

JOURNAL OF APPLIED RESEARCH Vol. 22, No 1 '2026

# PLANT VARIETIES STUDYING

AND PROTECTION

PRINT ISSN 2518-1017  
ONLINE ISSN 2518-7457

VARIETY STUDYING  
AND VARIETY SCIENCE

PLANT BREEDING  
AND SEED PRODUCTION

PLANT PRODUCTION



Журнал — фаховий

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

## РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ

- В. М. Гудзенко** (головний редактор)
- Д. Б. Рахметов** (заступник головного редактора)
- В. І. Файт** (заступник головного редактора)
- С. І. Мельник** (шеф-редактор)
- Ю. С. Данюк** (відповідальний секретар)
- М. З. Антонюк
- Р. А. Вожегова
- В. Й. Войніч (Угорщина)
- А. Лаздінш (Литва)
- П. Монтеро Гарсія-Ноблехас (Іспанія)
- Л. М. Присяжнюк
- Р. Роса (Польща)
- В. В. Швартау
- Р. А. Якимчук



УКРАЇНСЬКИЙ ІНСТИТУТ  
ЕКСПЕРТИЗИ СОРТІВ РОСЛИН

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

Журнал виходить чотири рази на рік  
Заснований у 2005 р.

Ідентифікатор медіа  
R 30-01984

За достовірність викладених  
у публікаціях фактів відповідають  
автори

**Рекомендовано до друку**  
Вченою радою Українського інституту  
експертизи сортів рослин  
(Протокол № 3 від 26.03.2026)

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

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

Наукові редактори: Б. В. Сорочинський,  
В. М. Гудзенко  
Технічний редактор Ю. А. Кравченко  
Літературний редактор А. І. Сидорчук  
Комп'ютерне верстання Н. О. Бойко

Підписано до друку 30.03.2025  
Формат 60×84 1/8. Папір офсетний.  
Ум.-др. арк.  
Наклад 50 прим. Зам.

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

Передплатний індекс 89273

ISSN 2518-1017

Мова видання:  
українська, англійська

© Український інститут експертизи  
сортів рослин, оформлення, оригінал-  
макет, 2026

© Селекційно-генетичний інститут –  
Національний центр насіннезнавства  
та сортівивчення, 2026

© Інститут фізіології рослин і генетики  
НАН України, 2026

**Journal – specialized publications**

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

**EDITORIAL BOARD**

- V. Hudzenko** (Head editor)  
**D. Rakhmetov** (Deputy leading editor)  
**V. Fait** (Deputy leading editor)  
**S. Melnyk** (Editor-in-Chief)  
**Yu. Daniuk** (Executive Secretary)  
M. Antonyuk  
R. Vozhehova  
V. J. Vojnich (Hungary)  
A. Lazdiņš (Latvia)  
P. Montero García-Noblejas (Spain)  
R. Rosa (Poland)  
L. Prysiazhniuk  
V. Shvartau  
R. Yakymchuk



UKRAINIAN INSTITUTE FOR PLANT  
VARIETY EXAMINATION

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

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

Published 4 times a year

Media identifier  
R 30-01984

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

Recommended for publication by  
Academic Board of the Ukrainian  
Institute for Plant Variety Examination  
(Record No. 3, 26.03.2026)

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

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

Science editors: B. V. Sorochynskyy,  
V. M. Hudzenko  
Technical editor Yu. A. Kravchenko  
Literary editor A. I. Sydorчук  
Computer-aided  
makeup N. O. Boyko

Signed to print 30.03.2026  
Format 60×84 1/8. Offset Paper.  
Conventional printed sheet.  
50 numbers of copies.

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

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

Languages of publication:  
Ukrainian, English

© Ukrainian Institute for Plant Variety  
Examination, formatting, makeup, 2026

© Plant Breeding & Genetics Institute –  
National Center of Seeds and Cultivar  
Investigation, 2026

© Institute of Plant Physiology and  
Genetics, National Academy of Sciences  
of Ukraine, 2026

## ЗМІСТ

### СОРТОВИВЧЕННЯ ТА СОРТОЗНАВСТВО

Міщенко С. В., Лавриненко Ю. О.,  
Марченко Т. Ю., Кириченко Г. І.  
Вплив Силіцію на формування клітин  
елементарних волокон *Cannabis sativa* L.

Присяжнюк Л. М., Кирильчук А. М., Смульська І. В.,  
Гринів С. М., Король Л. В., Павлюк Н. В.,  
Мельник С. І., Дудка Т. В.  
Екологічна пластичність і стабільність високоолеїнових  
сортів соняшнику (*Helianthus annuus* L.)  
за показником вмісту основних жирних кислот

### СЕЛЕКЦІЯ ТА НАСІННИЦТВО

Гудзенко В. М., Лисенко А. А., Поліщук Т. П.,  
Буняк Н. М., Сардак М. О., Юрченко Т. В.,  
Кузьменко Є. А., Худолій Л. В., Коховська І. В.,  
Кравченко Ю. А.  
Стійкість колекційних зразків ячменю озимого  
проти комплексу біо- та абіотичних стресових  
чинників у Лісостепу України

Перебойчук О. П.  
Вітчизняні сорти *Primula* L. та селекційні напрями  
підвищення їхньої стійкості за зміни кліматичних умов  
Північного Лісостепу України

### РОСЛИННИЦТВО

Листуха М. М.  
Оцінювання врожайних властивостей насіння пшениці  
м'якої озимої за морфотипами зародків залежно  
від проведення різних агротехнічних заходів

Сіроштан А. А., Заїма О. А., Кавунець В. П.,  
Дергачов О. Л., Коляденко С. С.  
Тривалість періоду післязбирального дозрівання  
насіння пшениці озимої

Корпіта Г. М., Шувар І. А.  
Вплив різних гербіцидних обробок  
на *Solidago canadensis* L.

## CONTENTS

### VARIETY STUDYING AND VARIETY SCIENCE

4 Mishchenko S. V., Lavrynenko Yu. O.,  
Marchenko T. Yu., Kyrychenko H. I.  
The influence of ionic form of silicon on the formation  
of elementary fibre cells in *Cannabis sativa* L.

11 Prysiazhniuk L. M., Kyrylchuk A. M., Smulska I. V.,  
Hryniv S. M., Korol L. V., Pavliuk N. V.,  
Melnyk S. I., Dudka T. V.  
The ecological plasticity and stability of high-oleic  
sunflower varieties (*Helianthus annuus* L.) in terms  
of their major fatty acid content

### PLANT BREEDING AND SEED PRODUCTION

23 Hudzenko V. M., Lysenko A. A., Polishchuk T. P.,  
Buniak N. M., Sardak M. O., Yurchenko T. V.,  
Kuzmenko Ye. A., Khudolii L. V., Kokhovska I. V.,  
Kravchenko Yu. A.  
Resistance of winter barley accessions to complex  
of biotic and abiotic stresses under condition  
of the Ukrainian Forest-Steppe

35 Pereboichuk O. P.  
Domestic cultivars of *Primula* L. and breeding  
directions for enhancing their resistance to changing  
climatic conditions in the Northern Forest-Steppe  
of Ukraine

### PLANT PRODUCTION

47 Lystukha M. M.  
Assessment of the yield characteristics of soft winter  
wheat seeds based on embryo morphotypes, depending  
on the implementation of various agronomic practices

55 Siroshthan A. A., Zaima O. A., Kavunets V. P.,  
Dergachov O. L., Koliadenko S. S.  
The duration of the post-harvest ripening period  
for winter wheat seeds

60 Korpita H. M., Shuvar I. A.  
Effects of different herbicide treatments  
on *Solidago canadensis* L.

## The influence of ionic form of silicon on the formation of elementary fibre cells in *Cannabis sativa* L.

S. V. Mishchenko<sup>1,2\*</sup>, Yu. O. Lavrynenko<sup>3</sup>, T. Yu. Marchenko<sup>3</sup>, H. I. Kyrychenko<sup>2</sup>

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

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

<sup>3</sup>Institute of Climate-Oriented Agriculture, NAAS of Ukraine, 24 Maiatska Doroha St., Khlibodarske, Odesa district, Odesa region, 67667, Ukraine

**Purpose.** To establish the peculiarities of the fibrous layer structure and the degree of variability of the traits of the primary and secondary bast fibre cells in industrial hemp (*Cannabis sativa* L.) varieties under the influence of exogenous silicon and the possibilities of using it to improve fibre quality. **Methods.** Plants of the 'Afina' and 'Hlukhivski 51' varieties, grown in an area of 30 × 5 cm, were studied. During the vegetation period, the plants were treated twice or three times with an aqueous solution of K<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>·5H<sub>2</sub>O at concentrations of 2.5 g/L and 5.0 g/L, respectively, at the BBCH development phases 15, 51 and 65. The control variants used distilled water instead of the silicon solution. For the anatomical analysis, transverse sections of bark and wood were taken from the stems at the level of the IV internode (with a diameter of 9.5 mm) and examined using light microscopy. **Results.** In hemp plants under the influence of silicon, the thickness of the bast fibre layer increased, as can be seen from the analysis of transverse stem sections. For the 'Afina' variety, the secondary fiber layer thickness increased from 105 μm in the control group to 138 μm in the treated group. For the 'Hlukhivski 51' variety, it increased from 163 μm to 230 μm with triple treatment using a 0.5 g/L K<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>·5H<sub>2</sub>O solution. This increase in fiber layer thickness was mainly due to secondary fibers, i.e., silicon activates cambium activity, the secondary generative tissue. The lengths and widths of the primary fibre cells were 40.2 and 25.9 μm for the 'Afina' variety and 57.0 and 40.2 μm for the 'Hlukhivski 51' variety. The lengths and widths of the secondary fibre cells were 25.1 and 15.5 μm and 33.4 and 16.5 μm, respectively. The increase in cell sizes was due to a decrease in the channel size and an increase in the thickness of the secondary walls. These changed from 6.5 to 12.5 μm and from 16.5 to 19.7 μm in primary bast fibre cells and from 5.5 to 7.2 μm and from 6.0 to 7.6 μm in secondary bast fibre cells in the 'Afina' and 'Hlukhivski 51' varieties, respectively. An increase in the proportion of isodiametric and oval-shaped cells with a convex contour, as well as cells with a small channel, was observed, indicating a structural rearrangement of fibrous formations. **Conclusions.** To increase the total fibre content of hemp stems, it is advisable to treat the plants with a silicon (Si) solution during the period of intensive secondary fibre accumulation, and to obtain higher-quality fibre, during the period of intensive primary fibre accumulation.

**Keywords:** hemp; stem anatomy; histology of transverse sections; bast; fibre quality characteristics; potassium metasilicate.

### Introduction

Hemp (*Cannabis sativa* L.) is one of the oldest fibre crops, traditionally used in the textile,

pulp and paper, and biocomposite industries. The crop's main economic value is determined by the presence of bast fibres in the phloem of the stem bark. These fibres are formed by elongated sclerenchyma cells with multilayered secondary cell walls that are enriched with cellulose and lignin. Primary fibres are formed in the early stages of ontogenesis from primary meristematic tissues and are characterised by their considerable length, whereas secondary fibres are formed later due to cambial activity. The ratio of primary and secondary fibres determines the quality and strength of the fibrous

Serhii Mishchenko

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

Yuriy Lavrynenko

<https://orcid.org/0000-0001-9442-8793>

Tetiana Marchenko

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

Hanna Kyrychenko

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



© The Author(s) 2026. Published by Ukrainian Institute for Plant Variety Examination. This is an open access article distributed under the terms of the license CC BY-SA 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>), which permits use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

raw material. To increase fibre content and improve its quality, various breeding methods and techniques [1], as well as agrotechnical measures such as different fertilisation systems and the application of microelements, are widely employed [2].

One such microelement may be silicon (Si), which is present in plants in quantities equivalent to macronutrients such as calcium, magnesium and phosphorus. In perennial grasses, silicon often contains more than any other inorganic component. However, with the exception of diatom algae and horsetails, silicon is considered a facultative element for plants [3].

Consequently, silicon is often omitted from nutrient solution prescriptions and neglected in most plant physiology studies, despite plants grown in ordinary nutrient media without silicon often being structurally weaker, exhibiting growth, development, viability and reproductive anomalies, and being more susceptible to abiotic stresses such as metal toxicity. They are also more vulnerable to pathogenic organisms and herbivorous animals, ranging from phytophagous insects to mammals [3]. Thus, there is compelling evidence that silicon should be included in the list of elements with an important impact on plant life [3].

Plants primarily absorb silicon in the form of silicic acid ions ( $\text{Si}^{32}$ ), which are transported via apoplastic and symplastic pathways involving specific membrane transporters. In recent years, there has been growing interest in the role of silicon in cell wall formation, particularly in fibre (bast) crops such as hemp, and in its effect on fibre quality [3, 4]. It should be noted that improving the fibre's quality characteristics (particularly length, linear density, flexibility and strength) is a key objective in breeding and cultivating this crop.

It has been established that hemp can actively absorb and accumulate silicon in various plant organs [5]. Using molecular genetic and microscopic methods, a family of aquaporin proteins has been identified in *Cannabis sativa* L., some of which form membrane channels that are potentially involved in silicon transport. It has been demonstrated that silicon (Si) accumulates in the cell walls of certain tissues, particularly the bast fibres of the stem, suggesting its potential role in the development and modification of fibre cells [5].

The cells of hemp primary fibres are characterised by a thick secondary cell wall that is rich in cellulose and hemicellulose, and a relatively low lignin content. Silicon can be deposited in the apoplast in the form of amorphous silica ( $\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ), which can either form an additional

structural component of the cell wall or interact with its polysaccharide matrix [4, 6–9]. This interaction increases the mechanical strength of the cells, stabilises the walls and changes their elastic properties, which is particularly important for fibrous tissues [4, 6–9]. The cell wall of bast fibre cells consists of two main structural parts: the primary layer (P) and the secondary layer (S), which forms during cell wall thickening and consists of three layers: the outer layer ( $\text{S}_1$ ), the middle layer ( $\text{S}_2$ ), and the inner layer ( $\text{S}_3$ ). The layers  $\text{S}_1$ ,  $\text{S}_2$  and  $\text{S}_3$  differ significantly in thickness.  $\text{S}_1$  and  $\text{S}_3$  are thin, whereas  $\text{S}_2$  is thick and constitutes most of the cell wall. Silicon specifically promotes the thickening of layers  $\text{S}_2$  and  $\text{S}_3$  and reduces microporosity [4, 9]. It stimulates cambium cell division and the intensity of secondary fibre differentiation, resulting in the formation of more uniform fibrous layers [4, 10]. At the ultrastructural level, a reduction in cell lumen size, increased homogeneity of the secondary layers and strengthening of the middle lamella are observed. These changes improve the mechanical properties of the fibre, meaning this element plays a key role in the formation of the anatomical structure of hemp fibres, ensuring they are strong, homogeneous and technologically valuable [11].

Experimental studies on hemp confirm that exogenous silicon application can influence the morphometric parameters of bast fibers. In particular, under conditions of heavy metal (Cd, Zn) exposure, which impair the biosynthesis of cellulose and lignin at the cell wall level [12], silicon (2 mM), through chelation, complex formation, stimulation of antioxidant systems, and regulation of the expression of heavy metal ion transport genes [10], mitigates the negative impact of stress on the development of elementary fiber cells, promoting an increase in their diameter and the preservation of cell wall integrity, which indicates the protective and structurally modulating role of Si in the differentiation process of elementary fibers [13, 14].

The effect of silicon on fibre formation is likely to extend beyond its structural function. According to the literature, silicon (Si) may indirectly influence the expression of genes associated with the synthesis of cell wall components, the activity of enzymes in the cellulase complex and the phytohormonal regulation of cell growth [4, 6, 15, 16]. These effects are particularly evident under abiotic stress, when silicon enhances the stability of growth processes and reduces tissue damage [4, 6, 15, 16]. Salinity is one of the most common abiotic stress factors affecting various biochemical and physiological processes in plants. It inhibits growth and signifi-

cantly reduces productivity. Therefore, silicon (Si) is proposed as one of the most effective methods for enhancing tolerance to salt stress in various plant species [17]. For instance, silicon treatment alleviated salt stress symptoms in old cannabis leaves where the xylem tissue contained wider-lumen vessels [15].

Thus, the available literature suggests that silicon plays a role in the formation of primary fibre cells by accumulating in cell walls, thereby strengthening their structure and indirectly regulating differentiation processes. However, the impact of varying silicon concentrations on the anatomy and physical-mechanical properties of hemp fibres requires further targeted research. The significant differences observed in the structure, size and arrangement of cells within the primary and secondary fibre elements and layers of different cannabis genotypes [18] suggest that varieties that differ significantly in fibre content and intended agricultural use should be included in studies investigating the effects of silicon.

*The study aims* to determine the anatomical characteristics of the fibrous layer, as well as the degree of variation in the cellular features of primary and secondary bast fibres, in a cross-section of the stem of industrial hemp varieties under the influence of exogenous silicon. The study also aims to assess the potential of using silicon to improve fibre quality.

## Materials and methods

Studies conducted in 2024–2025 utilised the industrial hemp varieties ‘Afina’ and ‘Hlukhivski 51’. The former is a seed-oil variety with excellent suitability for mechanised harvesting due to its relatively short stature. During the study period, it was characterised by a total fibre content of 22.1%, according to competitive variety testing data. The second variety is intended for fibre and bioenergy use, characterised by vigorous growth and high stem yield, with an average total fibre content of 36.3%.

