonized recommendations regarding the optimal periods for soybean sowing. There is an opinion that the optimal sowing period should be determined from the sowing calendar and soybeans should be sown when the soil at the seed burying depth (4–5 cm) is warmed to 12–14 °C [1]. According to another opinion, the optimal sowing time should be set based on the temperature at a 10 cm or even 20 cm depth [4]. The third team of researchers recommends determining the optimal time for sowing soybeans, taking into account the spring weather [5]. The majority of scientists agree that it is necessary to choose the soybean sowing time in a differentiated manner, primarily depending on pedo-climatic conditions [15, 19].

Over the past decades, the need for new ways to increase soybean performance has become more acute. A study showed [10, 18, 20, 21] that modern plant growth regulators were important components of state-of-the-art plant growing technologies. Of them, Rost-concentrate and Adaptaphyt have gained popularity [4, 11].

In recent years, the acreage of profitable forecrops for winter wheat, in particular, pea, annual and perennial grasses, silage and green fodder corn, have been diminished in Ukraine. Due to the development of early-ripening

кукурудзи на силос і зелений корм. З появою в зоні Східного Лісостепу ранньостиглих сортів сої з'явилась можливість використовувати її як корисний попередник озимої пшениці. Але навіть ранньостиглі сорти мають досить тривалий період вегетації, тому для прискорення їх дозрівання застосовують десикацію або сеникацію посівів перед збиранням врожаю. В зв'язку з цим, особливого значення набуває раціональне використання ресурсів тепла в зоні Східного Лісостепу у ранньовесняний період за рахунок ранніх строків сівби сої та застосування стимуляторів росту і фунгіцидів для захисту сходів від несприятливих умов зовнішнього середовища та бактеріальних хвороб.

Нашими дослідженнями передбачено встановлення можливо ранніх строків сівби сої в зоні Східного Лісостепу. Для цього було необхідно виявити зв'язки між абіотичними факторами та реалізацією потенціалу сортів сої залежно від строків сівби та дії стимуляторів росту. Тому метою досліджень були пошуки шляхів підвищення рівня реалізації генетичного потенціалу різних за морфобіотипом сортів сої за рахунок оптимізації строків сівби і визначення оптимальних варіантів передпосівної обробки насіння, які створюють кращі умови для росту та розвитку рослин.

## Методика

Дослідження проводили у 2018, 2019 та 2021 рр. в умовах Дослідного поля ХНАУ ім. В.В. Докучаєва, розташованого в південно-східній частині Харкова на четвертій терасі р. Уди з найвищою точкою над рівнем моря 177,5 м. Ґрунт у сівозміні, на якій закладали польові досліді – чорнозем типовий змитий малогумусований важко-суглинковий на карбонатному лесі. Рельєф полів, де розташовували дослідні ділянки, має рівне водорозділове плато із слабо пологим схилом [22].

Досліді закладали методом розщеплених ділянок у чотирьох повтореннях за загальноприйнятою методикою [17]. Ділянками першого порядку були три сорти сої (*Glycine hispida*) з різним морфобіотипом (чинник А) – Аннушка ультранній (період вегетації 75–85 днів), Кобза ранньостиглий (період вегетації 94–98 діб) і Мальвіна середньостиглий (період вегетації 110–115 діб) (<http://sort.sops.gov.ua/search/search>). Ділянками другого порядку були варіанти строків сівби

soybean cultivars in the eastern forest-steppe, it became possible to use them as a useful forecrop for winter wheat. However, even early-ripening cultivars vegetate for rather long periods; therefore, pre-harvest desiccation or senication of crops is used to accelerate their ripening. In this regard, the rational use of heat resources in the eastern forest-steppe in early spring due to early sowing of soybeans and application of growth stimulators and fungicides to protect seedlings against adverse environmental conditions and bacterial diseases is of particular importance.

Our studies demonstrated that it was possible to sow soybeans early in the eastern forest-steppe. For this, it was necessary to identify relationships between abiotic factors and fulfilment of the soybean cultivars' potentials depending on sowing time and effects of growth stimulators. Therefore, the purpose of this study was to find ways to enhance the fulfilment of the genetic potentials of morphologically different soybean cultivars by optimizing sowing timeframes and determining optimal variants of pre-sowing seed treatment to create better conditions for plant growth and development.

## Methods

The study was conducted in the experimental fields of the VV Dokuchaev KhNAU (located in the south-eastern part of Kharkiv, on the fourth terrace of the Udy, with the highest point above sea level of 177.5 m) in 2018, 2019 and 2021. The soil in the crop rotation, where the field experiments were carried out, is a typical truncated, low-humus, heavy loamy chernozem on carbonate loess. The topography of the fields where the experimental plots were located is a flat watershed plateau with a slightly smooth slope [22].

The experiments were arranged in a split plot design in four replications in accordance with traditional methods [17]. The first order plots were three morphologically different soybean (*Glycine hispida*) cultivars (factor A): ultra-early cv. 'Annushka' (vegetation period = 75–85 days), early-ripening cv. 'Kobza' (vegetation period = 94–98 days) and medium-ripening cv. 'Malvina' (vegetation period = 110–115 days)

(чинник В): (ранній (6–8°C), середній (10–12°C) і пізній (14–16°C). Ділянки третього порядку представлені варіантами з оброблення насіння сої перед сівбою бактеріальним препаратом гумісолом, регуляторами росту (адаптофітом і рост-концентратом), а також фунгіцидом фундазолом. Площа посівної ділянки – 20 м<sup>2</sup>, облікової – 16 м<sup>2</sup>. Основні елементи структури врожайності визначали за методикою Державного сорто випробування сільськогосподарських культур [9]. Статистичний аналіз результатів досліджень проводили дисперсійним методом з використанням пакета ліцензійних комп'ютерних програм Microsoft Office Excel [16].

Технологія вирощування сої в досліді, за винятком досліджуваних факторів (строк сівби, оброблення насіння перед сівбою) була загальноприйнятою для Східного Лісостепу України [23].

### Результати та обговорення

Гідротермічні умови в роки досліджень істотно відрізнялися від середніх багаторічних показників, що дозволило більш об'єктивно визначити вплив досліджуваних факторів. У 2018 р. період сівба-сходи проходив з достатнім запасом вологи в ґрунті за рахунок березневих опадів. В подальшому галушення та бутонізація рослин сої відбувалися в сухих умовах з варіюванням гідротермічного коефіцієнта (ГТК) від 0,0 до 0,30. Періоди цвітіння та утворення бобів проходили за сухих та посушливих умов (ГТК в межах 0,13–0,84). Проходження наливу насіння відбувалося також за посушливих умов, що спричиняло абортівність насіння і бобів. У цілому гідротермічні ресурси вегетаційного періоду сої в 2018 р. дорівнювали 0,34, що визначало умови вегетації, як сухі ( $0,5 < \text{ГТК}$ ).

У 2019 р. весна була сприятливою для початкового росту і розвитку досліджуваних сортів сої – у квітні випало 44,5 мм опадів (127,1% від норми), у травні – 43,4 мм (88,6% від норми), що сприяло задовільному проходженню фази бутонізації, але пізніше в червні випало лише 15,2 мм (25,8% від норми), у липні – 38,8 мм (54,6% від норми). Така кількість опадів була недостатньою і призводила до абортівності квіток на рослинах сої усіх строків сівби. В подальшому погодні умови ще більше погіршилися. В серпні температура повітря вдень досягала 33,8°C, разом з відсутністю

(<http://sort.sops.gov.ua/search/search>). The second order plots were various sowing timeframes (factor B): early (6–8°C), medium (10–12°C) and late (14–16°C). The third order plots were pre-sowing treatments of soybean seeds with the bacterial agent Humisol, growth regulators (Adaptophyte and Rost-concentrate) and the fungicide Fundazol. The plot area was 20 m<sup>2</sup>; the record area was 16 m<sup>2</sup>. Major constituents of yield were measured in compliance with methods of the State Variety Trials of Agricultural Crops [9]. Data were statistically processed by ANOVA in Microsoft Office Excel [16].

The farming technique of soybean growing in the experiments, except for the studied factors (sowing period, pre-sowing treatment of seeds), was traditional for the Eastern Forest-Steppe of Ukraine [23].

### Results and Discussion

The hydrothermal conditions in the study years significantly differed from the long-term average values, allowing us to more objectively evaluate the influence of the studied factors. In 2018, the “sowing-emergence” period had enough water in the soil due to March precipitation. Later, during the tillering and budding of soybean plants, it was dry and the hydrothermal coefficient (HTC) varied from 0.0 to 0.30. The anthesis and pod formation occurred under dry and arid conditions (HTC = 0.13–0.84). The seed filling also occurred under dry conditions, which caused seed and pod abortions. In general, the HTC of the soybean growing period in 2018 was 0.34, meaning that the vegetation conditions were dry (HTC < 0.5).

In 2019, the spring was favorable for the initial growth and development of the soybean varieties under investigation: there was 44.5 mm of precipitation (127.1% of the long-term average) in April and 43.4 mm (88.6% of the long-term average) in May, which made the budding phase satisfactory but later, in June and July, there was only 15.2 mm and 38.8 mm, respectively (25.8% and 54.6% of the long-term average). This amount of precipitation was insufficient and led to flower abortions on soybean plants sown in any timeframe. Further, the weather worsened even more. In August, the daytime air temperature reached 33.8°C and there was no precipitation; these were critical conditions for the pod formation and

опадів це призводило до критичних умов для формування бобів і до їх абортівності. Все це спричинило різке зменшення врожайності зерна сої, особливо в посівах ранніх строків сівби. Гідротермічні ресурси вегетаційного періоду сої в 2019 року дорівнювали 0,52, що визначало умови вегетації, як посушливі ( $0,5 < ГТК < 0,9$ ).

2021 рік на початку вегетації характеризувався як оптимальний ( $1 < ГТК < 1,3$ ), що сприяло отриманню найбільшої польової схожості насіння. Середньодобова температура повітря в червні становила  $20,8^{\circ}\text{C}$ , опадів випало 81,9 мм (138,8% від норми). Але в наступний період спекотне літо негативно вплинуло на ріст і розвиток рослин сої ( $0,5 < ГТК < 0,9$ ). Середньодобова температура повітря в липні становила  $26,4^{\circ}\text{C}$ , кількість опадів складала лише 16,2 мм (22,8% від норми). Несприятливі подальші умови періоду вегетації та порівняно більша густота сходів спричиняли конкуренцію між рослинами сої, що призвело до зниження їх виживаності. Така кількість опадів була недостатньою для формування бобів. У цілому гідротермічні ресурси вегетаційного періоду сої в 2021 році дорівнювали 1,03, що визначало умови вегетації, як достатньо зволожені (1,0–1,3).