Plants of the specified varieties were grown in a nursery with four replicates and a planting area of 30 × 5 cm using the hole-sowing method, according to the methodology described in [19]. The plants were treated two or three times at development stages 15, 51 and 65 on the BBCH scale (Biologische Bundesanstalt, Bundessortenamt und Chemische Industrie) [20] by spraying with an aqueous solution of potassium metasilicate pentahydrate ( $K_2SiO_3 \cdot 5H_2O$ ) at concentrations of 2.5 or 5.0 g/L, with an application rate of 0.2 L/m<sup>2</sup>. The control treatment involved spraying with distilled water.

For the anatomical analysis, typical cannabis stems were collected at the BBCH 65 stage [20]. Two- to three-centimetre sections of bark containing a portion of wood were cut from the stems of living cannabis plants at the level of the fourth internode. These sections were placed in vials containing a mixture of distilled water, ethanol and glycerol (in equal parts) and cross-sections were prepared using a microtome. Temporary anatomical preparations were then made. The anatomical analysis of the fibrous structures of the hemp stems was performed using a light microscope at magnifications of 600x, 300x and 150x. Morphometric measurements were taken using an eyepiece micrometer. Ten measurements were taken from 20 stems of each variant.

A statistical analysis of the data was performed by calculating the mean and standard error of the sample mean, as well as the significance level of the difference, using a Student’s t-test.

## Results and discussion

Treating plants with potassium silicate affected the formation of the bast fibre layer in the cross-section of the hemp stems of both varieties studied. However, changes in the thickness of the primary fibre layer were minor and, in most cases, statistically insignificant. In plants of the medium-fibre variety ‘Afina’, for example, the thickness of the primary fibre layer ranged from 165 ± 3.80 µm in the control group to 173 ± 3.42 µm after three treatments with 5.0 g/L Si, showing no significant difference from the control group. A similar trend was observed for the high-fibre variety ‘Hlukhivski 51’, where the maximum value for this trait, 230 ± 4.06 µm, was obtained after one treatment (a threefold application of 5.0 g/L).

By contrast, the thickness of the secondary bast fibre layer increased significantly with an increase in the number of treatments and the concentration of the active ingredient. In ‘Afina’ plants, it increased from 105 ± 2.12 µm (control) to 138 ± 4.08 µm (threefold treatment at 0.5 g/L,  $p < 0.001$ ), i.e. by 31.4%. This pattern was more pronounced in plants of the ‘Hlukhivski 51’ variety: increasing from 163 ± 3.25 µm (control) to 230 ± 5.51 µm ( $p < 0.001$ ) – a 41.1% increase. Thus, the increase in total fibre layer thickness mainly occurs due to the formation of secondary fibres, with silicon largely activating the secondary meristem – the cambium (Table 1).

Silicon also had a significant effect on the anatomical structure of primary bast fibre cells.

Table 1

**The thickness of the layers of hemp bast fibres in a cross-section of the stem in the control group and under the influence of silicon (with a stem diameter of 9.5 mm at the fourth internode)**

Variant	Thickness of fiber layer, $\mu\text{m}$	
	primary	secondary
‘Afina’		
Control	165 $\pm$ 3.80	105 $\pm$ 2.12
2-time, 2.5 g/l	166 $\pm$ 3.21	114 $\pm$ 3.03 *
3-time, 2.5 g/l	170 $\pm$ 4.49	122 $\pm$ 2.59 ***
2-time, 5.0 g/l	171 $\pm$ 5.18	129 $\pm$ 2.60 ***
3-time, 5.0 g/l	173 $\pm$ 3.42	138 $\pm$ 4.08 ***
‘Hlukhivski 51’		
Control	218 $\pm$ 4.83	163 $\pm$ 3.25
2-time, 2.5 g/l	222 $\pm$ 6.40	186 $\pm$ 3.75 ***
3-time, 2.5 g/l	220 $\pm$ 4.44	195 $\pm$ 3.85 ***
2-time, 5.0 g/l	224 $\pm$ 5.57	213 $\pm$ 7.00 ***
3-time, 5.0 g/l	230 $\pm$ 4.06 *	230 $\pm$ 5.51 ***

**Note:** the difference compared to the control group is statistically significant according to Student's t-test at a significance level of: \* – 0.05. \*\* – 0.01. \*\*\* – 0.001.

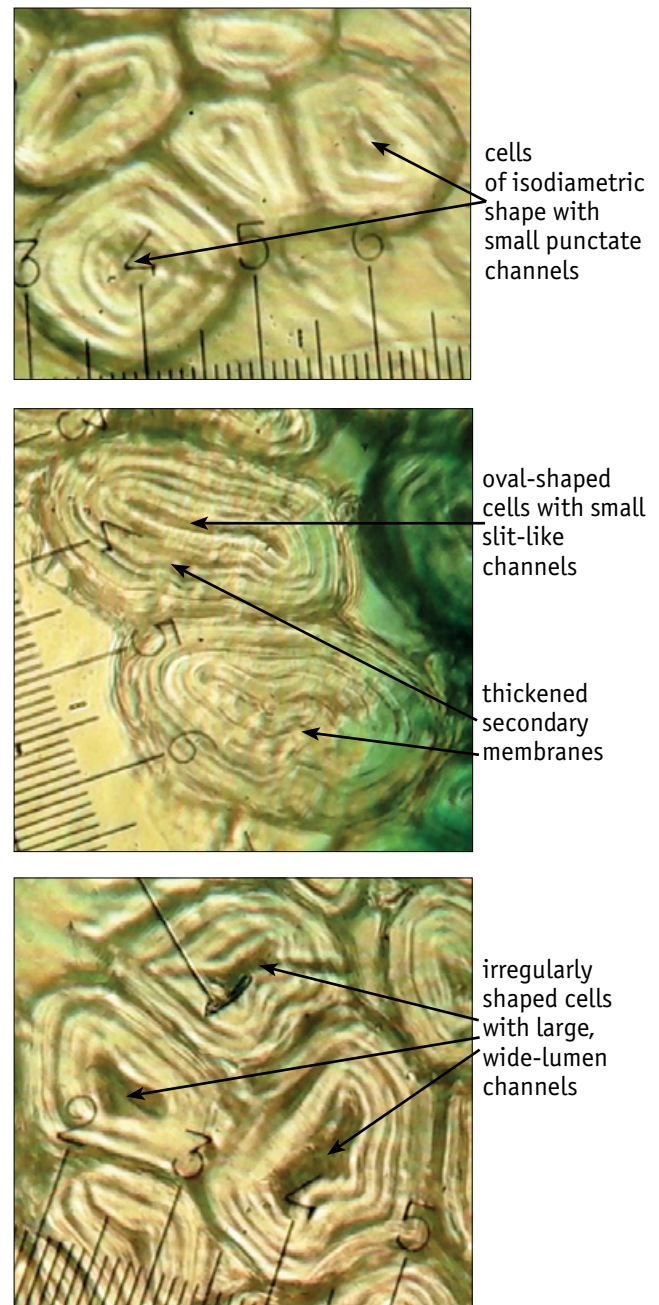
In the ‘Afina’ variety of plant, the length of primary bast fibre cells increased from  $36.4 \pm 0.36 \mu\text{m}$  (control) to  $40.2 \pm 0.48 \mu\text{m}$  (after three treatments with 5.0 g/L Si,  $p < 0.001$ ), while the width increased from  $22.0 \pm 0.30 \mu\text{m}$  to  $25.9 \pm 0.36 \mu\text{m}$  ( $p < 0.001$ ). A similar trend was observed in ‘Hlukhivski 51’ plants, where cell length increased from  $52.0 \pm 0.45 \mu\text{m}$  to  $57.0 \pm 0.97 \mu\text{m}$  and width from  $35.8 \pm 0.58 \mu\text{m}$  to  $40.2 \pm 0.83 \mu\text{m}$ .

Another notable feature was the qualitative reorganization of cellular structures. In the ‘Afina’ variety of plant, the proportion of isodiametric cells (cells close to being round or regular polyhedra) and oval cells with convex outlines was 96.0% in the control group. In the Si-treated variants, this proportion increased to between 98.5% and 98.8%.

A mature bast fibre consists of a primary layer, a secondary layer made up of multiple layers, and a canal that was previously filled with cytoplasm. These canals are classified as punctate, slit-like or hollow. Within the same fibrous layer, one, two or all three types of canal may be present [18]. The shape of the canal usually resembles the outer contour of the cell's cross-section as a whole. This is because the sheath of the elementary fibre gradually thickens in uniform, concentric layers. The canal of a mature elementary fibre cell is always hollow as the cytoplasm is gradually used up to thicken the sheath [18]. The size of the canal is primarily determined by the thickness of the cell membrane. As the membrane thickens, the canal narrows. Small canals are generally punctate or slit-like, corresponding to the isodiametric shape of the cell. In contrast, large canals are narrow- or wide-lumen, corresponding to

the oval shape of the cell. An irregular cell shape results in a correspondingly irregular channel shape, although there may be exceptions [18].

In the control group, the proportion of cells with small punctate or slit-like pores was 50.5%, increasing to 71.0–80.9% following Si treatment. In ‘Hlukhivski 51’ plants, the proportion of correctly shaped cells increased to 98.5–99.4% under the influence of silicon, compared to 97.3% in the control group. Meanwhile, the proportion of cells with small canals increased to 80.5–99.1%, compared to 75.5% in the control group. The effect on the shape of the cell channels of elementary bast fibres was particularly



**Fig. 1.** Cells of elementary hemp bast fibers

noticeable in plants of the low-fibre ‘Afina’ variety, which has a greater proportion of large narrow- or wide-lumen channels (Fig. 1).

At the same time, the thickness of the secondary cell wall increased significantly: for the ‘Afina’ variety, it increased from  $6.5 \pm 0.11 \mu\text{m}$  to  $12.5 \pm 0.22 \mu\text{m}$  ( $p < 0.001$ ); for the ‘Hlukhivski 51’ variety, it increased from  $16.5 \pm 0.35 \mu\text{m}$  to  $19.7 \pm 0.38 \mu\text{m}$  ( $p < 0.001$ ) (Table 2).

Thus, the increase in cell size did not occur due to expansion of the canal, but rather through intensive thickening of the secondary cell walls. This is important in terms of forming the fibre’s physical and mechanical properties. Thickening the cell walls of elementary bast fibres makes them stiffer and improves the mechanical strength of the tissues. The rigid wall can also withstand turgor pressure better during intensive growth.

The studies conducted revealed a clear effect of silicon on the cells of secondary bast fibres.

In ‘Afina’ hemp plants, cell length increased from  $22.3 \pm 0.33 \mu\text{m}$  to  $25.1 \pm 0.37 \mu\text{m}$  ( $p < 0.001$ ), and cell width increased from  $13.3 \pm 0.26 \mu\text{m}$  to  $15.5 \pm 0.30 \mu\text{m}$  ( $p < 0.001$ ). The thickness of the secondary wall increased from  $5.5 \pm 0.10$  to  $7.2 \pm 0.19 \mu\text{m}$ . Similar patterns were observed for the ‘Hlukhivski 51’ variety, with cell length reaching  $33.4 \pm 0.66 \mu\text{m}$  and cell width reaching  $16.5 \pm 0.32 \mu\text{m}$  ( $p < 0.001$ ). The maximum secondary cell wall thickness values ( $7.6 \pm 0.22 \mu\text{m}$ ) were significantly higher than the control values ( $6.0 \pm 0.12 \mu\text{m}$ ).

The proportion of cells with small, isodiametric and oval canals also increased. This indicates that the fibre’s structure is being reorganised towards an increase in secondary cell wall density and a reduction in lumen size. In plants of the ‘Afina’ variety in the control group, the proportion of cells with a regular shape was 92.5%. This increased to 95.5% with a two-time treatment of 2.5 g/L, 98.1% with a three-time

Table 2

**Changes in the anatomical characteristics of primary bast fiber cells in hemp on a transverse section of the stem under the influence of Si**

Variant	Cell size, $\mu\text{m}$		Share of cells, %		Thickness of secondary cell walls, $\mu\text{m}$
	length	width	isodiametric and oval shape with convex contour	with small lumen (point or slit-like)	
‘Afina’					
Control	$36.4 \pm 0.36$	$22.0 \pm 0.30$	96.0	50.5	$6.5 \pm 0.11$
2-time, 2.5 g/l	$38.1 \pm 0.44$ **	$24.1 \pm 0.26$ ***	98.5	71.0	$11.4 \pm 0.23$ ***
3-time, 2.5 g/l	$38.5 \pm 0.67$ **	$24.8 \pm 0.51$ ***	98.4	72.2	$11.8 \pm 0.14$ ***
2-time, 5.0 g/l	$39.1 \pm 0.40$ ***	$25.2 \pm 0.25$ ***	98.7	72.3	$12.1 \pm 0.15$ ***
3-time, 5.0 g/l	$40.2 \pm 0.48$ ***	$25.9 \pm 0.36$ ***	98.8	80.9	$12.5 \pm 0.22$ ***
‘Hlukhivski 51’					
Control	$52.0 \pm 0.45$	$35.8 \pm 0.58$	97.3	75.5	$16.5 \pm 0.35$
2-time, 2.5 g/l	$54.4 \pm 0.83$ *	$36.9 \pm 0.53$	98.5	80.5	$18.0 \pm 0.20$ ***
3-time, 2.5 g/l	$55.9 \pm 0.87$ ***	$37.8 \pm 0.43$ *	98.5	94.6	$18.5 \pm 0.21$ ***
2-time, 5.0 g/l	$56.0 \pm 0.66$ ***	$37.8 \pm 0.44$ *	98.9	96.7	$18.4 \pm 0.36$ ***
3-time, 5.0 g/l	$57.0 \pm 0.97$ ***	$40.2 \pm 0.83$ **	99.4	99.1	$19.7 \pm 0.38$ ***

**Note:** significantly different from the control group according to Student’s t-test at the following significance levels: \* 0.05, \*\* 0.01, \*\*\* 0.001.

Table 3

**Changes in the anatomical characteristics of secondary bast fibres in cannabis on a cross-section of the stem under the influence of Si**

Variant	Cell size, $\mu\text{m}$		Share of cells, %		Thickness of secondary cell walls, $\mu\text{m}$
	length	width	isodiametric and oval shape with convex contour	with small lumen (point or slit-like)	
‘Afina’					
Control	$22.3 \pm 0.33$	$13.3 \pm 0.26$	92.5	48.8	$5.5 \pm 0.10$
2-time, 2.5 g/l	$22.5 \pm 0.34$	$14.0 \pm 0.21$ *	95.5	52.4	$6.1 \pm 0.12$ ***
3-time, 2.5 g/l	$24.8 \pm 0.49$ ***	$14.5 \pm 0.30$ **	98.1	66.6	$6.4 \pm 0.20$ ***
2-time, 5.0 g/l	$24.6 \pm 0.50$ ***	$14.6 \pm 0.28$ **	98.6	70.3	$6.6 \pm 0.13$ ***
3-time, 5.0 g/l	$25.1 \pm 0.37$ ***	$15.5 \pm 0.30$ ***	98.9	77.9	$7.2 \pm 0.19$ ***
‘Hlukhivski 51’					
Control	$28.0 \pm 0.46$	$14.1 \pm 0.22$	97.0	65.5	$6.0 \pm 0.12$
2-time, 2.5 g/l	$29.4 \pm 0.43$ *	$14.8 \pm 0.38$	98.1	71.1	$7.0 \pm 0.14$ ***
3-time, 2.5 g/l	$30.2 \pm 0.45$ **	$16.0 \pm 0.30$ ***	98.5	84.2	$7.2 \pm 0.16$ ***
2-time, 5.0 g/l	$32.3 \pm 0.46$ ***	$16.0 \pm 0.24$ ***	99.0	88.7	$7.3 \pm 0.18$ ***
3-time, 5.0 g/l	$33.4 \pm 0.66$ ***	$16.5 \pm 0.32$ ***	99.6	90.2	$7.6 \pm 0.22$ ***

**Note:** significantly different from the control group according to Student’s t-test at the following significance levels: \* 0.05, \*\* 0.01, \*\*\* 0.001.

treatment of 2.5 g/L, 98.6% with a two-time treatment of 5.0 g/L, and 98.9% with a three-time treatment of 5.0 g/L Si. For plants of the 'Hlukhivski 51' variety, this trait was recorded at 97.0% (control), 98.1%, 98.5%, 99.0%, and 99.6%, respectively. The proportion of cells with small punctate or slit-like channels across the experimental variants was 48.8% (control), 52.4%, 66.6%, 70.3% and 77.9% for plants of the 'Afina' variety, and 65.5% (control), 71.1%, 84.2%, 88.7% and 90.2% for plants of the 'Hlukhivski 51' variety (Table 3).

Given that high-quality hemp fibre is characterised by properly formed individual bast fibres that are oval or isodiametric in shape with rounded contours (no sharp angles), small canals (point-like or slit-like), thick secondary sheaths with moderately sparse layering and compact fibre bundles [18], the results obtained indicate a dual effect of silicon. On the one hand, silicon stimulates cambial activity and the formation of secondary fibres, ensuring an increase in the total content and thickness of the bast fibre layer. However, an increase in the amount of secondary and total fibre, as well as cell size, may be accompanied by a decrease in technological quality. Conversely, improving fibre quality – intensive accumulation of primary fibre (stimulation of procambium activity), formation of isodiametric and oval-shaped cells with a convex contour and narrow canal, and thick secondary walls – is possible if processing occurs in the early stages of ontogenesis, during the period of intensive primary fibre formation.