За результатами аналізу біометричних показників було встановлено, що в середньому за три роки найбільшу кількість бобів було сформовано на рослинах сорту Мальвіна 18,6 шт., дещо менше у сорту Кобза (15,7 шт.) і найменше у сорту Аннушка (13,2 шт.), різниця становила 5,4 шт. або 41,0 % (табл. 1). За ранньої сівби при температурі ґрунту  $6-8^{\circ}\text{C}$  на рослинах сорту Аннушка було сформовано в середньому 11,6 бобів, сорту Кобза – 14,3, сорту Мальвіна – 17,8 бобів. Найбільшу кількість бобів (в середньому за три роки та за варіантами обробки насіння): 14,3; 16,6; 19,3 відповідно до сортів було отримано за сівби в прогрітий ґрунт до температури  $14-16^{\circ}\text{C}$ , що підтверджується іншими авторами [8, 12, 14]. У середньому за роками кількість бобів залежно від варіантів дослідів варіювала в межах від 14,1 до 17,4 шт. За оброблення насіння гумісолом їх кількість збільшувалася на 1,6 шт., адаптофітом – на 3,3 шт. або на 23,3 %, рост-концентрат – на 2,8 шт. або на 19,5 %, а оброблення фундазолом забезпечувало найменшу прибавку – 0,9 шт. або на 6,1 % порівняно з контрольним варіантом.

resulted in pod abortions. All this caused a sharp decrease in the yield of the soybean cultivars, especially early sown. The HTC of the 2019 soybean growing was 0.52, which meaning that the vegetation occurred under dry conditions ( $0.5 < HTC < 0.9$ ).

In 2021, the beginning of the growing period was optimal ( $1 < HTC < 1.3$ ), which contributed to the highest germinability of seeds in the field. The mean daily air temperature in June was  $20.8^{\circ}\text{C}$ ; the precipitation amount was 81.9 mm (138.8% of the long-term average). However, later the hot summer negatively affected the growth and development of soybean plants ( $0.5 < HTC < 0.9$ ). The mean daily air temperature in July was  $26.4^{\circ}\text{C}$ ; the precipitation amount was only 16.2 mm (22.8% of the long-term average). Subsequently, the unfavorable conditions during the vegetation period and relatively high seedling density caused competition between soybean plants, reducing their survival. This amount of precipitation was not enough for the pod formation. In general, the HTC of the soybean growing period in 2021 was 1.03, meaning that the vegetation occurred under sufficiently wet conditions (1.0–1.3).

Analysis of biometric parameters showed that, on average across the three years, cv. 'Malvina' had the largest number of pods per plant (18.6); cv. 'Kobza' had somewhat fewer pods per plant (15.7); and cv. 'Annushka' had the fewest pods per plant (13.2). The difference was 5.4 pods or 41.0% (Table 1). When the cultivars were sown early, at a soil temperature of  $6-8^{\circ}\text{C}$ , the mean number of pods per plant was 11.6, 14.3 and 17.8 in cvs. 'Annushka', 'Kobza' and 'Malvina', respectively. The mean largest number of pods (averaged across the three years and seed treatments) was 14.3, 16.6 and 19.3, respectively, when the cultivars were sown in the soil warmed to  $14-16^{\circ}\text{C}$ , which is confirmed by other authors [8, 12, 14]. On average across the study years, the number of pods per plant varied from 14.1 to 17.4, depending on the experimental variant. When seeds were treated with Humisol, there were 1.6 pods more per plant; Adaptophyt increased the number of pods per plant by 3.3 pods or 23.3%; Rost-concentrate - by 2.8 pods or 19.5%; and Fundazol treatment resulted in the smallest increase of 0.9 pods or 6.1% compared to the control.

**Таблиця 1.** Продуктивність рослин сої залежно від сорту, строків сівби та передпосівного оброблення насіння (середнє за 2018, 2019, 2021 pp.)

**Table 1.** Soybean plant performance in different cultivars depending on sowing timeframes and pre-sowing seed treatments (mean for 2018, 2019 and 2021)

Сорти (A)/ Cul- tivar (A)	Строки сівби (B) / Sowing timeframe (B)	Препарати (C) / Agent (C)	Кількість на од- ній рослині, шт. / Number per plant		Маса на- сіння з од- нієї рос- лини, г / Seed weight per plant, g	Маса 1000 шт. насінин, г / Thousand seed weight, g
			бобів / pods	на- сіння / seeds		
Аннушка / Annushka	ранній / Early (6–8°C)	без оброблення / No treatment	10.9	23.6	2.9	115.3
		гумісол / Humisol	11.4	27.8	3.4	120.3
		адаптофіт / Adaptophyt	12.4	30.2	3.7	122.1
		рост-концентрат / Rost-concentrate	12.0	29.3	3.6	121.3
		фундазол / Fundazol	11.2	27.2	3.3	119.8
	Середній / Medium (10–12°C)	без оброблення / No treatment	12.3	27.6	3.5	117.5
		гумісол / Humisol	13.8	31.0	3.9	121.7
		адаптофіт / Adaptophyt	15.0	33.7	4.3	128.4
		рост-концентрат / Rost-concentrate	14.6	32.7	4.1	124.1
		фундазол / Fundazol	13.0	29.3	3.7	121.4
	пізній / Late (14–16°C)	без оброблення / No treatment	12.7	29.0	3.8	114.2
		гумісол / Humisol	14.3	32.7	4.3	119.3
		адаптофіт / Adaptophyt	15.9	36.3	4.8	121.3
		рост-концентрат / Rost-concentrate	14.9	34.1	4.5	121.0
		фундазол / Fundazol	13.7	31.2	4.1	119.0
Кобза / Kobza	ранній / Early (6–8°C)	без оброблення / No treatment	12.7	29.0	3.8	124.0
		гумісол / Humisol	14.3	32.7	4.3	127.0
		адаптофіт / Adaptophyt	15.9	36.3	4.8	130.3
		рост-концентрат / Rost-concentrate	15.4	35.2	4.6	128.1
		фундазол / Fundazol	13.3	30.5	4.0	126.2
	Середній / Medium (10–12°C)	без оброблення / No treatment	14.5	30.5	4.0	126.7
		гумісол / Humisol	16.1	33.8	4.4	130.0
		адаптофіт / Adaptophyt	17.7	37.2	4.9	134.7
		рост-концентрат / Rost-concentrate	17.2	36.1	4.7	133.9
		фундазол / Fundazol	15.2	32.0	4.2	128.2
	пізній / Late (14–16°C)	без оброблення / No treatment	14.8	31.8	4.3	125.5
		гумісол / Humisol	16.3	35.0	4.8	129.4
		адаптофіт / Adaptophyt	18.5	39.8	5.4	131.7
		рост-концентрат / Rost-concentrate	18.1	39.0	5.2	130.2
		фундазол / Fundazol	15.4	33.0	4.5	127.9
Мальвіна / Malvina	ранній / Early (6–8°C)	без оброблення / No treatment	15.7	34.1	4.5	126.7
		гумісол / Humisol	18.0	39.2	5.2	129.7
		адаптофіт / Adaptophyt	19.4	42.1	5.6	132.4
		рост-концентрат / Rost-concentrate	19.0	41.2	5.4	131.7
		фундазол / Fundazol	17.0	37.0	4.9	128.2
	Середній / Medium (10–12°C)	без оброблення / No treatment	16.6	35.8	4.8	129.6
		гумісол / Humisol	18.7	40.2	5.4	132.4
		адаптофіт / Adaptophyt	20.8	44.7	6.0	136.9
		рост-концентрат / Rost-concentrate	20.2	43.4	5.8	133.3
		фундазол / Fundazol	17.7	38.0	5.2	131.2
	пізній / Late (14–16°C)	без оброблення / No treatment	17.0	37.6	5.0	128.4
		гумісол / Humisol	19.1	42.2	5.7	130.2
		адаптофіт / Adaptophyt	21.2	46.9	6.3	133.9
		рост-концентрат / Rost-concentrate	20.6	45.6	6.1	132.9
		фундазол / Fundazol	18.4	40.9	5.5	129.2



Подібна тенденція спостерігалася і за показником кількості насіння на одній рослині. За роки досліджень найбільшу кількість насіння було сформовано сортом Мальвіна (40,6 шт.), дещо меншу у сорту Кобза (34,1 шт.) і найменшу — у сорту Аннушка (30,4 шт.). Найменше насіння на кожній рослині формувалося в усіх сортів сої за сівби в перший строк (у сорту Аннушка – 27,6, у сорту Кобза – 32,7, у сорту Мальвіна – 38,7 шт.). За сівби у третій строк при температурі ґрунту 14–16°C кількість насіння на кожній рослині збільшилася відповідно до сортів на 5,1, 3,0 і 3,9 шт. За сівби в другий строк спостерігалася зменшення числа насіння на одній рослині порівняно із посівами в третій строк – у сорту Аннушка – на 3,3, у сорту Кобза – на 1,2, у сорту Мальвіна – на 1,7 шт.

У середньому за роками кількість насіння на рослині залежно від варіантів була в межах від 31,0 до 38,6 шт. За оброблення насіння гумісолом його кількість збільшувалася на 4,0 шт. (або на 12,8 %), адаптофітом — на 7,6 шт. (або на 24,4 %), за обробки рост-концентратом кількість бобів зростала на 6,4 шт. (або на 20,6 %), а обробка фундазолом забезпечувала найменшу прибавку – на 2,2 шт. (або на 7,2 %) порівняно з контрольним варіантом.

Найбільшу масу насіння було сформовано у варіантах сівби сої сорту Мальвіна 5,4 г, дещо меншу у сорту Кобза – 4,5 г і найменшу у сорту Аннушка – 3,9 г. Маса насіння з однієї рослини в середньому за роки досліджень та варіантами оброблення насіння в посівах третього строку становила у сорту Аннушка 4,3 г, у сорту Кобза – 4,8, у сорту Мальвіна – 5,7 г, або була більшою порівняно з першим строк. У середньому за роками, сортами та строками сівби маса насіння на рослині залежно від варіанта оброблення насіння варіювала від 4,1 до 5,1 г. Оброблення насіння гумісолом збільшувало масу насіння на 0,5 г (або на 13,1 %), адаптофітом – на 1,0 г (25,1%), рост-концентратом – на 0,8 г (20,2%), а обробка фундазолом забезпечувала найменшу прибавку – 0,3 г (або на 7,7%) порівняно з контрольним варіантом.

За роки дослідження найбільша маса 1000 насіння спостерігалася у варіантах сої сорту Мальвіна 131,1 г, дещо менше у сорту Кобза (128,9 г) і найменше у сорту Аннушка –

There was a similar trend in the number of seeds per plant. Across the study years, the mean greatest number of seeds was recorded for cv. 'Malvina' (40.6); cv. 'Kobza' formed slightly fewer seeds per plant (34.1); and cv. 'Annushka' had the fewest seeds per plant (30.4). The fewest seeds on per plant were noted in all soybean cultivars sown within the first timeframe (cv. 'Annushka' - 27.6; cv. 'Kobza' - 32.7; and cv. 'Malvina' - 38.7). Upon sowing within the third timeframe, at a soil temperature of 14–16°C, the number of seeds per plant increased by 5.1, 3.0, and 3.9 seeds, respectively. Upon sowing within the second timeframe, a decrease in the number of seeds per plant was observed compared to the third timeframe: by 3.3 seeds in cv. 'Annushka', by 1.2 seeds in cv. 'Kobza' and by 1.7 seeds in cv. 'Malvina'.

On average across the study years, the number of seeds per plant ranged from 31.0 to 38.6 seeds in different experimental variants. Upon Humisol treatment of seeds, there were 4.0 seeds more per plant (or 12.8% more); Adaptophyt increased the number of seeds per plant by 7.6 seeds (or by 24.4%); Rost-concentrate increased the number of seeds per plant by 6.4 seeds (or by 20.6%), and Fundazol treatment resulted in the smallest increase of 2.2 seeds (or 7.2%) compared to the control.

The largest weight of seeds per plant of 5.4 g was recorded for soybean cv. 'Malvina' sown within any timeframe; in cv. 'Kobza', this parameter was slightly lower (4.5 g); and in cv. 'Annushka', the smallest weight of seeds per plant of 3.9 g was observed. In cv. 'Annushka' sown within the third timeframe, the weight of seeds per plant averaged across the study years and seed treatments was 4.3 g variety; in cv. 'Kobza' sown within the third timeframe, it was 4.8 g; and in cv. 'Malvina' sown within the third timeframe, it was 5.7 g: these values were higher than the corresponding ones in the cultivars sown within the first timeframe. On average across the study years, cultivars and sowing periods, the weight of seeds per plant varied from 4.1 to 5.1 g, depending on seed treatment. Treatment of seeds with Humisol increased the weight of seeds per plant by 0.5 g (or by 13.1%); Adaptophyt treatment - by 1.0 g (25.1%); Rost-concentrate treatment - by 0.8 g (20.2%); and Fundazol treatment resulted in the smallest increase of 0.3 g (or 7.7 %) compared to the control.

120,4 г. Найбільша маса 1000 насінин була у рослин, вирощених в посівах другого строку сівби і становила у сорту Аннушка 122,6 г, у сорту Кобза 130,7, у сорту Мальвіна – 132,7 г, або була більшою за першого і третього строку, що в цілому підтверджується іншими авторами [12, 14]. У середньому за роками, сортами та строками сівби маса 1000 насінин залежно від варіанту оброблення насіння коливалася в межах від 123,1 до 130,2 г. Оброблення насіння гумісолом збільшувало масу 1000 насінин на 3,6 г (або на 2,9 %), адаптофітом – на 7,1 г (5,8 %), рост-концентратом – на 5,4 г (4,4 %), а оброблення фундазолом забезпечувало найменшу прибавку – 2,6 г (2,1 %) порівняно з контролем. Ці результати узгоджуються з даними іншого автора [25]. За результатами застосування адаптофіту в посівах ячменю ярого маса 1000 насінин збільшувалося на 0,9–2,2 г і досягала найбільшої величини у сорту Патрицій після обробки адаптофітом – 45,8 г.

Нашими дослідженнями встановлено, що урожайність зерна сої в Східному Лісостепу України залежить не тільки від строків сівби і характеру весни, а й від погодних умов літа (табл. 2).

У середньому за роками дослідження найвища врожайність зерна в досліді (2,48 т/га) формувалася у сорту Кобза у варіанті з середнім строком сівби за температури ґрунту 10–12°C і за умови оброблення насіння рост-концентратом. Якщо проаналізувати за роками, то у 2018 та 2021 рр. врожайність була найбільшою у варіантах середнього строку сівби у сорту Мальвіна за умови оброблення насіння адаптофітом (2,24 та 2,69 т/га), у 2019 р. – у варіанті середнього строку сівби у сорту Кобза за умови оброблення насіння рост-концентратом – 2,91 т/га.

У середньому за роками дослідження, найвища різниця за врожайністю зерна сої була за фактором сорт, а саме сорт Аннушка суттєво поступався сортам Кобза та Мальвіна і ця різниця становила 0,31 та 0,43 т/га. Різниця між сортами Кобза та Мальвіна становила – 0,12 т/га і була в межах похибки дослідів (при  $HP_{05}$  за фактором А – 0,15 т/га).

Across the study years, the greatest thousand seed weight of 131.1 g was observed in soybean cv. 'Malvina'; in cv. 'Kobza', this parameter was slightly lower (128.9 g); and cv. 'Annushka' showed the lowest thousand seed weight of 120.4 g. The greatest thousand seed weight was recorded for plants sown within the second timeframe: was 122.6 g in cv. 'Annushka', 130.7 g in cv. 'Kobza' and 132.7 g in cv. 'Malvina'; these values were higher than the corresponding ones for the first and third timeframes, which generally is in agreement with other researchers' data [12, 14]. On average across the years, cultivars and sowing periods, the thousand seed weight varied from 123.1 to 130.2 g, depending on seed treatment. Treatment of seeds with Humisol increased the thousand seed weight by 3.6 g (or by 2.9%); Adaptophyt treatment - by 7.1 g (5.8%); Rost-concentrate treatment - by 5.4 g (4.4%); and Fundazol treatment resulted in the smallest increase of 2.6 g (2.1 %) compared to the control. These results are consistent with another author's data [25]. Application of Adaptophyt on spring barley increased the thousand seed weight by 0.9–2.2 g, with the highest value of 45.8 g in cv. 'Patriysii'.

We found that the yield of soybeans in the Eastern Forest-Steppe of Ukraine depended not only on sowing time and spring weather but also on summer weather (Table 2).

On average across the study years, the greatest seed yield in the experiment (2.48 t/ha) was harvested from cv. 'Kobza' treated with Rost-concentrate and sown within the medium timeframe at a soil temperature of 10–12°C. If we analyze by year, in 2018 and 2021, the maximum yield was harvested from Adaptophyt-treated and sown within the medium timeframe cv. 'Malvina' (2.24 and 2.69 t/ha); in 2019, Rost-concentrate-treated and sown within the medium timeframe cv. 'Kobza' produced the maximum yield of 2.91 t/ha.

On average across the study years, the greatest difference in the soybean seed yield was due to the cultivar factor, specifically cv. 'Annushka' was significantly inferior to cvs. 'Kobza' and 'Malvina' and this difference amounted to 0.31 and 0.43 t/ha, respectively. The difference between cv. 'Kobza' and cv. 'Malvina' was 0.12 t/ha and was within the error of the experiment ( $LSD_{05}$  for factor A – 0.15 t/ha).

**Таблиця 2.** Забарвлення зерна гібридних рослин F<sub>1</sub>

**Table 2.** Soybean seed yield depending on cultivar, sowing timeframe and pre-sowing seed treatment, t/ha (mean for 2018, 2019 and 2021)

Сорти (A)/ Cultivar (A)	Строки сівби (B) / Sowing timeframe (B)	Препарати (C) / Agent (C)	Роки / Year			Середнє за ро- ками / Average across the years	Середнє за фак- торами / Average of factors			
			2018	2019	2021		A	B	C	
Аннушка / Annushka	ранній / Early (6–8°C)	без оброблення / No treatment	1.39	0.90	1.53	1.27	1.57	1.48	1.38	
		гумісол / Humisol	1.58	1.15	1.77	1.50			1.55	
		адаптофіт / Adaptophyt	1.63	1.31	1.93	1.62			1.73	
		рост-концентрат / Rost-concentrate	1.60	1.25	1.87	1.57			1.66	
		фундазол / Fundazol	1.53	1.21	1.63	1.46			1.51	
	Середній / Medium (10–12°C)	без оброблення / No treatment	1.51	1.29	1.73	1.51		1.68	1.54	
		гумісол / Humisol	1.68	1.45	1.97	1.60				
		адаптофіт / Adaptophyt	1.83	1.67	2.13	1.88				
		рост-концентрат / Rost-concentrate	1.78	1.60	2.07	1.82				
		фундазол / Fundazol	1.60	1.40	1.83	1.61				
	пізній / Late (14–16°C)	без оброблення / No treatment	1.37	1.23	1.51	1.37	1.54	1.54		
		гумісол / Humisol	1.50	1.38	1.74	1.54				
		адаптофіт / Adaptophyt	1.69	1.43	1.98	1.70				
		рост-концентрат / Rost-concentrate	1.58	1.35	1.87	1.60				
		фундазол / Fundazol	1.48	1.26	1.68	1.47				
Кобза / Kobza	ранній / Early (6–8°C)	без оброблення / No treatment	1.48	1.37	1.83	1.56	1.87		1.77	1.66
		гумісол / Humisol	1.68	1.55	2.07	1.77				1.86
		адаптофіт / Adaptophyt	1.83	1.71	2.33	1.96				2.06
		рост-концентрат / Rost-concentrate	1.78	1.65	2.27	1.90				2.01
		фундазол / Fundazol	1.53	1.41	2.00	1.65				1.74
	Середній / Medium (10–12°C)	без оброблення / No treatment	1.77	1.62	2.04	1.81		2.02	1.81	
		гумісол / Humisol	1.93	1.77	2.35	2.02				
		адаптофіт / Adaptophyt	2.11	1.97	2.54	2.21				
		рост-концентрат / Rost-concentrate	2.05	2.91	2.49	2.15				
		фундазол / Fundazol	1.85	1.65	2.20	1.90				
	пізній / Late (14–16°C)	без оброблення / No treatment	1.56	1.45	1.83	1.61	1.81	1.81		
		гумісол / Humisol	1.71	1.53	2.11	1.78				
		адаптофіт / Adaptophyt	1.95	1.77	2.35	2.02				
		рост-концентрат / Rost-concentrate	1.88	1.75	2.27	1.97				
		фундазол / Fundazol	1.58	1.46	1.98	1.67				
Мальвіна / Malvina	ранній / Early (6–8°C)	без оброблення / No treatment	1.66	1.54	1.94	1.71	2.01		1.94	1.80
		гумісол / Humisol	1.83	1.77	2.25	1.95				2.01
		адаптофіт / Adaptophyt	2.09	1.82	2.40	2.10				2.19
		рост-концентрат / Rost-concentrate	2.08	1.75	2.37	2.07				2.16
		фундазол / Fundazol	1.73	1.70	2.13	1.85				1.88
	Середній / Medium (10–12°C)	без оброблення / No treatment	1.86	1.75	2.20	1.94		2.14	1.95	
		гумісол / Humisol	2.01	1.95	2.44	2.13				
		адаптофіт / Adaptophyt	2.24	1.98	2.69	2.34				
		рост-концентрат / Rost-concentrate	2.21	2.05	2.64	2.27				
		фундазол / Fundazol	1.87	1.81	2.32	2.00				
	пізній / Late (14–16°C)	без оброблення / No treatment	1.69	1.57	1.99	1.75	1.95	1.95		
		гумісол / Humisol	1.83	1.77	2.25	1.95				
		адаптофіт / Adaptophyt	2.09	1.90	2.40	2.13				
		рост-концентрат / Rost-concentrate	2.08	1.80	2.47	2.12				
		фундазол / Fundazol	1.67	1.65	2.07	1.80				
H <sub>IP</sub> 05 за факторами LSD 05 for factors: A – 0.15; B – 0.03; C – 0.01; ABC – 0.2										