## Conclusions

The thickness of the bast fibre layer on the cross-section of the stem, the size of the elementary bast fibre cells and the thickness of their secondary walls increased under the influence of silicon in various varieties of cultivated hemp plants used for different economic purposes. The fibre layer mainly thickened due to secondary fibres, i.e. silicon activates the secondary generative tissue, the cambium. Cell sizes increased due to a reduction in canal size and thickening of the secondary walls. An increase in the proportion of isodiametric and oval-shaped cells with a convex contour, as well as cells with a small canal, was observed, which indicates a structural reorganization of the fibre. To increase the total fibre content in the stems, it is advisable to carry out silicon treatment during the period of intensive secondary fibre accumulation, and to obtain higher-quality fibre, during the period of intensive primary fibre accumulation.

## References

1. Laiko, I. M., & Mishchenko, S. V. (2024). Breeding peculiarities of the manifestation of hemp fiberness signs. *Factors in Experimental Evolution of Organisms*, 35, 29–34. <https://doi.org/10.7124/FEE0.v35.1654> [In Ukrainian]
2. Ekren, S., Ertekin, M., Ertekin, G., Geren, H., & Öztürk, G. (2025). Influence of agronomic factors on the tensile properties of hemp fibers. *Textile and Apparel*, 35(4), 309–317. <https://doi.org/10.32710/tekstilvekonfeksiyon.1727568>
3. Epstein, E. (1999). Silicon. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 50, 641–664. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.50.1.641>
4. Luyckx, M., Hausman, J.-F., Lutts, S., & Guerriero, G. (2017). Impact of Silicon in Plant Biomass Production: Focus on Bast Fibres, Hypotheses, and Perspectives. *Plants*, 6(3), Article 37. <https://doi.org/10.3390/plants6030037>
5. Guerriero, G., Deshmukh, R., Sonah, H., Sergeant, K., Hausman, J.-F., Lentzen, E., Valle, N., Siddiqui, K. S., & Exley, C. (2019). Identification of the aquaporin gene family in *Cannabis sativa* and evidence for the accumulation of Silicon in its tissues. *Plant Science*, 287, Article 110167. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2019.110167>
6. Guerriero, G., Hausman, J.-F., & Legay, S. (2016). Silicon and the Plant Extracellular Matrix. *Frontiers in Plant Science*, 7, Article 463. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00463>
7. Guerriero, G., Sutura, F. M., Torabi-Pour, N., Renaut, J., Hausman, J.-F., Berni, R., Pennington, H. C., Welsh, M., Dehsorkhi, A., Zancan, L. R., & Saffie-Siebert, S. (2021). Phyto-Courier, a Silicon Particle-Based Nano-biostimulant: Evidence from *Cannabis sativa* Exposed to Salinity. *ACS Nano*, 15(2), 3061–3069. <https://doi.org/10.1021/acsnano.0c09488>
8. Guerriero, G., Sutura, F. M., Gutsch, A., Berni, R., Legay, S., Sergeant, K., Renaut, J., Torabi Pour, N., Kargar, N., Sully, R. E., Dehsorkhi, A., & Saffie Siebert, S. (2025). Root applied phyto courier loaded with rutin translocates to aerial tissues inducing molecular and anatomical changes in *Cannabis sativa* under salinity. *Nano Select*, 6(12), Article 70036. <https://doi.org/10.1002/nano.70036>
9. Guerriero, G., Hausman, J.-F., Strauss, J., Ertan, H., & Siddiqui, K. S. (2016). Lignocellulosic biomass: Biosynthesis, degradation and industrial utilization. *Engineering in Life Sciences*, 16(1), 1–16. <https://doi.org/10.1002/elsc.201400196>
10. Adrees, M., Ali, S., Rizwan, M., Zia-Ur-Rehman, M., Ibrahim, M., Abbas, F., Farid, M., Qayyum, M. F., & Irshad, M. K. (2015). Mechanisms of silicon-mediated alleviation of heavy metal toxicity in plants: A review. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 119, 186–197. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2015.05.011>
11. Hodson, M. J., & Evans, D. E. (2020). Aluminium-silicon interactions in higher plants: an update. *Journal of Experimental Botany*, 71(21), 6719–6729. <https://doi.org/10.1093/jxb/eraa024>
12. Berni, R., Hausman, J.-F., Lutts, S., & Guerriero, G. (2024). Histochemical and gene expression changes in *Cannabis sativa* hypocotyls exposed to increasing concentrations of Cadmium and Zinc. *Plant Stress*, 14, Article 100668. <https://doi.org/10.1016/j.stress.2024.100668>
13. Luyckx, M., Hausman, J.-F., Isenborghs, A., Guerriero, G., & Lutts, S. (2021). Impact of Cadmium and Zinc on proteins and cell wall-related gene expression in young stems of hemp (*Cannabis sativa* L.) and influence of exogenous Silicon. *Environmental and Experimental Botany*, 183, Article 104363. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2020.104363>
14. Luyckx, M., Hausman, J.-F., Blanquet, M., Guerriero, G., & Lutts, S. (2021). Silicon reduces cadmium absorption and increases root-to-shoot translocation without impacting growth in young plants of hemp (*Cannabis sativa* L.) on a short-term basis. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(28), 37963–37977. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-12912-y>
15. Berni, R., Mandlik, R., Hausman, J., & Guerriero, G. (2020). Silicon-induced mitigatory effects in salt-stressed hemp

- leaves. *Physiologia Plantarum*, 171(4), 476–482. <https://doi.org/10.1111/ppl.13097>
16. Luyckx, M., Hausman, J.-F., Lutts, S., & Guerriero, G. (2017). Silicon and Plants: Current Knowledge and Technological Perspectives. *Frontiers in Plant Science*, 8, Article 411. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00411>
  17. Dabravolski, S. A., & Isayenkov, S. V. (2024). The physiological and molecular mechanisms of Silicon action in salt stress amelioration. *Plants*, 13, Article 525. <https://doi.org/10.3390/plants13040525>
  18. Mishchenko, S. V., & Kmets, I. L. (2017). Variability of the anatomical structure of fibrous structures on the cross-section of the stem of different hemp samples. *Plant Breeding and Seed Production*, 112, 82–93. <https://doi.org/10.30835/2413-7510.2017.120425> [In Ukrainian]
  19. Tkachenko, S. M. (Ed.) (2021). *Methodology of selection and seed production of monoecious hemp*. FOP Shcherbyna I. V. [In Ukrainian]
  20. Mishchenko, S., Mokher, J., Laiko, I., Burbulis, N., Kyrychenko, H., & Dudukova, S. (2017). Phenological growth stages of hemp (*Cannabis sativa* L.): codification and description according to the BBCH scale. *Žemės ūkio mokslai*, 24(2), 31–36. <https://doi.org/10.6001/zemesukiomokslai.v24i2.3496>

УДК 633.522:631.5:581.4

**Міщенко С. В.<sup>1,2\*</sup>, Лавриненко Ю. О.<sup>3</sup>, Марченко Т. Ю.<sup>3</sup>, Кириченко Г. І.<sup>2</sup>** Вплив Силіцію на формування клітин елементарних волокон *Cannabis sativa* L. *Plant Varieties Studying and Protection*. 2026. Т. 22, № 1, С. 4–10. <https://doi.org/10.21498/2518-1017.22.1.2026.357577>

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

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

<sup>3</sup>Інститут кліматично орієнтованого сільського господарства НААН України, вул. Мацяцька дорога, 24, смт Хлібодарське, Одеський р-н, Одеська обл., 67667, Україна

**Мета.** Встановити особливості будови волокнистого шару, ступінь мінливості ознак клітин первинних і вторинних луб'яних волокон стебла у сортів промислових конопель (*Cannabis sativa* L.) за впливу Силіцію екзогенного походження та визначити можливості його використання для поліпшення якісних характеристик волокна. **Методи.** Досліджували рослини сортів 'Афіна' та 'Глухівські 51', вирощені на площі живлення 30 × 5 см. Протягом вегетації їх обробляли двічі або тричі водним розчином  $K_2SiO_3 \cdot 5H_2O$  з концентрацією 2,5 чи 5,0 г/л, у фазах розвитку BBCH 15, 51 і 65 відповідно. Контролем слугували варіанти досліду, в яких замість Силіцію використовували дистильовану воду. Для анатомічного аналізу зі стебел робили поперечні зрізи кори та деревини на рівні IV міжвузля (діаметр – 9,5 мм) й вивчали їх методом світлової мікроскопії. **Результати.** За результатами аналізу поперечного зрізу стебла встановлено, що в рослин конопель під впливом Силіцію збільшувалася товщина шару луб'яних волокон. Зокрема, в сорту 'Афіна' товщина вторинного шару волокон зростала зі 105 мкм у контрольному варіанті до 138 мкм для дослідних рослин, а в 'Глухівські 51' – зі 163 до 230 мкм за умови триразової обробки розчином  $K_2SiO_3 \cdot 5H_2O$  з концен-

трацією 0,5 г/л. Товщина шару збільшувалася переважно завдяки вторинному волокну, тобто Силіцій активізував діяльність камбію, вторинної твірної тканини. Довжина й ширина клітин первинних волокон становили 40,2 та 25,9 мкм для рослин сорту 'Афіна' й 57,0 та 40,2 мкм для 'Глухівські 51'; вторинних волокон – 25,1 та 15,5 мкм і 33,4 та 16,5 мкм відповідно. Зменшення каналу й потовщення вторинних оболонок зумовило збільшення розмірів клітин первинних луб'яних волокон у сортів 'Афіна' та 'Глухівські 51' з 6,5 до 12,5 мкм і з 16,5 до 19,7 мкм відповідно; вторинних – з 5,5 до 7,2 мкм і з 6,0 до 7,6 мкм відповідно. Виявлено зростання частки клітин ізодіаметричної й овальної форми з опуклим контуром та клітин із малим каналом, що свідчить про структурну перебудову волокнистих утворень. **Висновки.** Для збільшення вмісту загального волокна у стеблах конопель обробку рослин розчином  $Si$  доцільно проводити в період інтенсивного накопичення вторинного волокна, а для отримання волокна вищої якості – під час інтенсивного накопичення первинного волокна.

**Ключові слова:** коноплі; стебло; анатомія; тканини; гістологія поперечного зрізу; луб; якість волокнопродукції; калій метасилікат.

Надійшла / Received 02.02.2026

Прийнято до друку / Accepted 22.02.2026

Опубліковано онлайн / Published online 30.03.2026

# The ecological plasticity and stability of high-oleic sunflower varieties (*Helianthus annuus* L.) in terms of their major fatty acid content

L. M. Prysiazniuk\*, A. M. Kyrylchuk, I. V. Smulska, S. M. Hryniv, L. V. Korol, N. V. Pavliuk, S. I. Melnyk, T. V. Dudka

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

**Purpose.** To determine the role of varietal genetic characteristics, growing conditions, and their interaction in the formation of the fatty acid (FA) composition of oil, as well as to assess the adaptive capacity and stability of the synthesis of major fatty acids in high-oleic (HO) sunflower varieties. **Methods.** Biochemical (gas chromatography) and statistical methods (analysis of variance, correlation and regression analyses). **Results.** An assessment of the effects of soil and climatic growing conditions, as well as genotype, on the fatty acid (FA) composition of sunflower oil revealed that varietal affiliation was the most influential factor in determining variations in oleic and linoleic acid content, accounting for 66% of total variation. Weather conditions of the year contributed 11% to the variability of oleic acid content, while the interaction of factors “location × year” explained an additional 11%, highlighting the role of environmental variability in the realization of the genetic potential of the varieties. The highest ecological plasticity for oleic acid content was observed in the varieties ‘AM PRESTIGE’ and ‘P64GE233’, which combined high ecological plasticity coefficients ( $b_i$ ) with low stability variance ( $W_i$ ), allowing them to be classified as intensive-type genotypes. For linoleic acid content, the varieties ‘AM KLP 25’, ‘IR Polysk’, and ‘IR Legat’ exhibited the greatest plasticity. The content of palmitic acid was largely determined by the genotype factor (64%) and the interaction “location × year”, whereas stearic acid content was predominantly influenced by weather conditions (79%). A strong negative correlation was identified between oleic and linoleic acid contents ( $r = -0.93$ ;  $R^2 = 0.87$ ). **Conclusions.** HO sunflower varieties are characterized by a high level of genetically determined stability of fatty acid composition, while simultaneously maintaining the ability to effectively realize their potential for enhanced oleic acid synthesis under favorable growing conditions. The assessment of ecological plasticity and stability revealed that the varieties ‘AM PRESTIGE’ and ‘P64GE233’ can be classified as intensive types with respect to oleic acid content, whereas the varieties ‘IR Polysk’, ‘AM KLP 25’, and ‘IR Legat’ demonstrated intensive responses for linoleic, palmitic, and stearic acid contents. The absence of extensive-type genotypes indicates stable expression of the HO phenotype across all studied varieties, regardless of growing conditions.

**Keywords:** sunflower varieties; fatty acid composition; effects of growing factors; adaptive capacity; statistical analysis.

## Introduction

The sunflower (*Helianthus annuus* L.) is the fourth most important source of vegetable oil, after soya, palm and rapeseed. It accounts for up to 12% of global edible oil production. Sunflower oil is primarily used for food purposes and is considered a premium commodity on the international oil market [1]. It contains more than ten fatty acids, including the four main ones: saturated palmitic acid (C16:0) and stearic acid

(C18:0), monounsaturated oleic acid (C18:1), and polyunsaturated linoleic acid (C18:2) [2]. Traditional sunflower oil is naturally rich in linoleic acid, accounting for around 70% of the total oil content, while oleic acid accounts for around 20%. The growth of the edible fats market is accompanied by a growing demand for both standard types of oil and vegetable oils with a modified fatty acid (FA) composition.

Compared with traditional sunflower oil, high-oleic (HO) sunflower oil contains over 70%

Larysa Prysiazniuk  
<https://orcid.org/0000-0003-4388-0485>  
Anzhela Kyrylchuk  
<https://orcid.org/0000-0003-3948-5810>  
Ivanna Smulska  
<https://orcid.org/0000-0001-9675-0620>  
Svitlana Hryniv  
<https://orcid.org/0000-0002-2044-4528>

Larysa Korol  
<https://orcid.org/0000-0003-1414-0015>  
Nataliia Pavliuk  
<https://orcid.org/0000-0003-2532-7301>  
Serhii Melnyk  
<https://orcid.org/0000-0002-5514-5819>  
Tetiana Dudka  
<https://orcid.org/0009-0003-4596-5877>



© The Author(s) 2026. Published by Ukrainian Institute for Plant Variety Examination. This is an open access article distributed under the terms of the license CC BY-SA 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>), which permits use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

oleic acid, while polyunsaturated fatty acid content is low. Sunflower oil with a high oleic acid content is a promising substitute for palm oil in food technology [4]. Thanks to its high oxidative stability, this oil is more heat-resistant during frying and heating, less prone to rancidity, and has a longer shelf life. It contains no trans fatty acids, enhancing its health benefits [5].

The genetic characteristics of plants are the most important factor in determining the FA composition of oil. However, environmental conditions, particularly the level of water supply during plant growth, also significantly influence the fatty acid content and characteristics of sunflower oil. Seed yield and oil content in sunflowers are the main indicators that are sensitive to a lack of moisture during flowering and reproductive development [6]. Air temperature is also a key environmental factor that influences the FA composition of seed oil. One mechanism by which seeds adapt to adverse conditions is to reduce the level of unsaturated fatty acids. The fatty acid composition of the oil is determined by temperature conditions during the physiological ripening period, which regulate the activity of the oleate desaturase enzyme (FAD2-1). There is a non-linear relationship between oleic acid content and minimum night-time temperature [7]. In traditional varieties, the difference in oleic acid content between regions at different latitudes can be 25–30%. However, the influence of latitude on oleic acid content is significantly less pronounced among HO genotypes carrying the *Pervenets* mutation, with a reduction of just 8–10%. This influence is almost non-existent in HO varieties with the *NM1* mutation, which has been identified in nearly isogenic sunflower lines and is associated with the oversynthesis of oleic acid [8].

Research findings [8] suggest that the FA composition of oil is formed through the combined influence of genetic factors and environmental conditions, with genotype playing a leading role. However, the extent to which this occurs varies significantly depending on environmental parameters. The authors prove that the variability of unsaturated fatty acids is determined not only by direct genetic control but also by a complex three-factor interaction of “mutation × genetic background × environment”, with temperature conditions – particularly minimum night-time temperatures during the seed-filling period – significantly influencing FA synthesis. The results presented in [6] confirm that the factors “genotype”, “environment” and their interaction all made a statistically significant contribution to the formation of the fatty acid profile. Particular empha-

sis is placed on the influence of the water regime, specifically drought, which increases the proportion of saturated fatty acids. A review of the literature suggests that genotype determines the fundamental potential of the fatty acid profile, but its phenotypic expression is a dynamic process influenced by climatic conditions, agroecological factors, and their interaction [9].

The “genotype × growing conditions” interaction is a common research topic in crop breeding and agricultural crop studies, as different genotypes respond differently to changes in environmental conditions [10]. The method of analysis of variance (ANOVA) is used to quantitatively assess the contribution of genotype, environment and their interaction to the formation of the traits under study. This method allows the sources of variation to be structured and their relative significance to be assessed [11]. The results obtained by the authors [11] demonstrate the analytical value of this approach. It allows for a well-founded interpretation of the role of each factor in trait formation and enables a shift from descriptive genotype comparisons to structured analyses of sources of variation. Therefore, ANOVA is not merely a formal procedure for testing significance; it is also a tool for determining the quantitative contribution of individual factors to the overall structure of trait variation.

The adaptive properties of varieties in different environments are characterised by indicators of ecological plasticity and stability. These reflect the plants’ ability to respond to changes in growing conditions while maintaining a relatively stable level of productivity. Ecological plasticity ( $b_i$ ) is determined by the regression coefficient of the trait under study relative to the environmental index. This index is calculated based on the mean values of all genotypes studied under the relevant growing conditions. The value of  $b_i$  reflects the genotype’s ability to alter the expression level of the trait in response to variations in environmental factors.