Також, слід зазначити, що значною мірою врожайність зерна зростала за умови оброблення насіння перед сівбою досліджуваними препаратами, прибавка була суттєвою, в межах 0,10–0,38 т/га (при НР0.05 за фактором С – 0,01 т/га). Найвища прибавка врожайності зерна сої порівняно з контрольним варіантом (в середньому за роками, сортами та строками сівби) спостерігалася на варіантах з обробленням насіння адаптофітом – 0,38 т/га і рост-концентратом – 0,37 т/га. Такі дані і цілком збігаються з результатами інших досліджень. Наприклад, зафіксовано підвищення під впливом адаптофіту урожайності ячменю ярого [25], соняшнику [26], картоплі [27], .

Вплив строків сівби на зернову продуктивність сої був найменшим, зокрема, середній строк сівби за температури ґрунту 10–12°C забезпечив прибавку 0,24 т/га, сівба (за температури ґрунту 14–16°C) забезпечувала вже не суттєву прибавку (0,04 т/га), порівняно з раннім строком сівби за температури ґрунту 6–8°C (при НР0.05 за фактором В – 0,03 т/га).

За екстремальних погодних умов, які склалися у 2019 р., найбільшу врожайність було отримано у сорту Мальвіна – 1,79 т/га, дещо меншу – 1,71 т/га у сорту Кобза і 1,33 т/га – у сорту Аннушка.

Встановлено, що досліджувані сорти сої не однаково реагували на строки сівби і погодні умови років дослідження. У 2018 р. найбільша врожайність досліджуваних сортів була за другого строку сівби – 1,41–1,66 т/га, а найменшою – за пізнього строку сівби – 1,37–1,55 т/га. У 2019 р., навпаки, найбільшою врожайність була за пізнього строку сівби – 1,23–1,37 т/га. Отримані результати узгоджуються із результатами інших авторів [6, 8, 12].

## Висновки

Результатами спостережень доведено високий вплив варіантів дослідження на формування індивідуальної продуктивності рослин сої та показники урожайності. В усі роки дослідження найкращі показники індивідуальної продуктивності рослин сої формувалися посівами сої сорту Мальвіна у варіантах з середнім строком сівби (температура ґрунту –10–12°C) і передпосівної обробки насіння Адаптофітом.

У середньому за роки дослідження вищу врожайність насіння сої отримали у сорту Мальвіна у варіантах з середнім строком сівби (температура ґрунту – 10–12°C) і передпосівної обробки насіння Адаптофітом. У цьому варіанті урожайність становила 2,34 т/га.

In addition, it should be noted that the grain yield increased to a large extent after pre-sowing treatment of seeds with the studied agents; the increase was significant, ranging 0.10 to 0.38 t/ha (at LSD0.05 for factor C 0.01 t/ha). The greatest gain in the soybean grain yield compared to the control (on average across years, cultivars and sowing periods) was recorded for Adaptophyt (0.38 t/ha) and Rost-concentrate (0.37 t/ha) treatment. Such data generally are in agreement with results of other studies. For example, there was an increase in the yields of spring barley [25], sunflower [26] and potato [27] attributed to Adaptophyt.

The effect of sowing time on the soybean grain yield was the smallest, in particular, sowing within the medium time frame at a soil temperature of 10–12°C resulted in an increase of 0.24 t/ha and sowing at a soil temperature of 14–16°C gave no significant increase (0.04 t/ha) compared to the early sowing period at a soil temperature of 6–8°C (at LSD0.05 for factor B 0.03 t/ha).

Under the extreme weather conditions in 2019, the maximum yield of 1.79 t/ha was harvested from cv. 'Malvina' variety; cv. 'Kobza' yielded slightly less (1.71 t/ha); and cv. 'Annushka' yielded 1.33 t/ha.

The investigated soybean cultivars were found to respond differently to sowing time and weather in the study years. In 2018, the greatest yield (1.41–1.66 t/ha) from the studied cultivars was harvested when they were sown within the second period and the smallest yield (1.37–1.55 t/ha) was harvested when they were sown late. In 2019, on the contrary, the maximum yield of 1.23–1.37 t/ha was obtained from the late-sown cultivars. These results are consistent with other authors' findings [6, 8, 12].

## Conclusions

We proved the strong impact of the factors under investigation on the individual performance and yield of soybean plants. In all study years, cv. 'Malvina' showed the best individual performance when it was treated with Adaptophyt before sowing and planted within the medium timeframe (soil temperature –10–12 °C).

On average across the study years, the maximum yield of soybean seeds amounting to 2.34 t/ha was harvested from cv. 'Malvina' when it was treated with Adaptophyt before sowing and planted within the medium timeframe (soil temperature –10–12 °C).

## References

1. Anishyn, L.A. (1998) Agroclimatic reserves for stabilizing corn and soybean production in Ukraine. ZNP Ukr.DNDPTI "Ahroresursy". 181-192. [in Ukrainian]
2. Artemenko, S.F. (2011) The impact of agrotechnical measures and sowing dates under different weather conditions on soybean yield. Biul. In-tu Zern. Hosp-va. 40, 40–45. [in Ukrainian]
3. Babych, A.O. (1993) Modern production and use of soybeans. K.: Urozhai. 432 p. [in Ukrainian]
4. Babych, A.O. (1995) Feed and protein resources of the world. K., Ahrarna Nauka. 298 p. [in Ukrainian]
5. Bakhmat, O.M. (2012) Modeling adaptive soybean cultivation technology. Kamianets-Podilskyi, 2012. 436 p. [in Ukrainian]
6. Coffel, E.D., Lesk, C., Winter, J.M., Osterberg, E.C., Mankin, J.S. (2022) Crop-climate feedbacks boost US maize and soy yields. Environmental Research Letters, 17 (2), doi: 10.1088/1748-9326/ac4aa0
7. Hryhorieva, O.M., Hryhoriev, M.I. (2001) The productivity of the Medea soybean variety depending on growing conditions. Kormy i Kormovyrobnytstvo. 47, 114-115. [in Ukrainian]
8. Książak, J., & Bojarszczuk, J. (2022). The seed yield of soybean cultivars and their quantity depending on sowing term. Agronomy, 12(5), 1066. <https://doi.org/10.3390/agronomy12051066>
9. Methods of examination of cereal, groat crop and legume varieties for suitability for dissemination in Ukraine. Kyiv. 2016. 81 p. [in Ukrainian]
10. Mikheiev, V.H. (2006) Treatment of seeds with bacterial preparations is an important element of soybean cultivation technology. Innovative Directions of Scientific Activities of Young Scientists in Plant Production: Abstracts of the 3rd International Scientific Conference. Kharkiv, IR im. V.V. Yurieva. Kh. 168-169. [in Ukrainian]
11. Mikheiev, V.H. (2012) The influence of growth regulators and seed inoculation on the productivity of photosynthesis of soybean crops. Bulletin of the Center for Science Provision of Agribusiness in the Kharkiv Region. 13, 172-179. [in Ukrainian]
12. Moldovan, V., Moldovan, Z., & Sobchuk, S. (2021). Sowing terms as a way to increase yield of soybean varieties with different vegetation period. Kormy i Kormovyrobnytstvo, (91), 71-81. <https://doi.org/10.31073/kormovyrobnytstvo202191-06> [in Ukrainian]
13. Mykhailov V.H., Sherbyna O.Z., Romaniuk L.S. (2001) Reaction of varieties and selection numbers of soybeans to changes in growing conditions. Kormy i Kormovyrobnytstvo. 47, 27–29. [in Ukrainian]
14. Nahorny, V. I. (2010). Influence of sowing terms and methods on the productivity of soybean varieties. Kormy i Kormovyrobnytstvo, (66), 96-102. [in Ukrainian]
15. Ohurtsov, Ye.M. (2008). Soybeans in the Eastern Forest Steppe of Ukraine: monograph. Kharkiv. 270 p. [in Ukrainian]
16. Rozhkov, A.O., Puzik, V.K., Kalenska, S.M. et al. (2016). Experimentation in agronomy: manual in 2 books. Book 2. Kharkiv: Maidan. 324 p. [in Ukrainian]
17. Rozhkov, A.O., Puzik, V.K., Kalenska, S.M. et al. (2016). Experimentation in agronomy: manual in 2 books. Book 1. Theoretical aspect of experimentation. Kharkiv: Maidan, 316 p. [in Ukrainian]
18. Shepilova, T.P. (2019) The influence of growth regulators on soybean productivity in the conditions of the northern steppe of Ukraine. Scientific Progress & Innovations, 3, 80–84. doi: 10.31210/visnyk2019.03.10 [in Ukrainian]
19. Shepilova, T.P., Petrenko, D.I., Leshchenko, S.M. & Artemenko, D.Y. (2021). Formation of soybean productivity depending on sowing time and plant growth regulators. Scientific Progress & Innovations, 4, 30–35. <https://doi.org/10.31210/visnyk2021.04.03> [in Ukrainian]
20. Shevnikov, M.Ya., Koblai O.O. (2015) Application of biological, chemical, and physical methods in soybean and corn cultivation technologies. Poltava, 258 p. [in Ukrainian]
21. Siedokur, L.K., Retman S.V., Dzham O.V., Horbachova N.P. (2000) Effective fungicide Alto Super – for the protection of winter wheat and spring barley from a complex of diseases. Zakhyst Roslyn. 3, 5–6. [in Ukrainian]
22. Tikhonenko, D.P., Dehtyaryov, Yu.V. (2016) Soil cover of the research field of "Rohan Stationary" V.V. Dokuchaev KhNAU. Visn. KhNAU im. V.V. Dokuchaieva. Series "Soil Science, Agrochemistry, Agriculture, Forestry, Soil Ecology". 2, 5–13. [in Ukrainian]
23. Tyshchenko, L.M., Korniienko, S.I., Dubrovin, V.A. et al (2015), Flow charts of crop cultivation: monograph / ed. by LM Tyshchenko / Petro Vasylenko Kharkiv National Technical University. Kharkiv: Generous Manor Plus, 273 p. [in Ukrainian]

24. Venediktov, O.M. (2003) Ways to increase soybean productivity in the conditions of Central Forest-Steppe of Ukraine. *Kormy i Kormovyrobnytstvo*. 50, 65-69. [in Ukrainian]
25. Bahan A. V., Yarmosh D. I. (2021) Effects of the growth regulator Adaptophyt on the performance of spring barley cultivars. *Current Aspects and Technologies in Plant Protection: Proceedings of the International Scientific-Practical Internet Conference*. November 26, 2021. Poltava: PDAA. 32-35. [in Ukrainian]
26. Yermenko L.S., Sydorenko A.V., Olepir R.V., Ahafanova S.O. (2009) Performance of some agricultural crops treated with plant growth regulators. *Visnyk Poltavskoi Derzhavnoi Ahrarnoi Akademii*. 1, 43–45. [in Ukrainian]
27. Iskakova O. Sh. Performance of summer-sown potato cultivars on drip irrigation in the South of Ukraine. Thesis for the Academic degree of Candidate of Agricultural Sciences: 06.01.09 Plant Production. Mykolaiv, 2016. 170 p. [in Ukrainian]

Надійшла до редакції 20.11.2024 р.  
Received 20.11.2024

УДК 633.11:631.84

Ю.В. Попов\*, С.В. Авраменко

## Вплив осіннього підживлення азотом на урожайність озимої пшениці після різних попередників

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

\*E-mail: [yurii.ppp8@gmail.com](mailto:yurii.ppp8@gmail.com)

UDC 633.11:631.84

Yu.V. Popov\*, S.V. Avramenko

## Effect of Autumn Nitrogen Fertilization on The Yield of Winter Wheat Sown After Different Predecessors

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

\*E-mail: [yurii.ppp8@gmail.com](mailto:yurii.ppp8@gmail.com)

**Реферат:** Пшениця озима є однією з найбільш урожайних і цінних продовольчих культур, але може давати високі врожаї зерна доброї якості лише на родючих ґрунтах і за внесення достатньої кількості добрив. Особливо важливим є азотне підживлення посівів, яке повинно бути помірним з осені та достатнім у період кушіння й формування елементів структури врожайності. Незважаючи на велику кількість досліджень з азотними добривами, єдиної думки стосовно ефективності осіннього підживлення досі немає. Метою досліджень було визначення урожайності пшениці м'якої озимої після різних попередників – соняшнику, гороху та чорного пару – залежно від різних доз аміачної селітри за осіннього внесення. Польовий дослід включав 15 варіантів з використанням аміачної селітри в перерахунку на діючу речовину у дозах N30, N60, N90, N120. Осіннє внесення добрив на посівах озимої пшениці забезпечувало істотні прирости врожайності, особливо після попередника соняшник. Після попередників горох та чорний пар найбільша врожайність була отримана за дози N30, а після соняшнику – за N60. Подальше збільшення дози азоту не мало переваг порівняно з меншими дозами осіннього підживлення аміачною селітрою незалежно від попередника.

**Ключові слова:** озима пшениця, азотні добрива, аміачна селітра, осіннє підживлення, урожайність, попередник соняшник, попередник горох, попередник чорний пар.

**Abstract:** Winter wheat is one of the most productive and valuable food crops, but it can yield a lot of good-quality grain on fertile soils only or provided application of sufficient amounts of fertilizers. Nitrogen fertilization of crops is especially important; it should be moderate in autumn and sufficient during the tillering phase and yield formation. Despite numerous studies with nitrogen fertilizers, there is still no consensus on the effectiveness of autumn fertilization. The purpose of this study was to determine the yield of winter bread wheat sown after different predecessors (sunflower, pea and black fallow) depending on various doses of ammonium nitrate applied in autumn. The field experiment included 15 variants of ammonium nitrate application at doses of the active substance calculated as N30, N60, N90, and N120. Autumn fertilization of winter wheat significantly increased its yield, especially when wheat was sown after sunflower. After pea and black fallow, the highest yield was harvested at N30 dose; while N60 was required to achieve the highest yield from post-sunflower-sown wheat. A further increase in the nitrogen dose had no advantage over lower doses of autumn fertilization with ammonium nitrate, regardless of the predecessor.

**Key words:** winter wheat, nitrogen fertilizer, ammonium nitrate, autumn fertilization, yield, sunflower predecessor, pea predecessor, black steam.

Пшениця завжди була і залишається основним продуктом харчування. Збільшення виробництва зерна в Україні традиційно вважалося ключовою проблемою. Однак в останні роки, в період переходу країни до ринкових суспільних відносин за дефіциту техногенних ресурсів і

Wheat has always been and remains the main food. Increasing the grain production in Ukraine has traditionally been considered a key issue. However, recently, during the transition of the country to market relations, with a shortage of man-made resources and a

низького рівня технологічного процесу відзначається спад рівня й стабільності виробництва зерна, погіршення його якості і зниження рентабельності виробництва. В комплексі технологічних прийомів при вирощуванні пшениці важливе місце належить вибору попередника та правильному застосуванню добрив [1]. Зокрема, актуальним стає зміщення термінів до більш пізнього проведення основного та припосівного внесення добрив, а також прикореневого та позакореневого підживлень [2]. Разом з тим, за умов дефіциту вологи збільшення обсягів застосування азотних добрив не завжди гарантує позитивні результати навіть за вирощування пшениці озимої після чорного пару та гороху [3, 4]. Повідомляється, що дія азотних добрив за одноразового та роздільного внесення, як правило, однаковою мірою впливає на формування врожайності, а дво- та триразове внесення азоту інколи буває менш ефективним, ніж одноразове застосування всієї дози з осені [5].

За останні десятиріччя в Україні відзначаються зміни у кліматі в сторону більш континентального, через що частота прояву несприятливих явищ погоди для сільськогосподарських культур, зокрема озимих, зросла, що також істотно вплинуло на врожайність та валові збори зерна [6]. Важливим фактором формування високої врожайності є підбір попередника, який впливає на запаси продуктивної вологи, вміст поживних речовин та повітря у ґрунті; сприяє своєчасному отриманню сходів та значною мірою визначає подальший стан посівів культури [2]. Пшениця озима є найбільш чутливою до попередників [7].

Доведено, що науково обґрунтоване чергування культур є основою землеробства, запорукою його стабільності, оскільки істотно впливає на водний, поживний, біологічний режими ґрунту. Для умов недостатнього зволоження України відзначено позитивну дію чорного пару на водний режим ґрунту у сівозмінах. Пари вважаються ефективними засобами підвищення родючості ґрунту, накопичення у ньому вологи та необхідних поживних речовин [8]. Серед непарових попередників озимих зернових культур одним з найкращих прийнято вважати горох, оскільки ця культура рано звільняє поле та має незначну вегетативну масу. Також, як і усі бобові культури, горох здатний накопичувати азот у ґрунті, який засвоюється наступними культурами [9].

Натомість за останні роки в рослинництві відбулися значні зміни. Замість традиційних 10-пільних сівозмін з'явилися короткоротаційні 4-5-

low level of technological processes, there has been a decline in the level and stability of the grain production, deterioration in grain quality and decrease in the production profitability. In the complex of technological methods for wheat growing, the choice of predecessors and adequate application of fertilizers are important factors [1]. In particular, it is becoming feasible to shift basic, post-sowing, root, and leaf fertilizations to later timeframes [2]. At the same time, under water deficit, increased amounts of nitrogen fertilizers do not always guarantee positive results, even when winter wheat is grown after black fallow or pea [3, 4]. It was reported that single and fragmented fertilizations with nitrogen, in most cases, had very similar effects on the yield and double or triple application of nitrogen was sometimes less effective than single application of the entire dose of nitrogen in autumn [5].

Over the last decades, the climate in Ukraine has been turning more continental and the weather has been becoming unfavorable for agricultural crops, in particular winter crops, more frequently; it also significantly affects the grain yield and croppage [6]. The choice of predecessors is an important factor in achieving high yields, since predecessors influence available water reserves, nutrient contents and air volume in soil, contributing to timely emergence and largely determining further condition of crops [2]. Winter wheat is the most predecessor-sensitive crop [7].

Scientifically justified crop rotations were proven to be a basis of agriculture and a guarantee of its stability, as they significantly affect the water, nutrient, and biological profiles of soils. Upon insufficient precipitation in Ukraine, a positive effect of black fallow on the water profile of soil during crop rotations was noted. Fallows are considered an effective approach to enhance soil fertility as well as to accumulate water and necessary nutrients in soil [8]. Among non-fallow predecessors of winter cereals, pea is considered to be one of the best, as this crop vacates the field early and has a small vegetative mass. In addition, like all legumes, pea is able to accumulate nitrogen in soil and the accumulated nitrogen assimilated by subsequent crops [9].