Genotype stability is assessed by the magnitude of deviations in the observed values of a trait from the regression line, which characterises how predictable its expression is under varying environmental conditions. According to Wricke Model, genotypes that combine high ecological plasticity with low ecovalence values ( $W_i$ ) are considered to be intensive, indicating their ability to realise their yield potential effectively under favourable conditions without significant loss of stability [12, 13].

*The aim of the study* is to determine the influence of genotype, growing conditions, and their

interaction on the FA composition of oil, and to evaluate the adaptive capacity of annual sunflower varieties in terms of their major fatty acid content.

### Materials and methods

The research, which examined five high-oleic annual sunflower varieties, was conducted during 2024–2025: ‘AM KLP 25’, ‘P64GE233’, ‘AM PRESTIGE’, ‘IR Polysk’ and ‘IR Legat’. These varieties were tested in field trials at seven research stations of the Ukrainian Institute for Plant Variety Examination across the Dnipropetrovsk, Kirovohrad, Vinnytsia, Sumy, Odesa and Poltava regions, to assess their suitability for cultivation in Ukraine.

The content of the main fatty acids (oleic, linoleic, palmitic and stearic) in the oil of the studied sunflower varieties was determined by gas chromatography, in accordance with the approved methodology, immediately after harvesting [14].

The coefficient of significance of the deviations in air temperature and precipitation from long-term monthly averages during the study period was calculated using the following formula:

$$C_s = \frac{X_i - \bar{X}}{\sigma}$$

where:  $C_s$  is coefficients of significance of deviation;  $\bar{X}$  is the indicator value under current weather conditions;  $X_i$  is the long-term monthly average indicator value;  $\sigma$  is the standard deviation.

The deviation coefficient values are interpreted according to the following scale:  $C_s = 0-1$ : conditions close to long-term averages.

$C_s = 1-2$ : significantly different conditions.

$C_s > 2$ : conditions close to extreme [15].

A three-factor analysis of variance was conducted to determine the influence of various factors on the fatty acid content in HO sunflower varieties: factor 1 – variety genotype (genotype); factor 2 – soil and climatic conditions at the research site (research site); and factor 3 – climatic conditions during the sunflower cultivation growing season (year). The proportions of each factor’s influence on the fatty acid content of sunflower oil were determined using an analysis of variance with the trial version of the STATISTICA 12.0 computer programme (trial version) [16].

The linear regression method was applied to determine the nature and strength of the relationship between the fatty acid content in sunflower oil [17]. Pearson linear pairwise correlation analysis was applied to assess the strength

and direction of the relationship between individual components of the fatty acid composition [18]. These analyses were performed using MS Excel tools and functions.

The ecological plasticity of the dominant fatty acid composition in sunflower seeds was determined in accordance with the Eberhart and Russell model [19]. The Wricke stability model [13] was used to evaluate the stability of the varieties. The trial version of PTC Mathcad Prime 3.1 software (trial version) was used to calculate the regression coefficients ( $b_i$ ) and Wricke’s ecovalence ( $W_i$ ).

### Research results

Calculated coefficients of significance of deviations for air temperature and precipitation suggest that weather conditions varied significantly throughout the sunflower growing season at the research sites (Figures 1 and 2).

During April–May, it was noted that temperature conditions at most observation points deviated from the long-term average by a factor of  $C_s = 0-1$ , indicating conditions close to the long-term average. At the same time, reduced precipitation at a number of stations during this period was indicated by coefficients of  $C_s = 1-2$ , suggesting significantly different moisture conditions and the potential for limitations to the initial growth of plants.

During the flowering period (July–August), which is considered a key stage in establishing oil-yield potential, significantly different temperature conditions to the long-term average ( $C_s = 1-2$ ) were observed at most research sites. In some years, these conditions were close to extreme ( $C_s > 2$ ). The lack of rainfall during this period exacerbated the plants’ water stress, contributing to the enhanced expression of genotype-specific adaptive mechanisms.

During the seed-filling phase, which directly influences the intensity of fatty acid synthesis, temperature conditions at several locations were close to the long-term average ( $C_s = 0-1$ ), while moisture conditions differed significantly ( $C_s = 1-2$ ). This combination of temperature and limited water availability is crucial for achieving the desired ratio of oleic to linoleic acids, especially in high-oleic varieties [21].

Thus, contrasting weather conditions during key stages of sunflower development resulted in varying temperature and moisture regimes. This justifies the need for further quantitative assessment of how individual factors and their interactions contribute to the fatty acid composition of seeds.

The results of the analysis of variance revealed how the main factors influenced the

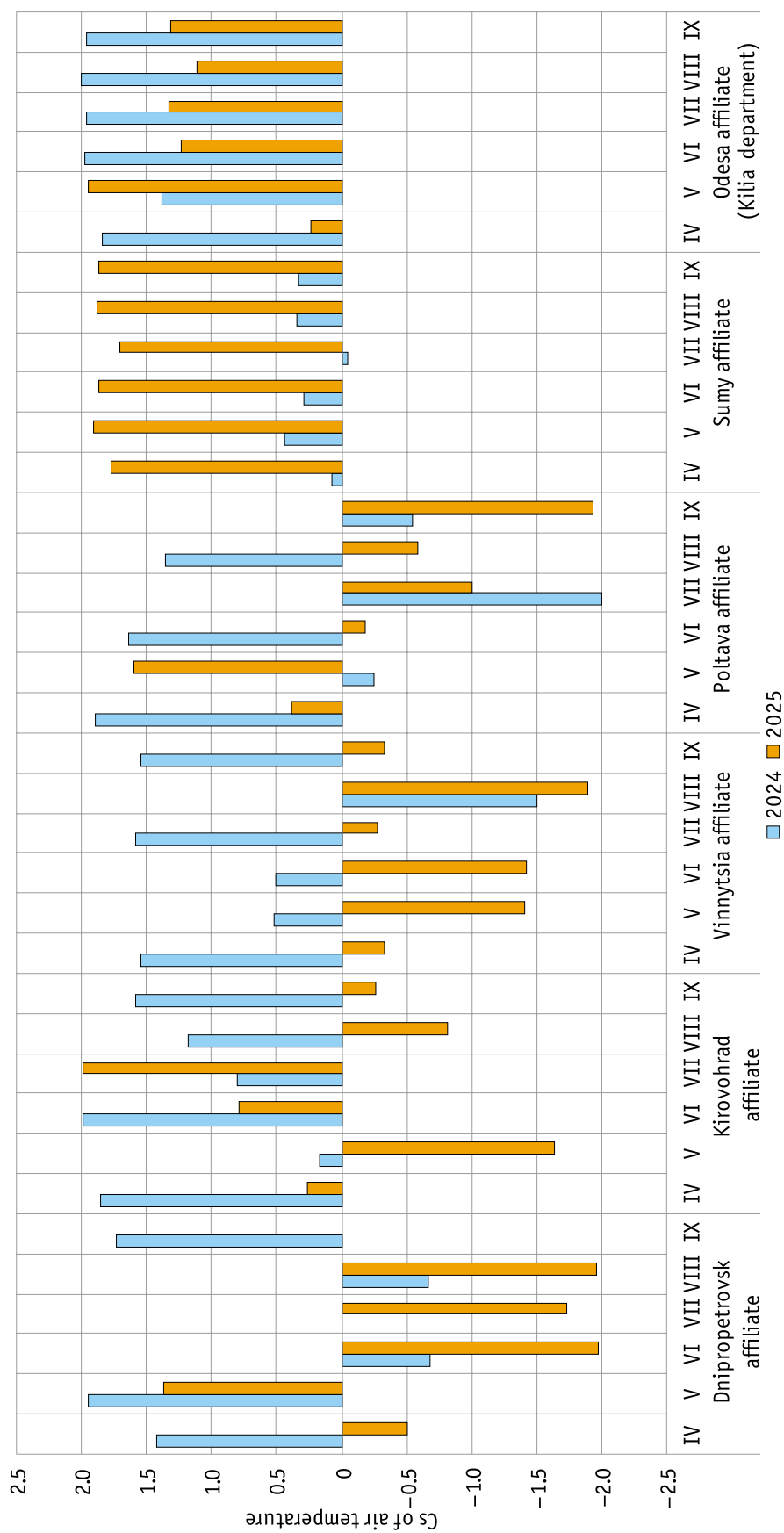


Fig. 1. Coefficients of significance of deviations of air temperature from long-term monthly averages at research stations, 2024–2025

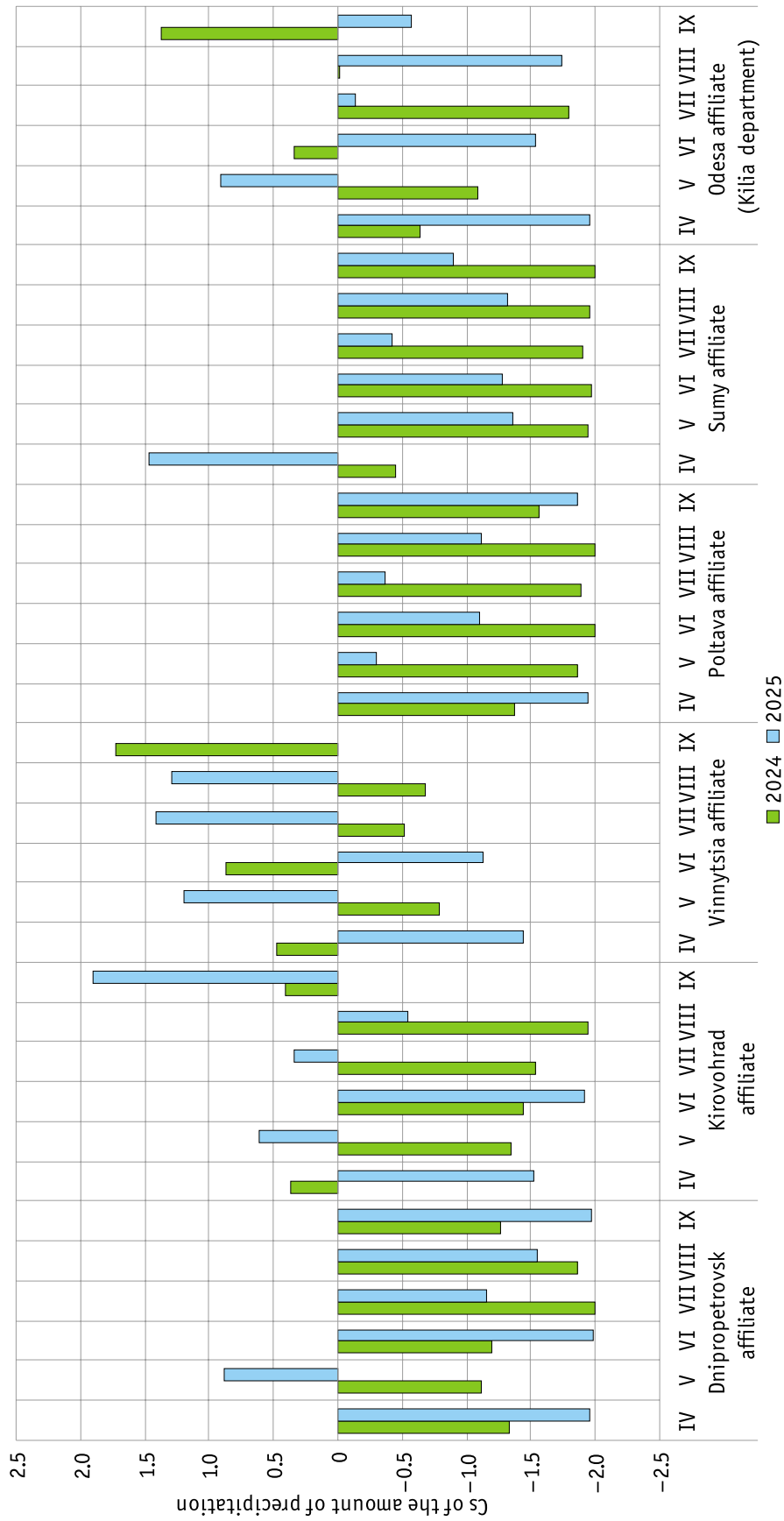


Fig. 2. Coefficients of significance of deviations of precipitation from multi-year average monthly indicators at research points, 2024–2025

variation in the content of key fatty acids (oleic, linoleic, palmitic and stearic acids) in oil from

five sunflower varieties with a high oil content (Table 1).

Table 1

**Mean square of deviations (MS) and percentage contribution of factors to the content of oleic, linoleic, palmitic, and stearic acids**

Factor	Oleic acid		Linoleic acid		Palmitic acid		Stearic acid	
	MS	%	MS	%	MS	%	MS	%
Genotype	2945.7	66	2284.0	66	5.9	64	2,3	3
Research site	138.3	3	210.0	6	1.1	12	1,2	2
Year	491.0	11	21.7	1	0.4	4	54,1	79
Genotype × Research site	126.5	3	133.2	4	0.4	4	0,3	0
Genotype × Year	106.8	2	181.8	5	0.3	3	0,4	1
Research site × Year	476.3	11	406.8	12	0.8	8	10,0	15
Genotype × Research site × Year	164.3	4	209.8	6	0.4	5	0,4	0
Errors	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0,0	0
LSD <sub>0.05</sub>	0.3		0.2		0.3		0.3	

Genotype was the most significant factor determining oleic acid levels, accounting for 66% of the variation. This suggests that the oleic acid content of the studied sunflower varieties is predominantly influenced by genetic factors.

It was found that weather conditions during the growing season accounted for 11% of the variation in the trait, whereas the combination of soil and climatic factors associated with the geographical location of the research sites only accounted for 3%. An important component of the analysis is assessing factor interactions. The largest share of the interactions was accounted for by the “research site × year” combination, reaching 11%. This indicates that fluctuations in oleic acid content depend significantly on the specific conditions of Ukraine’s soil and climate zones, as well as on annual variability in weather conditions. The other interactions, namely “genotype × year”, “genotype × research site” and “genotype × research site × year”, did not exceed 4%. These low values indicate that the studied hybrids have limited ability to adapt to external conditions.

According to the analysis of variance results, the main factor contributing to variation in linoleic and oleic acid content in HO varieties was genotype, accounting for 66% of variation (Table 1). Annual climatic conditions contributed minimally, accounting for only 1% of the variation, while the soil and climatic conditions at the research site accounted for 6%.

The interaction between the “research site × year” factors was also significant, accounting for 12% of the variation in linoleic acid content. The effects of the other interactions ranged from 4% to 6%, indicating that they played a moderate but statistically significant role in formation the fatty acid profile of the varieties under study.

It has been determined that there is a strong inverse correlation between oleic and linoleic

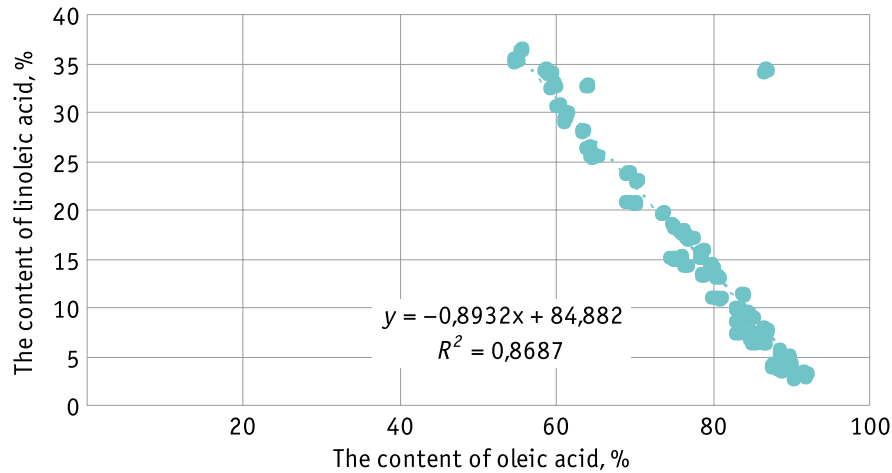
acid content, indicating the leading role of genotype in shaping the fatty acid profile while not ruling out the significant influence of growing conditions and other environmental factors [22]. Correlation analysis also revealed a strong inverse relationship between oleic and linoleic acid content in the studied HO sunflower varieties ( $r = -0.93$ ).

Regression analysis revealed a clear negative linear correlation between oleic and linoleic acid levels in sunflower seeds. The coefficient of determination ( $R^2$ ) is 0.8687, indicating that approximately 87% of the variation in linoleic acid content can be explained by changes in oleic acid content. This suggests a strong, stable inverse relationship between these two indicators of fatty acid composition (Fig. 3).

The observed relationship is consistent with the known biochemical mechanism of converting oleic acid to linoleic acid via the enzyme desaturase, which explains the opposite trends in their accumulation [23].

The genotype factor was found to contribute most significantly to variability in palmitic acid content in the sunflower hybrids studied, accounting for 64% of total variation (Table 1). Soil and climatic conditions at the study sites accounted for approximately 12% of the total variability in fatty acid (FA) content, while annual weather conditions influenced this indicator by 4%. Of the interactions studied, the most significant was the combination of the “study site × year” factors, indicating that under unfavourable soil and climatic conditions, the compensatory effect of weather factors in a given year can create conditions that allow sunflower varieties to demonstrate their adaptive potential regarding palmitic acid content.