However, significant changes have occurred in crop production in recent years. Instead of traditional, 10-field crop rotations,



пільні, у яких першочерговий пріоритет надається культурам, які щороку забезпечують високий прибуток. Більшість сільськогосподарських підприємств відмовилися від застосування системи парів, натомість частку посівів соняшнику з рекомендованих 10–12 % збільшили до 20–25 %, а в окремих господарствах – до 50 % від загальної структури посівних площ. Утім, на сьогоднішній день існує небагато відомостей щодо підбору технології вирощування озимих зернових після незадовільних попередників [10]. Отже, для подальшого підвищення ефективності та стабілізації виробництва зерна озимих колосових культур необхідне оновлення технології їх вирощування як після традиційних, так і після нових попередників з урахуванням сортових особливостей [2].

Чисельними дослідженнями встановлено, що близько половини приросту врожаю зернових культур досягається за рахунок збалансованого мінерального живлення рослин нових сортів [11]. Зміна клімату вносить свої корективи в технології вирощування сільськогосподарських культур як у світі в цілому, так і в Україні зокрема. Таким чином, у багатьох господарствах озимі зернові культури почали висівати пізніше рекомендованих строків: у жовтні, а інколи у листопаді. За таких змін у вирощуванні озимих культур нагальним постає питання адаптації системи удобрення до пізніх строків сівби. Зокрема, актуальним стає зміщення термінів проведення основного та припосівного внесення добрив, а також прикореневого та позакореневого підживлень. У деяких господарствах, де озимі культури вирощують за пізніх строків, дози основного удобрення стали зменшувати удвічі, натомість збільшили дози припосівного внесення добрив та наступних підживлень, які нерідко проводять в осінній період [2].

З метою підвищення та стабілізації виробництва зерна озимих культур після пізніх попередників рекомендовано застосовувати внесення мінеральних добрив як під основний обробіток ґрунту так і під час сівби у рядки та у підживлення [12]. Серед видів добрив, які застосовуються у весняне підживлення, більшість аграріїв перевагу традиційно віддають аміачній селітрі, натомість застосування цього виду добрив в осіннє підживлення ще мало вивчене [12].

Внесенням добрив восени у підживлення можна певною мірою впливати на ріст та загартовування рослин, від чого залежить зимостійкість пшениці [1]. У першу чергу необхідно підживлювати посіви пізніх строків сівби та після гірших попередників, зокрема

short, 4-5-field crop rotations have been evolved; in such crop rotations, top priority is given to crops that provide high profits every year. Most of agrarian enterprises do use fallows any longer; instead, the share of sunflower has been raised from the recommended 10–12% to 20–25%, and in some farms to 50% of the total acreage. However, to date, there is little information on the choice of technologies for growing winter cereals after unsatisfactory predecessors [10]. Therefore, in order to further improve the efficiency and stability of the winter spiked cereal grain production, it is necessary to update the technology of their cultivation after both traditional and new predecessors, with due account for varietal characteristics [2].

In numerous studies, it was demonstrated that about half of the gain in the cereal yields was attributed to balanced mineral nutrition of new varieties [11]. Climatic changes make agrarians modify crop cultivation technologies both worldwide and in Ukraine. Thus, many farms began to sow winter cereals later than the recommended time: in October, and sometimes in November. With such changes in the cultivation of winter crops, the issue of adapting fertilization regimens to late sowing becomes urgent. In particular, it is becoming feasible to shift basic, post-sowing, root, and leaf fertilizations to later timeframes. Some farms, where winter crops are sown late, started to halve basic fertilizer doses and, instead, to increase doses of post-sowing and subsequent fertilizations, which are often carried out in autumn [2].

To boost and stabilize the grain production of winter crops sown after late predecessors, it is recommended to apply mineral fertilizers before basic tillage, in rows during sowing and later, as additional fertilizations [12]. Of fertilizers applied in spring, most farmers traditionally prefer ammonium nitrate; however, the use of this fertilizer in autumn is still poorly studied [12].

Autumn additional fertilization can to some extent influence the growth and hardening of plants, affecting winter hardiness of wheat [1]. First of all, it is necessary to fertilize late-sown fields and crops sown after worse predecessors, in particular cereals, when their residues were left in the field. During the mineralization of plant residues, bacteria use soil nitrogen, which becomes unavailable to plants. Intensive absorption of nutrients from

зернових, залишаючи соломку на полі. Під час мінералізації рослинних решток бактерії використовують азот із ґрунту, який стає недоступним для рослин. Інтенсивне використання поживних речовин з ґрунту призводить до мінерального голодування, що може призвести до значного випадіння посівів [1]. Внаслідок дії високих осінніх температур (понад 10 °C) продовжується вегетація озимих культур, інтенсивно наростає надземна маса рослин, у той час як коренева система залишається слабозрозуміною і не росте. Ось чому у цей період важливим є проведення підживлення рослин [1]. За багаторічними даними, осіннє підживлення підвищує врожайність пшениці озимої в середньому на 0,3–0,5 т/га. Втім, найбільш доцільно його проводити на посівах пізніх строків сівби. Найвищий рівень приросту урожайності пшениці озимої забезпечує осіннє підживлення у фазі кушення дозою N30 – 0,65–0,75 т/га та близький за значенням – за триразового підживлення загальною нормою N60 (N15 – по таломерзломому ґрунту + N30 – трубкування + N15 – колосіння) – 0,70–0,80 т/га [13].

Отже, в умовах змін клімату питання осіннього азотного підживлення пшениці м'якої озимої, особливо після різних попередників, вивчене недостатньо.

Метою дослідження було визначення урожайності пшениці м'якої озимої після різних попередників залежно від доз аміачної селітри за осіннього підживлення.

## Методика

Дослідження проводили в польовій зерно-паро-просапній сівозміні Інституту рослинництва ім. В.Я. Юр'єва НААН України у 2020–2022 рр. та у 2023/2024 рр. Об'єкт дослідження – сорт пшениці озимої Здобна. Сіяли пшеницю після попередників горох та чорний пар у другій–третьій декадах вересня, після соняшнику – другій–третьій декадах жовтня. Досліди передбачали п'ять варіантів осіннього підживлення аміачною селітрою після попередників: соняшник, горох та чорний пар: 1 – контроль (без добрив); 2 – N30; 3 – N60; 4 – N90; 5 – N120. Загальна кількість – 15 варіантів після трьох попередників.

Варіанти розміщували методом розщеплених ділянок за багатофакторною схемою. Площа облікової ділянки 25 м<sup>2</sup>, повторність 4-разова. Ґрунт дослідної ділянки –

солома веде до мінерального голодування, що може призвести до значного випадіння посівів [1]. Через підвищені осінні температури (вище 10 °C), вегетація озимих культур продовжується, надземна маса рослин зростає інтенсивно, проте коріння залишається слабо розвинутим і не росте. Тому в цей період важливо проводити підживлення. Згідно з довготривалими даними, осіннє підживлення збільшує врожай озимої пшениці в середньому на 0,3–0,5 т/га. Найкращі результати досягаються при пізньому посіві. Максимальний прирост урожайності забезпечує підживлення у фазі кушення дозою N30 – 0,65–0,75 т/га та близький за значенням – за триразового підживлення загальною нормою N60 (N15 – по таломерзломому ґрунту + N30 – трубкування + N15 – колосіння) – 0,70–0,80 т/га [13].

Тому, при зміні клімату, питання осіннього азотного підживлення озимої пшениці, особливо після різних попередників, вивчене недостатньо.

Метою цього дослідження було визначити врожай озимої пшениці після різних попередників за різних доз аміачної селітри, що застосовують у жовтні.

## Methods

The study was carried out in the grain-fallow-row crop rotation of the Yuriev Plant Production Institute of NAAS of Ukraine in 2020–2022 and 2023–2024. Winter wheat variety 'Zdobna' was tested. Wheat was sown after pea or black fallow within the second-third 10 days of September, or after sunflower within the second-third 10 days of October. The experiment included five variants of autumn fertilization with ammonium nitrate after such predecessors as sunflower, pea and black fallow: 1 – control (without fertilizers); 2 – N30; 3 – N60; 4 – N90; 5 – N120. The total number of variants is 15 after three predecessors.

The variants were arranged in split plot design according to a multivariate scheme in 4 replications. The record plot area was 25 m<sup>2</sup>. The soil in the experimental site is a typical deep

чорнозем типовий потужний середньогумусний. Після збирання попередників проводили дискування агрегатом БДТ-7 у два сліди. Перед сівбою проводили культивування за допомогою КПС-4 на глибину 5–6 см. Насіння протруювали препаратом Паскаль (1 л/т), висівали сівалкою СН-16М з нормою 4,5 млн схожих насінин на 1 гектар. Після сівби поле прикочували кільчасто-шпоровими котками.

Азотними добривами сходи у фазі 3 листків – початку кущення підживлювали розкидним способом за допомогою сівалки СН-16М зі знятими сошниками. Схема захисту у 2021 р. та у 2024 р. передбачала обприскування гербіцидом Агент (2,4-Д 2-етилгексилловий ефір, 452 г/л + флорасулам, 6,25 г/л) – 0,5 л/га + Мастак (клопіралід, 300 г/л) – 0,3 л/га, у фазі кущіння. Для захисту посівів від хвороб застосовували фунгіцид Дезарал Екстра (карбендазім, 250 г/л + флутриафол, 125 і шкідників відповідно г/л), від шкідників – інсектицид Антиколорад Макс (імідаклопрід, 300 г/л + лямбда-цигалотрин, 100 г/л).

Через інтенсивні бойові дії в зоні проведення досліджень навесні 2022 р. засоби захисту рослин не застосовували, що призвело до суттєвого зниження врожайності пшениці озимої порівняно з 2021 р. Зниження врожайності у 2022 р. зумовлювалося насамперед наявністю піренофорозу у пізні фазі росту й розвитку рослин [21].

Урожай збирали прямим способом комбайном «Сампо-130». Під час проведення досліджень використовували загальноприйняті методики і рекомендації [16].

Погодні умови за роки проведення досліджень різнилися. Осінь 2020 р. була теплою і посушливою. Так, у серпні опадів випало на 40 мм менше від норми, а дощі пройшли лише у другій декаді жовтня (30,4 мм). Середньодобова температура повітря у вересні і жовтні була вищою за багаторічні показники відповідно на 4,3 °С та 5,2 °С. Осіння вегетація озимих припинилася у першій декаді листопада. У 2021 р. її відновлення відбулося у першій декаді квітня. Весна і літо були помірно теплими, на рівні багаторічних показників. Травень та червень були вологими, а липень та серпень аномально посушливими. Осінній період 2021 р. був менш зволженим порівняно з

medium-humus chernozem. After harvesting the forecrops, double disking was carried out with a BDT-7 disc harrow. Before sowing, cultivation was carried out using a KPS-4 cultivator to a depth of 5–6 cm. The seeds were treated with Pascal (1 L/t), sown with a SN-16M planter at a rate of 4.5 million germinable seeds per hectare. After sowing, the field was rolled with star-wheel rakes.

Seedlings in the phase of 3 leaves, i.e. tillering onset, were fertilized with nitrogen by spreading with a SN-16M planter with the coulters removed. The protection regimen in 2021 and in 2024 included spraying with the herbicide Agent (2,4-D 2-ethylhexyl ether, 452 g/L + florasulam, 6.25 g/L) 0.5 L/ha + Mastak (clopyralid, 300 g/L) 0.3 L/ha in the tillering phase. To protect the fields against diseases and pests, the fungicide Desaral Extra (carbendazim, 250 g/L + flutriafol, 125 g/L) and the insecticide Antikolorad Max (imidacloprid, 300 g/L + lambda-cyhalothrin, 100 g/L) were used, respectively.

Because of intense hostilities in the research location in the 2022 spring, no plant protectants were used, which led to a significant decrease in the winter wheat yield compared to 2021. The yield reduction in 2022 was attributed primarily to tan spot in the late phases of plant growth and development [21].

The yield was harvested by direct combining with a Sampo-130 harvester. The study was conducted by traditional methods in compliance with conventional recommendations [16].

The weather in the study years varied. The 2020 autumn was warm and dry. In August, the precipitation amount was 40 mm less than the multi-year average and it only rained during the second 10 days of October (30.4 mm). The mean daily air temperature in September and October was higher than the multi-year average by 4.3 °C and 5.2 °C, respectively. The autumn vegetation of winter crops stopped within the first 10 days of November. In 2021, it resumed within the first 10 days of April. The spring and summer were moderately warm, close to the multi-year average values. May and June were wet, while July and August were abnormally dry. The 2021 autumn was less humid compared to the multi-

багаторічними даними, температурний режим – на рівні багаторічних показників. Припинилася осіння вегетація рослин у першій декаді листопада. Перезимівля посівів відбувалася за сприятливих гідротермічних умов. Відновлення їхньої вегетації розпочалось у першій декаді квітня. Весна і літо були теплі, на рівні багаторічних показників та дуже зволожені [14]. Осінь 2023 р. загалом була тепла та волога, недостатня кількість опадів у вересні (66% від норми) компенсувалася вологим жовтнем та листопадом (289% та 141% відповідно). Осіння вегетація припинилася у другій декаді листопада. Відновлення вегетації навесні 2024 р. було аномально раннім, у другій декаді березня. Весною березень та квітень були посушливими та теплими, а у травні стався приморозок до  $-5^{\circ}\text{C}$  на рівні ґрунту, що спричинило значні пошкодження рослин пшениці у фазі виходу в трубку. Літо було сухим та спекотним, що також негативно вплинуло на формування врожайності. У середньому за 3 роки сходи з'являлися на 8–9-й день. Отже умови при вирощуванні пшениці озимої за роками були дуже різними, що дало змогу одержати об'єктивні результати та всебічно оцінити їх.

### Результати та обговорення

Досліди показали, що, пшениця озима по-різному реагувала на підживлення аміачною селітрою після різних попередників. У середньому за 2021, 2022 та 2024 рр. після попередників соняшник, горох і чорний пар максимальний рівень урожайності зерна становив 4,57 т/га (N60); 5,77 т/га (N30) і 5,45 т/га (N30) відповідно (табл. 1-3).

Після попередника соняшник в середньому за роки досліджень за осіннього підживлення аміачною селітрою найбільша врожайність була отримана при застосуванні дози N60 – 4,57 т/га, при цьому прибавка врожайності у порівнянні з контролем (без добрив) становила 1,48 т/га (48%). Також ефективним було внесення аміачної селітри у дозі N30, де середня врожайність становила 4,07 т/га, з прибавкою до контролю 0,98 т/га (32%). Подальше збільшення дози добрива за осіннього підживлення до N90 та до N120 було не ефективним, прибавки на цих варіантах були на 1–4% меншими порівняно з дозою N60 (табл. 1).

year average data and the temperature was close to the multi-year average. The autumn vegetation of plants stopped within the first 10 days of November. Plants overwintered under favorable hydrothermal conditions. They resumed vegetation within the first 10 days of April. Spring and summer were warm, close to the multi-year average, and very humid [14]. The 2023 autumn, in general, it was warm and humid; insufficient precipitation in September (66% of the multi-year average) was compensated by wet October and November (289% and 141%, respectively). The autumn vegetation stopped within the second 10 days of November. In the 2024 spring, it resumed abnormally early, within the second 10 days of March. March and April were dry and warm, but there was a ground frost down to  $-5^{\circ}\text{C}$  in May, which inflicted a significant damage to wheat plants during stem elongation. The summer was dry and hot, which also had a negative impact on yield formation. On average across the 3 years, seedlings emerged on day 8-9. Therefore, the conditions for winter wheat growing differed greatly from year to year, allowing us to obtain objective results and evaluate them comprehensively.

### Results and Discussion

The experiment showed that winter wheat sown after different predecessors responded differently to fertilization with ammonium nitrate. On average for 2021, 2022 and 2024, the maximum grain yield was 4.57 t/ha (N60), 5.77 t/ha (N30) and 5.45 t/ha (N30) after sunflower, pea and black fallow, respectively (Tables 1-3).

After sunflower, the maximum mean yield of 4.57 t/ha across the study years was harvested upon autumn fertilization with ammonium nitrate at N60 and the gain in the yield compared to the control (without fertilizers) was 1.48 t/ha (48 %). The application of ammonium nitrate at N30 was also effective: the mean yield was 4.07 t/ha and the gain related to the control amounted to 0.98 t/ha (32%). A further increase in the autumn fertilization dose to N90 and N120 was ineffective: the gain in these variants was 1–4% lower compared to the N60 application (Table 1).

**Таблиця 1.** Урожайність пшениці озимої залежно від дози осіннього підживлення та року вирощування після соняшника, т/га, 2021, 2022, 2024 рр.

**Table 1.** Post-sunflower-sown winter wheat yield depending on autumn fertilization dose in 2021, 2022 and 2024, t/ha

Доза (A) / Dose (A)	Рік (B) / Year (B)				Середня прибавка до контролю / Mean gain related to the control	
	2021	2022	2024	Середня / Mean	т/га / t/ha	%
контроль / Control	4.97	1.92	2.39	3.09	–	–
N <sub>30</sub>	6.50	2.73	2.99	4.07	0.98	32
N <sub>60</sub>	6.71	3.58	3.43	4.57	1.48	48
N <sub>90</sub>	6.56	3.23	3.53	4.44	1.35	44
N <sub>120</sub>	6.91	3.05	3.66	4.54	1.45	47
<b>Середня / Mean</b>	<b>6.67</b>	<b>3.15</b>	<b>3.40</b>	<b>4.41</b>	<b>1.32</b>	<b>43</b>
HIP <sub>05</sub> / LSD <sub>05</sub> : A – 0.18; B – 0.25; AB – 0.49						

За осіннього підживлення озимої пшениці після попередника горох найбільша середня врожайність та прибавка до контролю (без добрив) були отримані за дози N<sub>30</sub> – 5,77 т/га та 0,47 т/га (9%) відповідно. Збільшення дози аміачної селітри при осінньому підживленні до N<sub>60</sub>, N<sub>90</sub> та N<sub>120</sub> істотної прибавки не додало, у порівнянні із дозою N<sub>30</sub> прибавка була на 3–6% меншою (табл. 2).

Upon autumn fertilization of winter wheat sown after pea, the highest mean yield and greatest gain compared to the control (without fertilizers) were achieved at N<sub>30</sub>: 5.77 t/ha and 0.47 t/ha (9%), respectively. Increasing the ammonium nitrate dose for autumn fertilization to N<sub>60</sub>, N<sub>90</sub> and N<sub>120</sub> did not add significantly to the yield harvested at N<sub>30</sub>; in fact, the gain was 3–6% lower (Table 2).

**Таблиця 2.** Урожайність пшениці озимої залежно від дози осіннього підживлення та року вирощування після гороху, т/га, 2021, 2022, 2024 рр.

**Table 2.** Post-pea-sown winter wheat yield depending on autumn fertilization dose in 2021, 2022 and 2024, t/ha

Доза (A) / Dose (A)	Рік (B) / Year (B)				Середня прибавка до контролю / Mean gain related to the control	
	2021	2022	2024	Середня / Mean	т/га / t/ha	%
контроль / Control	7.34	5.04	3.52	5.30	–	–
N <sub>30</sub>	7.79	5.76	3.75	5.77	0.47	9
N <sub>60</sub>	7.59	5.52	3.78	5.63	0.33	6
N <sub>90</sub>	7.65	5.13	3.97	5.58	0.28	5
N <sub>120</sub>	7.66	4.98	3.76	5.46	0.16	3
<b>Середня / Mean</b>	<b>7.67</b>	<b>5.35</b>	<b>3.81</b>	<b>5.61</b>	<b>0.31</b>	<b>6</b>
HIP <sub>05</sub> / LSD <sub>05</sub> : A – 0.23; B – 0.31; AB – 0.59						

За осіннього підживлення аміачною селітрою після попередника чорний пар, найбільша врожайність була отримана за дози N<sub>30</sub> (5,45 т/га), де прибавка до контролю (без добрив) становила 0,38 т/га (7%). Майже таку ж врожайність, з неістотною різницею, було одержано при підживленні дозою N<sub>60</sub>, проте підвищення дози азоту було економічно

Upon autumn fertilization of winter wheat sown after black fallow, the maximum yield of 5.45 t/ha was harvested at N<sub>30</sub> and the gain compared to the control (without fertilizers) amounted to 0.38 t/ha (7%). Almost the same yield, with an insignificant difference, was obtained upon fertilization at N<sub>60</sub>, but increasing the nitrogen dose was not economically feasible.

недоцільним. При збільшенні доз аміачної селітри до N90 та N120 прибавка до контролю була на 0–5% меншою (табл. 3).

When the ammonium nitrate dose was increased to N90 and N120, the gain compared to the control was 0–5% lower (Table 3).

**Таблиця 3.** Урожайність пшениці озимої залежно від дози осіннього підживлення та року вирощування після чорного пару, т/га, 2021, 2022, 2024 рр.