The results of the correlation analysis revealed a strong inverse relationship between oleic and palmitic acid content ( $r = -0.82$ ). By

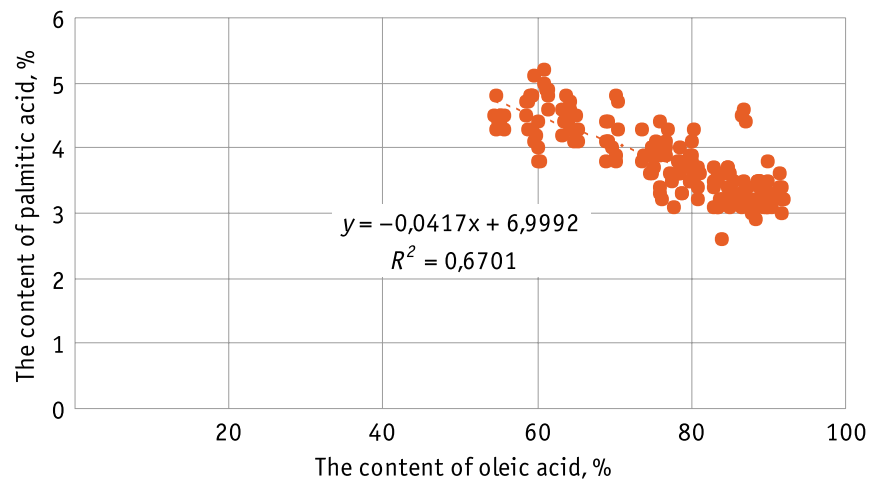


**Fig. 3. Regression relationship between the content of oleic and linoleic acids in high-oleic sunflower varieties**

contrast, a strong positive correlation was found between linoleic and palmitic acid content ( $r = 0.85$ ).

Regression analysis confirmed the presence of a clear negative linear relationship between

palmitic acid and oleic acid. The coefficient of determination ( $R^2$ ) is 0.6701, indicating that approximately 67% of the variation in palmitic acid content is attributable to changes in oleic acid concentration (Fig. 4).



**Fig. 4. Regression relationship between the content of oleic and palmitic acids in the H0 sunflower varieties**

At the same time, a consistent positive linear relationship was observed between palmitic acid and linoleic acid, as evidenced by  $R^2 = 0.7257$ . This level of determination indicates a strong, statistically significant correlation between these fatty acid components (Fig. 5).

According to the results of study [24], a strong negative correlation was observed between the content of oleic and linoleic acids under optimal growing conditions and during water stress. The authors also noted a strong negative correlation between palmitic and oleic acids, as well as a pronounced positive correlation between palmitic and linoleic acids. In contrast, data obtained for local Tunisian sunflower varieties [25] revealed a significant negative correlation between linoleic and palmitic acids.

Taken together, these results indicate that the content of oleic, linoleic, and palmitic acids, as well as the nature of the relationships between them, are influenced not only by genotypic characteristics but are also significantly modified depending on growing conditions.

Unlike the other fatty acids studied in HO-type sunflowers, stearic acid content was primarily determined by weather conditions during the year in question, accounting for 79% of the variation (see Table 1). The genetic characteristics of the variety accounted for just 3% of the variation in this parameter, whereas soil and climatic conditions at the research site accounted for approximately 2%.

Of the factor interactions, the “experimental site  $\times$  year” combination was found to be the most significant, explaining 15% of the varia-

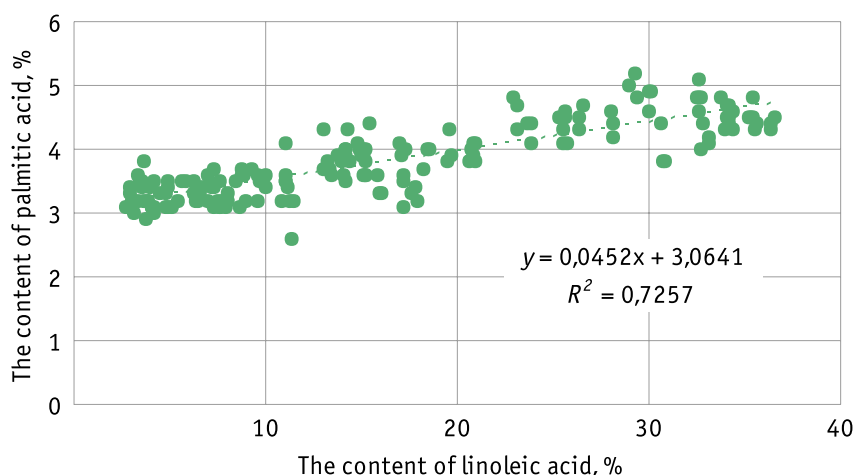


Fig. 5. Regression relationship between the content of linoleic and palmitic acids in the HO sunflower varieties

tion. In contrast, the “genotype  $\times$  year” interaction accounted for just 1%. The other interactions among the studied factors had a significant but very low influence on the formation of stearic acid content in HO-type sunflowers.

Based on the results of two-year studies of sunflower genotypes under various growing conditions [6], the authors determined that the palmitic acid content was most strongly influenced by the interaction of the “genotype  $\times$  growing conditions” factors (28.8%). Stearic and oleic acids were predominantly controlled by growing conditions (33.4% and 34.4%, respectively), while linoleic acid depended more on genotype (30.7%).

In addition, it has been established that arid conditions significantly reduce the oleic acid content of sunflower oil. The authors attribute this effect to the activity of the  $\Delta^9$ -desaturase enzyme, which becomes active around eight days after flowering and coincides with an increase in oil biosynthesis. As this enzyme catalyses the desaturation of stearic acid, it is thought to be responsible for the accumulation

of oleic acid. Further desaturation of oleic acid to linoleic acid is catalysed by the  $\Delta$ -12-desaturase enzyme, which also plays a role in determining the oleic acid content. Furthermore, it has been demonstrated that under water stress, the concentration of saturated fatty acids, such as palmitic and stearic acids, increases considerably, suggesting their potential involvement in plant drought tolerance mechanisms.

Our studies have revealed a moderate inverse correlation ( $r = -0.40$ ) between the accumulation of oleic and stearic acids in sunflower varieties. Regression analysis of the relationship between the content of these two acids in the sunflower samples studied revealed a weak but distinct negative linear trend (Fig. 6).

The resulting regression equation shows that an increase in the proportion of oleic acid tends to be accompanied by a decrease in the concentration of stearic acid. With a coefficient of determination of  $R^2 = 0.1606$ , only around 16% of the variation in stearic acid content can be explained by changes in oleic acid levels. This suggests a weak linear relationship and that other factors,

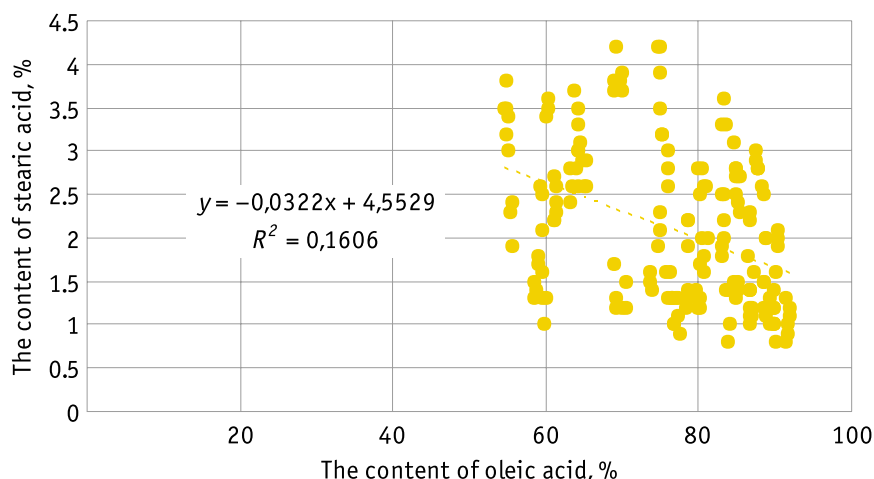


Fig. 6. Regression relationship between oleic and stearic acids content in HO sunflower varieties

particularly genotypic characteristics and growing conditions, have a significant influence.

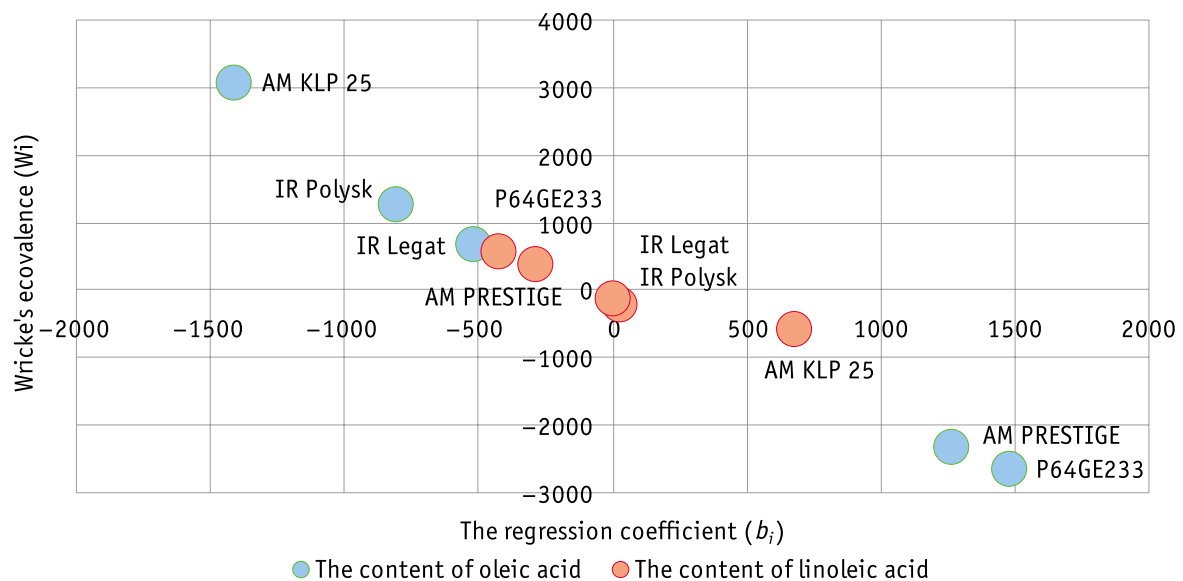
The pathways of fatty acid biosynthesis in sunflower seeds, along with the mechanisms that regulate them, have been well characterised at molecular and biochemical levels [27]. Meanwhile, statistical “product–substrate” analysis enables us to evaluate the impact of genetic differences and environmental conditions on the fatty acid composition of sunflower varieties.

According to [28], the oleic acid content of sunflower varieties was significantly reduced under drought conditions, while the linoleic acid content increased. It was also noted that the stearic acid content decreased under water-deficient conditions. A decrease in stearic acid content was also observed under drought conditions [29]. The differences observed in changes to the fatty acid composition of sunflowers under drought conditions, as described in various studies, may be due to the use of different varieties, as well as the application of drought stress at different stages of plant growth and development.

The observable effects of the environment and the “genotype  $\times$  growing conditions” inte-

reaction can be attributed to significant differences in the experimental conditions. These include the location of the experimental sites, the years in which the experiments were conducted and the weather conditions. These factors led to variations in the fatty acid content of different plant varieties. The presence of a significant “genotype  $\times$  growing conditions” interaction indicates that varieties respond differently to environmental conditions. This makes it possible to assess the adaptive characteristics and stability of genotypes in terms of major fatty acid content.

The results of the regression analysis showed that the varieties ‘AM PRESTIGE’ and ‘P64GE233’ exhibited high ecological plasticity in terms of oleic acid content. Meanwhile, based on linoleic acid content, the varieties ‘AM KLP 25’, ‘IR Polysk’ and ‘IR Legat’ were found to be plastic. Taking the obtained Wricke ecovalence values ( $W_i$ ) into account, these varieties were classified as intensive, indicating their ability to realise their genetically determined potential for corresponding fatty acid content under favourable growing conditions (Fig. 7).



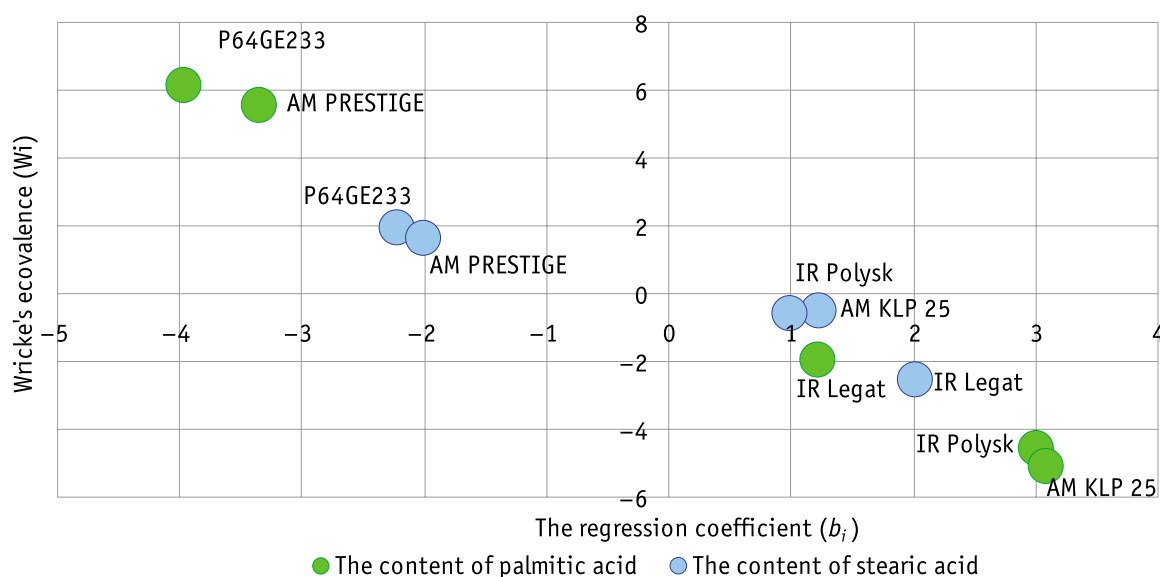
**Fig. 7. Ecological plasticity and stability of sunflower varieties based on their oleic and linoleic acid content**

Based on their palmitic and stearic acid content, the varieties ‘IR Polysk’, ‘AM KLP 25’ and ‘IR Legat’ are classified as intensive-type varieties with high ecological plasticity. This indicates their ability to respond adequately to changes in growing conditions and synthesise these fatty acids effectively (Fig. 8).

The results obtained for the classification of the studied sunflower varieties as intensive types, based on their major fatty acid content, are consistent with the conclusions of the correlation and regression analyses.

The identified patterns confirm the existence of correlations between the fatty acid composition of the oil and the genotypic characteristics of the varieties, as well as the influence of weather and soil-climatic growing conditions [30, 31].

The stability of the fatty acid content was assessed based on particularly negative values of Wricke ecovalence. Analysis revealed that high-yielding sunflower varieties with high levels of major fatty acids are characterised by a high degree of stability. This indicates their ability



**Fig. 8. Ecological plasticity and stability of H0 sunflower varieties based on palmitic and stearic acid content**

to ensure consistent trait expression under variable environmental conditions.

Among the sunflower varieties studied, no varieties could be classified as extensive in terms of their major fatty acid content. This is likely due to the significant influence of the genetic component on the formation of the studied indicators, particularly the high oleic acid content, which defines high-oleic sunflower varieties. The results suggest that, if the crops are adequately isolated, the maximum oleic acid content will remain stable and sufficient for classifying these varieties as high-oleic, despite variations in growing conditions.

## Conclusions

Two-year studies conducted under various soil and climatic conditions established that the fatty acid composition of oil from annual sunflower varieties depends on the combined influence of their genotypic characteristics and growing conditions. Analysis of variance revealed the key role of the genotype factor, accounting for 66% of the variation in oleic and linoleic acid content. This confirms the crucial importance of varietal characteristics in determining these traits in sunflower varieties. However, the influence of annual weather conditions, as well as their interaction with soil and climatic conditions at the research sites, was also significant, particularly during the critical flowering and seed-filling phases, which determine the intensity of fatty acid synthesis.

Correlation and regression analyses confirmed the presence of strong inverse relationships between oleic and linoleic acid content, and between oleic and palmitic acid content. These results are consistent with known bio-

chemical mechanisms of metabolism. Stearic acid content was characterised by increased sensitivity to seasonal weather conditions, indicating the significant role of environmental factors in its accumulation.

An assessment of ecological plasticity and stability revealed that the 'AM PRESTIGE' and 'P64GE233' varieties belong to the intensive type in terms of oleic acid content. Meanwhile, the 'IR Polysk', 'AM KLP 25', and 'IR Legat' varieties belong to the intensive type in terms of linoleic, palmitic, and stearic acid content, combining high adaptability with stable trait expression. The absence of extensive genotypes indicates that the high-oleic type is expressed stably, regardless of variations in growing conditions, provided that technological requirements are met.