**Table 3.** Post-black fallow-sown winter wheat yield depending on autumn fertilization dose in 2021, 2022 and 2024, t/ha

Доза (A) / Dose (A)	Рік (B) / Year (B)				Середня прибавка до контролю / Mean gain related to the control	
	2021	2022	2024	Середня / Mean	т/га / t/ha	%
контроль / Control	7.69	4.22	3.31	5.07	–	–
N <sub>30</sub>	8.13	4.89	3.32	5.45	0.38	7
N <sub>60</sub>	7.96	4.80	3.52	5.43	0.36	7
N <sub>90</sub>	7.81	4.15	3.54	5.17	0.10	2
N <sub>120</sub>	7.90	4.03	3.35	5.09	0.02	0
<b>Середня / Mean</b>	<b>7.95</b>	<b>4.47</b>	<b>3.43</b>	<b>5.28</b>	<b>0.21</b>	<b>4</b>
HIP <sub>05</sub> / LSD <sub>05</sub> : A – 0.20; B – 0.28; AB – 0.51						

Таким чином, за роки досліджень осіннє підживлення аміачною селітрою забезпечувало істотні прибавки врожайності у порівнянні до контролю незалежно від попередника. Натомість серед усіх досліджуваних попередників найбільшу середню прибавку було одержано після соняшнику – 1,32 т/га (43%), найменшу – після чорного пару – 0,21 т/га (4%) (табл. 1–3).

Отже, на фоні мінімальних доз основного добрива осіннє підживлення слабо розвинених озимих зернових культур забезпечує значний резерв збільшення валового збору зерна та є економічно доцільним. Цей прийом виконується в менш напружений період року, а ефективність вища, ніж при проведенні підживлення в інші строки [2].

## Висновки

Встановлено, що у період досліджень 2020 – 2022 рр. та 2023/2024 рр. пшениця озима по різному реагувала на підживлення аміачною селітрою після різних попередників. Після попередників горох та чорний пар найбільшу врожайність в середньому було отримано при підживленні дозою N30 – 5,77 та 5,45 т/га відповідно, з прибавками до контролю (без добрив) – відповідно 0,47 т/га (9%) та 0,38 т/га (7%). Після попередника соняшник максимальну врожайність та прибавку було отримано за дози внесення N60 – 4,57 т/га та 1,48 т/га (48%)

Thus, in the study years, autumn fertilization with ammonium nitrate significantly increased the yield compared to the control, regardless of the predecessors. Of all tested predecessors, the greatest mean gain of 1.32 t/ha (43%) was achieved after sunflower; the smallest gain of 0.21 t/ha (4%) - after black fallow (Tables 1-3).

Therefore, autumn fertilization of poorly developed winter cereals at minimum doses of basic fertilizer is economically expedient, ensuring a considerable reserve for increasing the croppage. This technique is performed in a less stressful period of the year and its efficiency is higher than that of fertilization in other periods [2].

## Conclusions

It was found that in the study period (2020-2022 and 2023-2024) winter wheat sown after different predecessors responded differently to fertilization with ammonium nitrate. After pea and black fallow, the maximum mean yield was harvested upon fertilization at N30: 5.77 and 5.45 t/ha, respectively, where the gain related to the control (without fertilizers) amounted to 0.47 t/ha (9%) and 0.38 t/ha (7%), respectively. After sunflower, the maximum yield and gain were achieved at N60: 4.57 t/ha and 1.48 t/ha (48%), respectively. The N30 application also gave a

відповідно. Також істотною прибавкою до контролю охарактеризувалася доза N30, де врожайність становила 4,07 т/га, а прибавка – 0,98 т/га (32%). Подальше збільшення дози азоту при підживленні до N60, N90 і N120 після попередників горох і сояшник та до N90 і N120 після сояшника було неефективним.

Таким чином, застосування осіннього азотного підживлення після попередника сояшник було більш виправданим ніж після попередників чорний пар та горох.

significant gain related to the control: the yield was 4.07 t/ha and the gain was 0.98 t/ha (32%). A further increase in the nitrogen dose to N60, N90 and N120 on post-pea- and post-black fallow-sown wheat and to N90 and N120 on post-sunflower-sown wheat was ineffective.

Thus, autumn nitrogen fertilization of winter wheat sown after sunflower was more justified than that of post-pea- or post-black fallow-sown wheat.

## References

1. Popov S. I. Agroecological aspects of the winter and spring wheat yield and grain quality formation in the Eastern Forest-Steppe of Ukraine [thesis for the Academic Degree of Doctor of Agricultural Sciences]. Kharkiv: Plant Production Institute named after V.Ya. Yuriev of NAAS, 2009. [in Ukrainian]
2. Avramenko S. I. Agrotechnological principles of the winter cereal production management in the Left-Bank Forest-Steppe of Ukraine [thesis for the Academic Degree of Doctor of Agricultural Sciences]. Kharkiv: Plant Production Institute named after V.Ya. Yuriev of NAAS, 2018. [in Ukrainian]
3. Cherenkov A.V., Nesterets V.G., Solodushko M.M., Hasanova I.I. Winter wheat in the steppe zone, climatic changes and growing technologies. *Nova Ideolohiia*. 2015. P. 342–343. [in Ukrainian]
4. Dogan R., Bilgili U. Effects of previous crop and N-fertilization on seed yield of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) under rain-fed Mediterranean conditions. *Bulgaria J. Agr. Sci.* 2010. 16/6: 733–739.
5. Cherenkov A.V., Solodushko M.M., Zheliazkov O.I., Khorishko S.A. State-of-the-art technologies for winter wheat growing in the steppe zone. 2014; 115 p. [in Ukrainian]
6. Drizhiruk V. V. Global climate warming and world agriculture. *Ahrovisnyk Ukraina*. 2008; 10: 37–39. [in Russian]
7. Popov S. I., Avramenko S. V. A method of increasing the winter wheat yield sown after perennial grasses. Utility model patent No. 79380, 04/25/2013. [in Ukrainian]
8. Manko K. M., Tsehmeistruk M. H. Winter cereals sown unconventional predecessors. *AhroPerspektyva*. 2010; 3(122): 27–29. [in Ukrainian]
9. Popov S. I., Avramenko S. V. Stabilization of the yield of winter wheat varieties depending on tillage methods in the crop rotation after black fallow and pea. *Visnyk Tsentru Naukovoho Zabezpechennia APV of Kharkivskoi Oblasti*. 2016; No. 21. P. 79–86. [in Ukrainian]
10. Zinchenko O. I., Salatenko V. N., Bilonozko M. A. Plant production. Kyiv: Ahrarna Osvita; 2001. 591 p. [in Ukrainian]
11. Popov S. I., Streltsova I. B., Polesko Yu. A. et al. Effect of long-term application of fertilizers on nutrient contents in soil and their use by new winter wheat varieties. *Ahrokhimiia i Gruntoznastvo*. 2007. Vol. 67. P. 108–113. [in Ukrainian]
12. Popov S. I., Avramenko S. V. Winter wheat yield and grain quality depending on doses and methods of fertilization in the Forest-Steppe of Ukraine. *Visnyk KkNAU*. 2009. 7: 172–179. [in Ukrainian]
13. Yevtushenko M. D., Budionnyi Yu. V., Popov S. I. et al. Technological maps and costs for the cultivation of cereals and row crops in the eastern region of Ukraine. Kharkiv. 2006. 493 p. [in Ukrainian]
14. Popov Yu. V., Avramenko S.V. Effect of autumn application of different doses and types of nitrogen fertilizers on post-sunflower-sown winter wheat yield. *Plant Breeding and Seed Production*. 2024. 125. P. 94–101.

Надійшла до редакції 16.11.2024 р.  
Received 16.11.2024

# CONTENTS

## ORIGINAL ARTICLES

<b><i>Kurylych D.V., Makliak K.M.</i></b>	
Genetic Analysis of The Inheritance of Sunflower Resistance to Broomrape by Diallel Method	6
<b><i>Kozachenko M.R., Vasko N.I., Solonechnyi P.M., Naumov O.H., Zymohliad O.V.</i></b>	
Results of the Multi-Year Breeding of Awnless Barley Cultivars in Ukraine	21
<b><i>Vasko N.I., Mykhailenko Ye.O.</i></b>	
Quality Properties of Naked Barley and Caryopsis Color Inheritance	33
<b><i>Vozhehova R.A., Skydan V.O., Skydan M.S.</i></b>	
Characteristics of Grain Filling and Response to Fertilizers in Rice Cultivars of Different Agro-Ecological Types	51
<b><i>Hutianskyi R.A., Kolomatska V.P.</i></b>	
Effect of Seeding Rates on Biometric Parameters and Yield of New Sunflower Hybrids	62
<b><i>Rozhkov A., Loshak O., Ohurtsov Ye., Mikheiev V.</i></b>	
Performance of Soybean Cultivars Depends on Sowing Time and Growth Regulators	74
<b><i>Popov Yu.V., Avramenko S.V.</i></b>	
Effect of Autumn Nitrogen Fertilization on The Yield of Winter Wheat Sown After Different Predecessors	87



# ЗМІСТ

## ОРИГІНАЛЬНІ СТАТТІ

**Курилич Д.В., Макляк К.М.**

Генетичний аналіз успадкування стійкості соняшнику до вовчка за використання діалельного методу 6

**Козаченко М.Р., Васько Н.І., Солонечний П.М., Наумов О.Г., Зимогляд О.В.**

Результати багаторічної селекції безостих сортів ячменю в Україні 21

**Васько Н.І., Михайленко Є.О.**

Якісні властивості голозерного ячменю та успадкування забарвлення зерна 33

**Вожегова Р.А., Скидан В.О., Скидан М.С.**

Особливості наливу зерна та реакції на добрива у сортів рису різних агроєкологічних типів 51

**Гутянський Р.А., Коломацька В.П.**

Вплив норм висіву на біометричні показники та врожайність нових гібридів соняшнику 62

**Рожков А.О., Лошак О.О., Огурцов Є.М., Міхєєв В.Г.**

Продуктивність сортів сої залежно від строків сівби і регуляторів росту 74

**Попов Ю.В., Авраменко С.В.**

Вплив осіннього підживлення азотом на урожайність озимої пшениці після різних попередників 87

## **Наукове видання**

Селекція і насінництво

Міжвідомчий тематичний науковий збірник

Заснований у 1964 році

Випуск 126

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