## References

- Izquierdo, N. G., Dubinsky, E., González Belo, R., & Zambelli, A. D. (2024). Development and food applications of sunflower oils in Argentina. *Helia*, 2024, 47(80), 18–35. <https://doi.org/10.29329/helia.2024.763.3>
- Mu, Y., Sun, Y., Wu, Y., Yi, L., Yu, H., & Zhang, S. (2025). Transcriptome analysis reveals metabolic pathways and key genes involved in oleic acid formation of sunflower (*Helianthus annuus* L.). *International Journal of Molecular Sciences*, 26(14), Article 6757. <https://doi.org/10.3390/ijms26146757>
- Rauf, S., Jamil, N., Tariq, S. A., Khan, M., Kausar, M., & Kaya, Y. (2017). Progress in modification of sunflower oil to expand its industrial value. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 97(7), 1997–2006. <https://doi.org/10.1002/jsfa.8214>
- Luo, X., Hu, B., Jia, C., Liu, R., Rong, J., Zhao, S., Niu, M., Xu, Y., Yin, T., & You, J. (2024). Study by means of 1H nuclear magnetic resonance of the oxidation process in high oleic sunflower oil and palm oil during deep-frying of fish cakes. *Food Research International*, 179, Article 113942. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2024.113942>
- Dimitrijević, A., Imerovski, I., Miladinović, D., Cvejić, S., Jocić, S., Zeremski, T., & Sakać, Z. (2017). Oleic acid variation and marker-assisted detection of Pervenets mutation in high- and low-oleic

- sunflower cross. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, 17(3), 235–241. <https://doi.org/10.1590/1984-70332017v17n3a36>
6. Ghaffari, M., Gholizadeh, A., & Rauf, S. (2023). Dissection of genotype-by-environment interaction and stability analysis of major fatty acids in sunflower. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 69(14), 3184–3200. <https://doi.org/10.1080/03650340.2023.2210503>
  7. Debaeke, P., & Izquierdo, N. G. (2020). Sunflower. In *Crop physiology: Case histories for major crops* (3rd ed., pp. 482–517). Academic Press.
  8. Alberio, C., Aguirrezábal, L. A., Izquierdo, N. G., Reid, R., Zuil, S., & Zambelli, A. (2018). Effect of genetic background on the stability of sunflower fatty acid composition in different high oleic mutations. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 98(11), 4074–4084. <https://doi.org/10.1002/jsfa.8924>
  9. Afzal, O., Ahmed, M., Khattak, S. H., Aslam, M. A., Komal, S., Murtaza, M., Bashir, F., Ahmad, A., Mirbaz, A., Rasheed, H. U., Ali, G. M., Usman, M., Alwutayd, K. M., Al Aboud, N. M., Haider, I., Mazhar, S., & Gurbanova, L. (2025). Phenotypic plasticity of safflower genotypes in response to contrasting climatic conditions. *Plant Molecular Biology Reporter*, 43(4), 2272–2284. <https://doi.org/10.1007/s11105-025-01608-z>
  10. Katsenios, N., Sparangis, P., Chanioti, S., Giannoglou, M., Leonidakis, D., Christopoulos, M. V., Katsaros, G., & Efthimiadou, A. (2021). Genotype × environment interaction of yield and grain quality traits of maize hybrids in Greece. *Agronomy*, 11(2), Article 357. <https://doi.org/10.3390/agronomy11020357>
  11. Azrai, M., Aqil, M., Efendi, R., Andayani, N. N., Makkulawu, A. T., Iriany, R. N., Suarni, Yasin, M., Suwardi, Zainuddin, B., Salim, Sitaresmi, T., Bahtiar, Paesal, & Suwarno, W. B. (2023). A comparative study on single and multiple trait selections of equatorial grown maize hybrids. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 7, Article 1185102. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2023.1185102>
  12. Prysiazniuk, L., Topchii, O., Kyienko, Z., Tkachyk, S., & Melnyk, S. (2021). The ecological adaptation of new spring canola varieties in different environmental conditions. *Agronomy Research*, 19(S2), 1124–1135. <https://doi.org/10.15159/AR.21.060>
  13. Thouraya, A., Sghaier, T., & Ammani, Y. (2024). *Deciphering of genotype-by-environment interaction using different statistical methods of walnut genotypes* (Version 1) [Preprint]. Research Square. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-3932025/v1>
  14. Methodology for Conducting the Qualification Examination of Plant Varieties for Suitability for Distribution in Ukraine. Methods for Determining Quality Indicators of Crop Production. [https://sops.gov.ua/uploads/page/metodiki/MetodRosL\\_2023.pdf](https://sops.gov.ua/uploads/page/metodiki/MetodRosL_2023.pdf)
  15. Prysiazniuk, L., Honcharov, Y., & Korol, L. (2022). The Impact of Allelic State of dhn1 and rsp41 Genes on Grain Moisture Content of Maize Hybrids Within Marker Assisted Selection (MAS) for Drought Resistance. In *Lecture Notes in Civil Engineering* (pp. 253–264). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-13090-8\\_26](https://doi.org/10.1007/978-3-031-13090-8_26)
  16. Ibrahim, N., & Abdullahi, A. B. (2023). Analysis of variance (ANOVA) Randomized Block Design (RBD) to test the variability of three different types of fertilizers (NPK, UREA and SSP) on millet production. *African Journal of Agricultural Science and Food Research*, 9(1), 1–10.
  17. Montgomery, D. C., Peck, E. A., & Vining, G. G. (2012). *Introduction to linear regression analysis* (5th ed.). John Wiley & Sons.
  18. Sokal, R. R., & Rohlf, F. J. (2012). *Biometry: The principles and practice of statistics in biological research* (4th ed.). W. H. Freeman and Company.
  19. de la Mata, R., Zas, R., Bustingorri, G., Sampedro, L., Rust, M., Hernandez-Serrano, A., & Sala, A. (2022). Drivers of population differentiation in phenotypic plasticity in a temperate conifer: A 27-year study. *Evolutionary Applications*, 15(11), 1945–1962. <https://doi.org/10.1111/eva.13492>
  20. Zhou, F., Liu, Y., Wang, W., Wu, L., Yuan, H., Liu, X., Ma, J., Wang, J., Yao, Y., Zhang, L., & Huang, X. (2022). Comparative transcriptomic analyses of high and low oleic acid content sunflower (*Helianthus annuus* L.) seed development. *Pakistan Journal of Botany*, 54(6). [https://doi.org/10.30848/pjb2022-6\(16\)](https://doi.org/10.30848/pjb2022-6(16))
  21. Puttha, R., Venkatachalam, K., Hanpakdeesakul, S., Wongsu, J., Parametthanuwat, T., Srean, P., Pakeechai, K., & Charoenphun, N. (2023). Exploring the Potential of Sunflowers: Agronomy, Applications, and Opportunities within Bio-Circular-Green Economy. *Horticulturae*, 9(10), Article 1079. <https://doi.org/10.3390/horticulturae9101079>
  22. Joksimović, J., Atlagić, J., Marinković, R., & Jovanović, D. (2006). Genetic control of oleic and linoleic, d acid contents in sunflower. *Helia*, 29(44), 33–40. <https://doi.org/10.2298/hel0644033j>
  23. Talebi, S. M., Darbandi, N., Naziri, F., & Matsyura, A. (2024). Seed morphometry and fatty acid profile in oilseed and non-oilseed sunflower cultivars. *Biochemical Systematics and Ecology*, 113, Article 104805. <https://doi.org/10.1016/j.bse.2024.104805>
  24. Ghaffari, M., Gholizadeh, A., Rauf, S., & Shariati, F. (2023). Drought stress induced changes of fatty acid composition affecting sunflower grain yield and oil quality. *Food Science & Nutrition*, 11(12), 7718–7731. <https://doi.org/10.1002/fsn3.3690>
  25. Hosni, T., Abbes, Z., Abaza, L., Medimagh, S., Ben Salah, H., & Kharrat, M. (2022). Biochemical characterization of seed oil of Tunisian sunflower (*Helianthus annuus* L.) accessions with special reference to its fatty acid composition and oil content. *Journal of Food Quality*, 2022(1), Article 2875072. <https://doi.org/10.1155/2022/2875072>
  26. Hanafy, R. S., & Sadak, M. S. (2023). Foliar spray of stigmasterol regulates physiological processes and antioxidant mechanisms to improve yield and quality of sunflower under drought stress. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 23(2), 2433–2450. <https://doi.org/10.1007/s42729-023-01197-4>
  27. Salas, J. J., Martínez-Force, E., Harwood, J. L., Venegas-Calerón, M., Aznar-Moreno, J. A., Moreno-Pérez, A. J., Ruiz-López, N., Serrano-Vega, M. J., Graham, I. A., Mullen, R. T., & Garcés, R. (2014). Biochemistry of high stearic sunflower, a new source of saturated fats. *Progress in Lipid Research*, 55, 30–42. <https://doi.org/10.1016/j.plipres.2014.05.001>
  28. Popa, M., Anton, G., Rîșnoveanu, L., Petcu, E., & Băbeanu, N. (2017). The effect of planting date and climatic condition on oil content and fatty acid composition in some Romanian sunflower hybrids. *AgroLife Scientific Journal*, 6(1), 212–217.
  29. Ghaffari, M., & Shariati, F. (2023). Genetic analysis of sunflower fatty acids under optimum and water stressed conditions. *Helia*, 46(78), 123–142. <https://doi.org/10.1515/helia-2023-0006>
  30. Wang, L., Wang, L., Tan, M., Yu, H., Wang, J., Li, Y., Wang, W., Yan, X., & Wang, L. (2022). Rapid identification and preliminary evaluation of quality characters of oilseed sunflower by near infrared spectroscopy. *Oil Crop Science*, 7(3), 142–148. <https://doi.org/10.1515/helia-2023-0006>
  31. Zapletalová, A., Ernst, D., & Černý, I. (2023). Effect of growing factors on production and fatty acid composition of sunflower schenes. *Acta Fytotechnica et Zootechnica*, 26(3), 305–313. <https://doi.org/10.15414/afz.2023.26.03.305-313>

УДК 633.854.78: 57.045: 577.115.3

**Присяжнюк Л. М., Кирильчук А. М., Смульська І. В., Гринів С. М., Король Л. В., Павлюк Н. В., Мельник С. І., Дудка Т. В.** Екологічна пластичність і стабільність високоолеїнових сортів соняшнику (*Helianthus annuus* L.) за показником вмісту основних жирних кислот. *Plant Varieties Studying and Protection*. 2026. Т. 22, № 1. С. 11–22. <https://doi.org/10.21498/2518-1017.22.1.2026.357578>

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

**Мета.** Установити роль генетичних особливостей сорту, умов вирощування та їхньої взаємодії у формуванні жирнокислотного (ЖК) складу олії, а також визначити адаптаційну здатність і стабільність синтезу основних жирних кислот у високоолеїнових (ВОЛ) сортів соняшнику однорічного. **Методи.** Біохімічні (газова хроматографія), статистичні (дисперсійний, кореляційно-регресійний аналіз). **Результати.** За результатами оцінювання впливу ґрунтового-кліматичних умов вирощування та генотипу на ЖК склад олії соняшнику встановлено, що найбільш вагомим чинником, який на 66% визначав зміни у вмісті олеїнової та лінолевої кислот, була належність до певного сорту. Погодні умови року зумовлювали 11% у варіаціях вмісту олеїнової кислоти, а взаємодія факторів «пункт досліджень × рік» – ще 11%, що підкреслює роль екологічної мінливості в реалізації генетичного потенціалу сортів. Максимальну екологічну пластичність за вмістом олеїнової кислоти зафіксовано в сортів 'АМ ПРЕСТИЖ' та 'П64ГЕ233'. Вони поєднували високі значення екологічної пластичності ( $b_i$ ) з низькими показниками стабільності ( $W_i$ ), що дало змогу класифікувати їх як генотипи інтенсивного типу. За вмістом

лінолевої кислоти пластичними виявилися 'АМ КЛП 25', 'ІР Полиск' та 'ІР Легат'. Уміст пальмітинової кислоти значною мірою залежав від фактора генотипу (64%) та взаємодії чинників «пункт досліджень × рік», тоді як стеаринової – від погодних умов (79%). Між вмістом олеїнової та лінолевої кислот встановлено тісний обернений кореляційний зв'язок ( $r = -0,93$ ;  $R^2 = 0,87$ ). **Висновки.** ВОЛ сорти соняшнику характеризуються значною генетично зумовленою стабільністю ЖК складу й водночас здатністю ефективно реалізовувати свій потенціал до підвищеного синтезу олеїнової кислоти за сприятливих умов вирощування. Оцінювання екологічної пластичності та стабільності показало, що сорти 'АМ ПРЕСТИЖ' і 'П64ГЕ233' є інтенсивними за вмістом олеїнової кислоти, тоді як 'ІР Полиск', 'АМ КЛП 25' та 'ІР Легат' – за вмістом лінолевої, пальмітинової і стеаринової. Водночас відсутність екстенсивних генотипів свідчить про стабільну реалізацію ВОЛ типу всіх досліджуваних сортів, незалежно від умов вирощування.

**Ключові слова:** сорти соняшнику; жирнокислотний склад; вплив факторів вирощування; адаптаційна здатність; статистичний аналіз.

Надійшла / Received 10.02.2026

Прийнято до друку / Accepted 20.03.2026

Опубліковано онлайн / Published online 30.03.2026

## Стійкість колекційних зразків ячменю озимого проти комплексу біо- та абіотичних стресових чинників у Лісостепу України

В. М. Гудзенко<sup>1,2\*</sup>, А. А. Лисенко<sup>3</sup>, Т. П. Поліщук<sup>4</sup>, Н. М. Буняк<sup>1</sup>, М. О. Сардак<sup>1</sup>, Т. В. Юрченко<sup>4</sup>, Є. А. Кузьменко<sup>3</sup>, Л. В. Худолій<sup>2</sup>, І. В. Коховська<sup>2</sup>, Ю. А. Кравченко<sup>2</sup>

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

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

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

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

**Мета.** Виділити генетичні джерела стійкості / толерантності до найбільш поширених біо- та абіотичних стресових чинників для залучення їх у селекційні програми ячменю озимого в Лісостепу України. **Методи.** Дослідження проводили в умовах Миронівського інституту пшениці імені В. М. Ремесла НААН протягом 2018/19, 2020/21, 2021/22 рр. Матеріалом для досліджень слугували 74 колекційні зразки різного походження. Оцінювання стійкості/толерантності до біо- та абіотичних чинників виконували в польових та лабораторних умовах відповідно до загальноприйнятих методик. Для характеристики зразків за комплексом ознак та їх поєднання з врожайністю застосовували GYT біplot. **Результати.** За результатами проведених досліджень виділено генетичні джерела стійкості/толерантності до біо- та абіотичних чинників. Зокрема, стійкості проти: борошнистої роси – 14 зразків [‘МИР 13/1’, ‘МИР 12-1’, ‘МИР 12-12’ (UKR) тощо], темно-бурої плямистості – 13 [‘МИР 12-13’, ‘МИР 12-11’ (UKR); ‘Novosadski 737’ (SRB) та ін.], смугастої плямистості – 17 [‘Л122’, ‘МИР 12-14’ (UKR); ‘Augusta’ (DEU) тощо], карликової іржі – три [‘Merlo’ (FRA); ‘МИР 12-12’ (UKR); ‘Scarpia’ (DEU)], вилягання – 15 зразків [‘Novosadski 525’ (SRB); ‘Naomie’ (DEU); ‘Panda’ (FRA) та ін.]. Як джерела дуже високої відносної морозостійкості ідентифіковано два зразки [‘Manitum’ (FRA), ‘МИР 12-13’ (UKR)], високої – 13, вищої за середню відносної посухостійкості – п’ять зразків [‘МИР 12-13’, ‘МИР 12-12’, ‘МИР 4787’, ‘МИР 4790’, ‘МИР 12-8’ (UKR)]. Відповідно до GYT біplot, у зразка ‘Titus’ (DEU) виявлено оптимальне поєднання врожайності та комплексу ознак. Джерелами комплексу ознак також визначено ‘Merlo’, ‘Manitum’ (FRA); ‘МИР 12-11’, ‘МИР 12-9’, ‘Снігова королева’ (UKR); ‘Novosadski 737’ (SRB); ‘Scarpia’ (DEU). Однак ‘Merlo’ (FRA) потребує поліпшення за параметром відносної морозостійкості. **Висновки.** Виявлені генетичні джерела окремих ознак та їх поєднання рекомендовано використовувати в селекційних програмах ячменю озимого, а також ячменю ярого за показниками відносної посухостійкості та стійкості проти збудників хвороб. Залучаючи до схрещування джерела, виділені за стійкістю проти окремих біо- та абіотичних чинників, слід зважати на рівень прояву решти параметрів і комбінувати їх з іншими компонентами за принципом взаємодоповнення ознак.

**Ключові слова:** *Hordeum vulgare L.*; вилягання; борошниста роса; темно-бура плямистість; смугаста плямистість; карликова іржа; морозостійкість; посухостійкість; GYT біplot.

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

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

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

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

Mykola Sardak  
<https://orcid.org/0000-0001-9417-3188>

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

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

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

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

Yuliia Kravchenko  
<https://orcid.org/0000-0001-7561-1023>



## Вступ

Ячмінь – одна з найважливіших сільськогосподарських культур, що має велику кількість напрямів використання та одне з найбільших географічних розповсюджень – як у широтному та довготному, так і висотному градієнтах [1]. Також він характеризується різними типами росту та розвитку – ярим, озимим і факультативним (альтернативним) [2]. Для двох останніх ключовим фактором, що визначає адаптивний потенціал сорту, є здатність до перезимівлі й зокрема стійкість проти дії знижених температур (морозостійкість як один з її основних складників) [3]. Тому вивченню вказаних аспектів присвячено значну кількість робіт [4–6]. Хоча останніми десятиріччями простежується загальна тенденція до пом'якшення зимового періоду в Центральній і Східній Європі (зокрема й в Україні), втім дані дослідження не лише не втрачають актуальності, а й набувають нових викликів. Вони полягають у необхідності скринінгу нових сортів і генетичних джерел у разі одно- та/або кількарязового роззагартування (деакліматизації) впродовж зимового періоду з подальшим короткочасним поверненням низьких температур, зазвичай за незначного або взагалі відсутнього снігового покриву [7]. Проведені в цьому напрямі дослідження вказують на відносну генетичну незалежність морозостійкості генотипів за умови загартування та після деакліматизації [8]. Тобто не завжди сорти з підвищеною морозостійкістю за оптимального загартування можуть витримувати короткочасні морози після роззагартування і навпаки. Також, з огляду на погодні чинники (брак вологи в ґрунті у літньо-осінній період) та реалії виробництва (значні посівні площі, засіяні після культур, які пізно збирають), рослини озимих зернових залежно від умов конкретного року можуть йти у зиму в різних фазах. Це суттєво позначається на врожайності та низці інших ознак окремих генотипів [9]. Останніми роками в Україні набуває поширення практика сівби озимих зернових майже перед настанням зимового періоду. Тому актуальними є дослідження морозостійкості як на різних етапах росту та розвитку рослин, так і за відмітних умов вегетації.

Безумовно, що за складних кліматичних флуктуацій сьогодення посухостійкість є однією з ключових адаптивних ознак у більшості частин земної кулі [10–12]. Відповідно, значну кількість публікацій присвячено вивченню стійкості/толерантності ячменю до дефіциту вологи. Такі дослідження проводять у

фенотиповому [13], генетично-молекулярному [14] та фізіологічному [15–17] аспектах, а також на різних етапах росту та розвитку рослин, зокрема в ювенільний період, способом пророщування на розчинах осмотиків [18, 19].

Стійкість ячменю проти вилягання на тлі глобальної аридизації клімату також не лише не втратила значущості, але й потребує поглиблення досліджень з огляду на погодні особливості останніх років [20–22], а саме: надлишкову кількість опадів – злив зі шквалами та буревіями – за короткий проміжок часу після тривалих періодів їхньої відсутності.

Із-поміж найбільш лімітувальних біологічних чинників, що можуть суттєво знижувати врожайність та якість зерна ячменю, варто виділити збудників листових хвороб: плямистостей (гельмінтоспоріозів) листя, борошністої роси, карликової іржі [23–25].

Борошніста роса [*Blumeria graminis* (DC.) E.O.Speer, f. sp. *hordei* emend. E.J.Marchal (анаморфа *Oidium monilioides* Link)] – одна з найпоширеніших хвороб ячменю, яка може призводити до зниження врожайності на 30% і більше. У низці публікацій останніх років висвітлено основні виклики та окреслено способи їх подолання через поєднання специфічної та неспецифічної генетичної стійкості проти цього збудника у створюваних сортах культури [26–28].

Темно-бура плямистість [*Cochliobolus sativus* (анаморфа *Bipolaris sorokiniana* [Sacc.] Shoem.)] зазвичай спричиняє зниження врожайності на 40%. Утім за оптимальних для розвитку патогена та вирощування сприйнятливих сортів гідротермічних умов може повністю знищувати асиміляційний апарат, а отже, й 100% урожаю [29]. Саме тому дослідження з пошуку нових генетичних джерел стійкості ячменю проти цієї хвороби активно проводять як в Україні [30], так і в багатьох інших країнах світу [31–33].

Смугаста плямистість – *Pyrenophora graminea* (S. Ito and Kurib.) [анаморфа *Drechslera graminea* (Rabenh. exSchlecht.) Shoemaker (*Helminthosporium gramineum* Rabh.)] – також є надзвичайно проблемною та широко розповсюдженою на ячмені озимому в Україні. Вона дуже легко передається з насінням і може повністю уражувати всі частини рослини, через що вони гинуть навіть не виколосившись [34–36].

Карликова іржа (*Puccinia hordei* Otth.) є найпоширенішою серед групи іржастих хвороб ячменю [37]. В середньому збудник спричиняє зниження врожайності в межах 15–25%, а за значного розвитку – 60% і навіть

більше. Останніми роками завдяки використанню молекулярно-генетичних маркерів ідентифіковано низку ефективних мажорних генів, а також локусів кількісних ознак (QTL), асоційованих зі стійкістю проти цього патогена [38–40].

Зважаючи на вищенаведене, виділення ефективних генетичних джерел стійкості / толерантності ячменю озимого до зазначених біо- та абіотичних чинників є надзвичайно актуальним завданням для подальшого поступу в селекції сортів із підвищеним адаптивним потенціалом.

*Мета досліджень* – виділити генетичні джерела стійкості / толерантності до найбільш поширених біо- та абіотичних стресових чинників для залучення в селекційні програми ячменю озимого в умовах Лісостепу України.

### Матеріали та методика досліджень

Дослідження проводили в умовах Миронівського інституту пшениці імені В. М. Ремесла НААН протягом 2018/19, 2020/21 та 2021/22 рр. Детальний аналіз їхнього гідротермічного режиму (за даними агрометеостанції «Миронівка»), а також характеристику ґрунтів наведено нами у попередній публікації, присвяченій вивченню рівня прояву та варіювання врожайності [41]. Тому в цьому повідомленні, у розділі «Результати досліджень» ми обмежились описом особливостей років за впливом, що вони мають на розвиток / прояв тих чи інших біо- та абіотичних чинників.

Матеріалом для дослідження стали 74 зразки ячменю озимого, що походили з семи країн [України (UKR), Франції (FRA), Німеччини (DEU), Сирії (SYR), Сербії (SRB), Чехії (CZE), Великобританії (GBR)]. Сівбу проводили сівалкою СКС-6-10Цу першій п'ятиденці жовтня. Облікова площа ділянки становила 1 м<sup>2</sup>. Повторність триразова. Схема розміщення ділянок – повними рендомізованими блоками. Стандарт – сорт ячменю озимого 'Жерар' – висаджували через 20 номерів. Агротехніка вирощування була загальноприйнятною в зоні Лісостепу. Однак для визначення генетично детермінованого рівня стійкості / толерантності до дії стресових біо- та абіотичних чинників засоби захисту рослин не застосовували.

Оцінювання стійкості проти біо- та абіотичних чинників проводили в польових та лабораторних умовах відповідно до методичних рекомендацій [42]. Рівень стійкості проти збудників хвороб, а також проти вилягання виражали в балах від 1 до 9 (максимум). Обліки виконували за кожною повторністю, що дало змогу визначити статистичні рівні до-

стовірності у процесі диференціювання зразків залежно від ступеня прояву ознак.

Відносну посухостійкість встановлювали, пророщуючи насіння в чашках Петрі на розчині сахарози з концентрацією 12 атмосфер, відповідно до вищезазначених методичних рекомендацій. Повторність триразова. Рівень толерантності зразків визначали, порівнюючи з проростанням насіння на дистильованій воді, а для їхньої диференціації використовували таку градацію: висока відносна посухостійкість (проростання насіння – понад 81%), вищесередній рівень (проростання – 61–80%), середній (проростання – 41–60%), низький (проростання – 21–40%), дуже низький рівень (проростання – менше ніж 20%).

Відносну морозостійкість встановлювали способом проморожування проростків у морозильній камері ЛВН–200Г відповідно до оптимізованої методики [43]. Зразки диференціювали за температури проморожування –8 °С.

Статичний аналіз проводили, використовуючи комп'ютерну програму Statistica 12 (TIBCO, США). Графічний GYT biplot аналіз та інтерпретацію даних виконували відповідно до оригінального повідомлення [44], за допомогою програми GEA-R, version 4.1 (CIMMYT, Мексика) [45].

### Результати досліджень

*Борошниста роса* характеризувалася досить істотним проявом щороку. Однак, як порівняти з двома іншими сезонами, максимальний рівень її розвитку спостерігали у 2020/21-му, коли середній бал стійкості (Mean) в досліді становив 6,0 з варіюванням від 4,0 (Min) у зразка G52 'Novosadski 519' (SRB) до 7,7 (Max) у G71 '(IR 08287)' (SYR) і G45 'МИР 13/1' (UKR) (табл. 1). У 2018/19 р. ліміти варіювання були такими: Mean – 6,3 бала, Min – 5,3 [G52 'Novosadski 519' (SRB)], Max – 7,3 бала [G71 '(IR 08287)' (SYR)], а у 2021/22-му: Mean – 6,2 бала, Min – 5,0 [G61 'Diarason' (FRA)], Max – 7,7 бала [G45 'МИР 13/1' (UKR)]. Як у середньому за три роки (стійкість – 7,4–6,6 бала), так і в кожному з них окремо, достовірну перевагу над стандартом G1 'Жерар', рівень стійкості якого в усі сезони становив 5,3 бала, мали 14 зразків: G71 '(IR 08287)' (SYR), G45 'МИР 13/1' (UKR), G27 'МИР 12-1' (UKR), G41 'МИР 12-12' (UKR), G40 'МИР 12-11' (UKR), G42 'МИР 12-13' (UKR), G51 'Titus' (DEU), G17 'Академічний' (UKR), G43 'МИР 12-14' (UKR), G70 'Radical / Pervenets' (SYR), G58 'Merlo' (FRA), G18 'Снігова королева' (UKR), G22 'МИР 4787' (UKR), G55 'Novosadski 737' (SRB).

*Темно-бура плямистість* набула максимального поширення у 2018/19 р.: Mean – 5,9 бала, Min – 3,7 [‘Л 4/2’ (UKR)], Max – 7,0 бала [G71 (‘IR 08287’) (SYR)]. Дещо менший прояв цієї хвороби відмічено у 2020/21 р.: Mean – 6,5 бала, Min – 4,3 [G7 ‘Л 4/2’ (UKR)], Max – 8,0 бала [G29 ‘МИР 12-13’ (UKR) і G70 ‘Radical / Pervenets’ (SYR)]. Найнижчий рівень ураження спостерігали у 2021/22 р.: Mean – 7,3 бала, Min – 5,0 [G15 ‘Абориген’ (UKR)], Max – 8,7 бала [G45 ‘МИР 13/1’ (UKR)]. В середньому за три роки стандарт G1 ‘Жерар’ (UKR) (5,9 бала) достовірно переважали 13 зразків: G45 ‘МИР 13/1’ (UKR), G42 ‘МИР 12-13’ (UKR), G71 (‘IR 08287’) (SYR), G40 ‘МИР 12-11’ (UKR), G70 ‘Radical / Pervenets’ (SYR), G27 ‘МИР 12-1’ (UKR), G58 ‘Merlo’ (FRA), G55 ‘Novosadski 737’ (SRB), G66 ‘Manitum’ (FRA), G41 ‘МИР 12-12’ (UKR), G49 ‘Scarpia’ (DEU), G20 ‘Зимовий’ (UKR), G28 ‘МИР 12-2’ (UKR).

*Смугаста плямистість*. Зразок G71 (‘IR 08287’) (SYR) характеризувався максимальною сприйнятливістю до цієї хвороби (2018/19 р. – 3,0 бала, 2020/21 р. – 2,0 бала, 2021/22 р. – 3,0 бала), на противагу стійкості проти двох розглянутих вище. На це слід зважати, залучаючи його до схрещувань як джерело стійкості проти борошнистої роси. Середнє значення в досліді за 2018/19, 2020/21, 2021/22 рр. становило 7,8; 7,8 та 8,2 бала відповідно. Стандарт G1 ‘Жерар’ (UKR) (7,4 бала) у середньому за три роки за показником стійкості достовірно (8,9–8,6 бала) переважали 17 зразків: G52 ‘Novosadski 519’ (SRB), G70 ‘Radical / Pervenets’ (SYR), G19 ‘Буревій’ (UKR), G4 ‘Л122’ (UKR), G30 ‘МИР 12-14’ (UKR), G48 ‘Augusta’ (DEU), G27 ‘МИР 12-1’ (UKR), G28 ‘МИР 12-2’ (UKR), G41 ‘МИР 12-12’ (UKR), G74 ‘(20625)\*’ (SYR), G68 ‘Glenan’ (FRA), G39 ‘МИР 12-10’ (UKR), G44 ‘МИР 12-15’ (UKR), G59 ‘Panda’ (FRA), G61 ‘Diapason’ (FRA), G42 ‘МИР 12-13’ (UKR), G15 ‘Абориген’ (UKR).

*Карликова іржа* набула максимального поширення у 2018/19 р.: Mean – 6,7 бала, Min – 4,7 [G17 ‘Академічний’ (UKR)], Max – 8,0 бала [G58 ‘Merlo’ (FRA), G14 ‘Л 4п/1’ (UKR), G42 ‘МИР 12-13’ (UKR), G6 ‘Л 13/2’ (UKR) і G9 ‘Л 4п/2’ (UKR)]. У 2020/21 р. рівень прояву хвороби був таким: Mean – 7,3 бала, Min – 6,0 [G4 ‘Л122’ (UKR)], Max – 8,0 бала [G41 ‘МИР 12-12’ (UKR), G58 ‘Merlo’ (FRA), G49 ‘Scarpia’ (DEU), G50 ‘Maybrit’ (DEU), G66 ‘Manitum’ (FRA), G32 ‘МИР 12-6’ (UKR), G69 ‘Carrery’ (GBR), G51 ‘Titus’ (DEU), G56 ‘Okal’ (CZE), G62 ‘Matador’ (FRA) та G57 ‘Luran’ (CZE)]. Найслабший розвиток карликової іржі спостерігали у 2021/22 р.: Mean – 7,7 бала, Min –

5,7 [G67 ‘Sumo’ (FRA)], Max – 8,7 бала [G41 ‘МИР 12-12’ (UKR)]. У середньому за роки досліджень стандарт G1 ‘Жерар’ (UKR) (7,0 бала) достовірно переважали (8,1–8,0 бала) лише три зразки: G58 ‘Merlo’ (FRA), G41 ‘МИР 12-12’ (UKR) і G49 ‘Scarpia’ (DEU).

*Стійкість проти вилягання*. Максимальний прояв вилягання відмічено у 2020/21 р.: Mean – 4,1 бала, Min – 1,7 [G12 ‘Л п5/11’ (UKR)], Max – 8,0 бала [G53 ‘Novosadski 525’ (SRB)], а у 2018/19 та 2021/22 рр. він був незначним: Mean – 8,0–8,3 бала; Min – 6,0; Max – 9,0 бала. У середньому за роки досліджень 21 зразок достовірно переважав стандарт G1 ‘Жерар’ (UKR) (5,9 бала) за стійкістю. У 15 з цих зразків вона була в межах 8,4–7,5 бала: G53 ‘Novosadski 525’ (SRB), G59 ‘Panda’ (FRA), G46 ‘Naomie’ (DEU), G51 ‘Titus’ (DEU), G52 ‘Novosadski 519’ (SRB), G72 ‘(20604)\*’ (SYR), G34 ‘МИР 4790’ (UKR), G17 ‘Академічний’ (UKR), G2 ‘Трудівник’ (UKR), G19 ‘Буревій’ (UKR), G54 ‘Novosadski 529’ (SRB), G33 ‘МИР 12-7’ (UKR), G48 ‘Augusta’ (DEU), G58 ‘Merlo’ (FRA), G60 ‘Baraka’ (FRA).

*Відносна морозостійкість*. За результатами визначення відносної морозостійкості в середньому за роки випробувань отримано варіювання від 93,0% живих рослин після проморожування у зразка G66 ‘Manitum’ (FRA) до 35,0% – у G19 ‘Буревій’ (UKR). Для стандарту G1 ‘Жерар’ (UKR) рівень прояву цієї ознаки становив 66%. Окрім зразка G66 ‘Manitum’ (FRA), дуже високу (92%) відносну морозостійкість виявлено у G42 ‘МИР 12-13’ (UKR), високу (86–81%) – у 13 зразків: G12 ‘Л п5/11’ (UKR), G56 ‘Okal’ (CZE), G65 ‘Classica’ (FRA), G10 ‘Л 2/1’ (UKR), G49 ‘Scarpia’ (DEU), G74 ‘(20625)\*’ (SYR), G45 ‘МИР 13/1’ (UKR), G13 ‘Л 17/7’ (UKR), G20 ‘Зимовий’ (UKR), G44 ‘МИР 12-15’ (UKR), G46 ‘Naomie’ (DEU), G27 ‘МИР 12-1’ (UKR), G21 ‘Достойний’ (UKR).

*Відносна посухостійкість*. У середньому за три роки лабораторних досліджень відносної посухостійкості в ювенільний період, способом пророщування насіння на розчинах осмотиків, до групи з вищим за середній її рівнем (71,8–61,0% проростання відносно контролю) належали п’ять зразків: G42 ‘МИР 12-13’ (UKR), G41 ‘МИР 12-12’ (UKR), G22 ‘МИР 4787’ (UKR), G34 ‘МИР 4790’ (UKR), G37 ‘МИР 12-8’ (UKR). Ще 27 характеризувалися середнім проявом цієї ознаки (60,5–41,1% до контролю). Стандарт G1 ‘Жерар’ (UKR) потрапив до групи з низьким рівнем відносної посухостійкості (26% до контролю).

Важливим аспектом успіху селекційної роботи на сучасному етапі є ідентифікація зразків із комплексом цінних господарських

ознак, зокрема стійкості проти стресових чинників, та поєднання їх із врожайністю [46]. Саме тому поширення набули статистичні підходи, які дають змогу враховувати різні ознаки та властивості за диференціювання генотипів. Однією з таких ефективних математично-графічних моделей є GYT biplot [47–49].

У таблиці 2 подано індексні стандартизовані значення сполучення «врожайність × ознака» відповідно до логіки GYT biplot аналізу. Рівень прояву врожайності та особливості її варіювання за роками, як вже зазначалось, опубліковано нами раніше [41]. Вагомою перевагою GYT biplot моделі є можливість коректного комплексного оцінювання зразків за різними параметрами, зокрема і з

різними одиницями виміру – балами, відсотками, оскільки всі значення переводять в індексні показники та ранжують відносно середнього в дослідженій вибірці. У той самий час поєднання цих показників із рівнем прояву врожайності дає змогу врахувати вказану ознаку як основну господарсько-цінну.

Середнє значення будь-якого окремого індексу поєднання «врожайність × ознака» в дослідженій вибірці зразків дорівнює нулю. Відповідно, індексні показники більші за нуль характеризують зразок як такий, що перевищує середньопопуляційне значення; менші – поступається середньому у вибірці. GYT Index відображає середньозважену оцінку генотипу за всіма розрахованими індексами сполучень «врожайність × ознака».

Таблиця 1

**Характеристика колекційних зразків ячменю озимого за комплексом ознак стійкості / толерантності до біо- та абіотичних стресів (середнє за 2018/19, 2020/21 і 2021/22 рр.)**

Шифр	Зразок	Країна	Стійкість / толерантність, бал					Відносна стійкість проти біотичних чинників, %	
			PM	SB	STB	PH	LR	FR	DT
G1	'Жерар' – стандарт	UKR	5,3	5,9	7,4	7,0	5,9	66	26,0
G2	'Трудівник'	UKR	6,1	6,1	7,9	6,6	7,7	65	18,3
G3	'Задор'	UKR	6,5	6,9	8,4	7,7	6,4	61	32,2
G4	'Л 122'	UKR	6,6	6,4	8,8	6,9	6,4	61	35,5
G5	'Л 562'	UKR	5,9	6,7	8,3	7,2	6,1	56	36,3
G6	'Л 13/2'	UKR	5,8	6,1	7,1	7,6	5,9	37	35,3
G7	'Л 4/2'	UKR	5,8	5,0	7,4	7,4	6,5	76	30,3
G8	'Л 2/2'	UKR	6,4	6,7	7,8	7,3	6,6	66	30,9
G9	'Л 4п1/2'	UKR	6,1	6,6	6,6	7,4	6,0	73	31,2
G10	'Л 2/1'	UKR	5,8	6,4	8,1	7,4	5,8	85	26,3
G11	'Л 4п/1'	UKR	6,1	5,9	7,8	7,9	5,7	80	40,4
G12	'Л п5/11'	UKR	5,9	6,0	8,1	7,1	5,9	86	35,5
G13	'Л 17/7'	UKR	6,1	6,8	7,7	7,1	6,3	82	44,7
G14	'Л п4/1'	UKR	6,1	6,3	7,6	7,4	5,9	53	30,2
G15	'Абориген'	UKR	6,3	4,9	8,6	7,2	7,4	61	33,3
G16	'Метелиця'	UKR	5,7	6,5	8,3	6,9	6,1	67	40,4
G17	'Академічний'	UKR	6,8	6,7	8,0	6,4	7,8	54	26,6
G18	'Снігова королева'	UKR	6,7	6,6	7,9	7,0	6,9	57	50,9
G19	'Буревій'	UKR	5,9	6,8	8,8	7,2	7,7	35	56,7
G20	'Зимовий'	UKR	6,4	7,1	8,1	7,0	6,7	82	37,9
G21	'Достойний'	UKR	6,4	7,0	8,1	7,1	6,6	81	35,3
G22	'МИР 4787'	UKR	6,7	6,7	7,9	7,6	6,5	66	67,7
G23	'МИР 4867'	UKR	6,4	6,4	8,1	7,4	6,3	53	58,8
G24	'МИР 4773'	UKR	6,2	6,4	8,1	7,1	6,3	64	56,4
G25	'МИР 4660'	UKR	6,2	6,9	7,4	7,0	6,4	80	53,9
G26	'МИР 4580'	UKR	6,2	6,7	7,4	6,8	6,7	61	54,8
G27	'МИР 12-1'	UKR	7,2	7,4	8,7	7,9	6,3	81	57,7
G28	'МИР 12-2'	UKR	5,9	7,1	8,7	7,3	6,3	54	52,2
G29	'МИР 12-3'	UKR	6,2	6,9	8,2	7,1	6,7	54	54,9
G30	'МИР 12-4'	UKR	5,8	6,8	8,4	6,9	7,4	68	43,3
G31	'МИР 12-5'	UKR	6,3	6,4	8,0	7,6	6,9	80	45,9
G32	'МИР 12-6'	UKR	6,4	6,6	8,0	7,4	6,4	66	45,5
G33	'МИР 12-7'	UKR	6,1	6,4	7,1	7,3	7,6	66	47,2
G34	'МИР 4790'	UKR	6,1	6,3	7,6	7,4	7,8	56	65,0
G35	'МИР 4723'	UKR	6,3	6,1	7,8	7,4	6,9	60	58,1
G36	'МИР 4654'	UKR	6,1	5,8	7,8	7,4	7,2	78	60,5
G37	'МИР 12-8'	UKR	6,1	6,7	7,9	7,1	6,8	59	61,0
G38	'МИР 12-9'	UKR	6,3	6,6	7,7	7,4	6,8	78	41,1
G39	'МИР 12-10'	UKR	6,0	6,4	8,6	7,2	7,1	73	36,4
G40	'МИР 12-11'	UKR	7,1	7,4	7,3	7,0	6,3	59	46,4
G41	'МИР 12-12'	UKR	7,1	7,2	8,7	8,0	6,6	65	70,6
G42	'МИР 12-13'	UKR	7,0	7,6	8,6	7,8	6,5	92	71,8
G43	'МИР 12-14'	UKR	6,8	6,9	8,7	7,7	6,0	53	45,0

Продовження таблиці 1

Шифр	Зразок	Країна	Стійкість / толерантність, бал					Відносна стійкість проти біотичних чинників, %	
			PM	SB	STB	PH	LR	FR	DT
G44	'MIP 12-15'	UKR	6,1	6,9	8,6	6,6	6,4	82	59,8
G45	'MIP 13/1'	UKR	7,3	7,6	8,0	7,7	6,2	83	49,8
G46	'Naomie'	DEU	6,2	6,9	7,4	7,1	8,2	82	38,1
G47	'Highlight'	DEU	6,2	6,7	7,7	6,9	5,7	72	32,2
G48	'Augusta'	DEU	6,4	6,1	8,7	7,6	7,5	73	58,5
G49	'Scarpia'	DEU	5,9	7,1	7,4	8,0	7,2	85	44,5
G50	'Maybrit'	DEU	6,4	6,6	7,3	7,8	6,8	79	43,1
G51	'Titus'	DEU	6,8	7,0	8,0	7,7	8,2	77	40,5
G52	'Novosadski 519'	SRB	4,8	5,9	8,9	7,3	8,1	56	21,2
G53	'Novosadski 525'	SRB	5,8	6,3	8,4	6,7	8,4	62	23,3
G54	'Novosadski 529'	SRB	5,8	6,9	8,3	6,9	7,6	57	12,4
G55	'Novosadski 737'	SRB	6,6	7,2	7,4	6,8	7,3	66	42,0
G56	'Okal'	CZE	5,9	6,1	7,8	7,1	7,3	86	46,9
G57	'Luran'	CZE	5,6	6,3	8,1	6,8	6,7	63	33,7
G58	'Merlo'	FRA	6,7	7,3	7,7	8,1	7,5	39	37,8
G59	'Panda'	FRA	6,1	6,2	8,6	6,8	8,2	77	35,0
G60	'Baraka'	FRA	6,4	6,8	8,1	7,0	7,5	74	28,0
G61	'Diapason'	FRA	5,1	5,9	8,6	7,4	6,9	77	36,5
G62	'Matador'	FRA	5,9	6,8	8,1	7,2	6,7	60	35,4
G63	'Poulaine'	FRA	6,1	6,7	8,4	7,5	6,9	60	29,2
G64	'Cindy'	FRA	5,9	6,2	8,1	7,4	6,9	69	36,1
G65	'Classica'	FRA	6,0	6,0	5,9	7,2	6,8	86	33,3
G66	'Manitum'	FRA	5,8	7,2	6,9	7,7	6,9	93	52,2
G67	'Sumo'	FRA	5,8	6,4	8,3	6,3	5,5	42	23,5
G68	'Glenan'	FRA	5,3	5,9	8,6	7,1	7,0	78	37,0
G69	'Carrery'	GBR	5,8	6,0	6,1	7,4	7,3	64	33,1
G70	'Radical / Pervenets'	SYR	6,7	7,4	8,8	7,4	7,2	58	19,9
G71	'(IR 08287)'	SYR	7,4	7,6	3,5	5,8	7,4	70	19,8
G72	'(20604)''*	SYR	5,2	6,3	8,4	6,7	7,9	42	38,0
G73	'(20618)''*	SYR	5,3	5,6	8,2	6,8	6,6	70	35,6
G74	'(20625)''*	SYR	5,8	6,7	8,6	7,7	5,7	84	34,6
	Mean		6,2	6,6	7,9	7,2	6,8	68	41,1
	Max		7,4	7,6	8,9	8,1	8,4	93	71,8
	Min		4,8	4,9	3,5	5,8	5,5	35	12,4
	R (max-min)		2,6	2,7	5,4	2,3	2,9	58	59,4
	HIP <sub>0,05</sub>		0,8	1,1	1,1	0,9	1,3	7,7	8,9

**Примітка.** Mean, Max, Min – середнє, максимальнє та мінімальнє значення ознак, бал, %; R (max-min) – розмах варіювання ознак, бал, %; PM – стійкість проти борошністої роси, бал; SB – стійкість проти темно-бурої плямистості, бал; STB – стійкість проти смугастої плямистості, бал; PH – стійкість проти карликової іржі, бал; LR – стійкість проти вилягання, бал; FR – відносна морозостійкість, %; DT – відносна посухостійкість, %.

Таблиця 2

**Стандартизовані індексні значення сполучення «врожайність × ознака» та загальний GYT index переваги генотипу для зразків ячменю озимого (середнє за 2018/19, 2020/21 і 2021/22 рр.)**

Шифр	Зразок	Країна	Стійкість / толерантність, бал, %							GYT index
			YLD_PM	YLD_SB	YLD_STB	YLD_PH	YLD_LR	YLD_FR	YLD_DT	
G1	'Жерар' – стандарт	UKR	-0,55	-0,32	-0,14	0,08	-0,47	0,10	-0,95	-0,32
G2	'Трудівник'	UKR	0,51	0,14	0,57	0,06	1,14	0,27	-1,42	0,18
G3	'Задор'	UKR	-0,27	-0,28	-0,26	-0,24	-0,74	-0,78	-0,83	-0,48
G4	'Л 122'	UKR	0,13	-0,36	0,34	-0,53	-0,50	-0,57	-0,49	-0,29
G5	'Л 562'	UKR	-2,11	-1,85	-1,89	-2,21	-2,03	-1,98	-1,23	-1,90
G6	'Л 13/2'	UKR	-0,72	-0,76	-0,99	-0,19	-0,97	-2,08	-0,59	-0,90
G7	'Л 4/2'	UKR	-1,64	-2,30	-1,75	-1,46	-1,39	-0,69	-1,27	-1,50
G8	'Л 2/2'	UKR	0,17	0,07	-0,13	0,02	-0,20	-0,12	-0,71	-0,13
G9	'Л 4п1/2'	UKR	-0,21	-0,13	-1,08	-0,03	-0,70	0,22	-0,74	-0,38
G10	'Л 2/1'	UKR	-0,41	-0,23	0,02	0,04	-0,79	1,00	-1,04	-0,20
G11	'Л 4п/1'	UKR	-1,26	-1,60	-1,34	-0,92	-1,67	-0,34	-0,67	-1,11
G12	'Л п5/11'	UKR	-1,66	-1,78	-1,47	-1,74	-1,77	-0,32	-1,05	-1,40
G13	'Л 17/7'	UKR	-0,03	0,21	-0,15	-0,08	-0,36	0,92	0,25	0,11
G14	'Л п4/1'	UKR	-0,73	-0,85	-0,92	-0,63	-1,16	-1,31	-1,00	-0,94
G15	'Абориген'	UKR	-0,48	-1,76	-0,19	-0,67	-0,17	-0,81	-0,78	-0,70
G16	'Метелиця'	UKR	-1,36	-1,05	-0,86	-1,37	-1,31	-0,82	-0,57	-1,05
G17	'Академічний'	UKR	2,04	1,43	1,45	0,63	1,98	-0,01	-0,54	1,00
G18	'Снігова королева'	UKR	1,57	1,01	1,02	0,90	0,92	0,01	1,31	0,96
G19	'Буревій'	UKR	-0,31	0,11	0,53	-0,11	0,51	-2,05	1,00	-0,05

Продовження таблиці 1

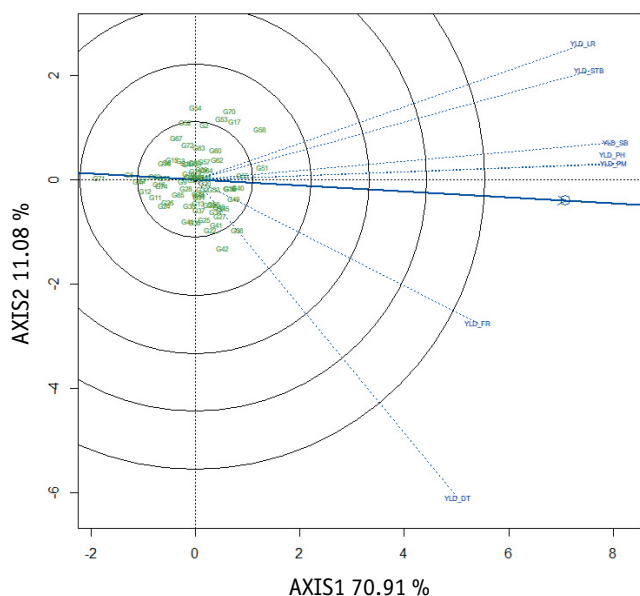
Шифр	Зразок	Країна	Стійкість / толерантність, бал, %							
			YLD_PM	YLD_SB	YLD_STB	YLD_PH	YLD_LR	YLD_FR	YLD_DT	GYT index
G20	'Зимовий'	UKR	0,33	0,55	0,24	-0,07	0,00	1,01	-0,17	0,27
G21	'Достойний'	UKR	0,02	0,15	-0,08	-0,31	-0,33	0,67	-0,48	-0,05
G22	'МИР 4787'	UKR	0,65	0,27	0,14	0,50	-0,10	0,03	1,94	0,49
G23	'МИР 4867'	UKR	0,64	0,26	0,56	0,62	-0,04	-0,65	1,51	0,42
G24	'МИР 4773'	UKR	-0,99	-1,10	-0,96	-1,21	-1,18	-0,96	0,32	-0,87
G25	'МИР 4660'	UKR	0,21	0,45	-0,21	0,00	-0,16	0,95	0,99	0,32
G26	'МИР 4580'	UKR	-0,80	-0,72	-1,19	-1,22	-0,80	-0,98	0,36	-0,76
G27	'МИР 12-1'	UKR	1,04	0,79	0,67	0,70	-0,29	0,95	1,20	0,72
G28	'МИР 12-2'	UKR	-0,57	0,05	0,13	-0,34	-0,66	-1,06	0,51	-0,28
G29	'МИР 12-3'	UKR	0,04	0,28	0,20	-0,09	-0,09	-0,83	0,94	0,06
G30	'МИР 12-4'	UKR	-0,51	-0,02	0,10	-0,49	0,19	-0,13	0,03	-0,12
G31	'МИР 12-5'	UKR	0,04	-0,21	-0,04	0,22	-0,03	0,71	0,28	0,14
G32	'МИР 12-6'	UKR	0,38	0,19	0,22	0,34	-0,17	0,04	0,39	0,20
G33	'МИР 12-7'	UKR	0,50	0,40	-0,07	0,69	1,06	0,34	0,74	0,52
G34	'МИР 4790'	UKR	0,40	0,21	0,22	0,67	1,11	-0,42	1,99	0,60
G35	'МИР 4723'	UKR	-0,12	-0,59	-0,34	-0,13	-0,17	-0,63	0,98	-0,14
G36	'МИР 4654'	UKR	-0,23	-0,76	-0,27	-0,05	0,09	0,50	1,18	0,07
G37	'МИР 12-8'	UKR	-0,02	0,14	0,01	-0,07	0,00	-0,50	1,38	0,14
G38	'МИР 12-9'	UKR	1,12	0,98	0,82	1,26	0,81	1,53	0,50	1,00
G39	'МИР 12-10'	UKR	-0,03	-0,02	0,61	0,11	0,28	0,44	-0,27	0,16
G40	'МИР 12-11'	UKR	2,28	2,05	0,76	1,17	0,63	0,33	1,09	1,19
G41	'МИР 12-12'	UKR	0,85	0,53	0,57	0,68	-0,15	-0,13	2,02	0,62
G42	'МИР 12-13'	UKR	0,76	0,85	0,50	0,51	-0,22	1,55	2,10	0,87
G43	'МИР 12-14'	UKR	0,24	-0,03	0,22	0,05	-0,80	-1,07	0,10	-0,18
G44	'МИР 12-15'	UKR	-0,49	-0,19	-0,03	-0,97	-0,67	0,49	0,93	-0,13
G45	'МИР 13/1'	UKR	1,38	1,19	0,39	0,78	-0,19	1,28	0,79	0,80
G46	'Naomie'	DEU	0,12	0,35	-0,30	-0,01	1,02	0,98	-0,17	0,28
G47	'Highlight'	DEU	-1,61	-1,52	-1,82	-2,01	-1,97	-1,07	-1,27	-1,61
G48	'Augusta'	DEU	0,57	-0,06	0,94	0,72	0,78	0,64	1,43	0,72
G49	'Scarpia'	DEU	0,61	1,35	0,47	1,73	1,05	1,95	0,72	1,13
G50	'Maybrit'	DEU	0,15	-0,03	-0,50	0,42	-0,08	0,67	0,10	0,11
G51	'Titus'	DEU	2,26	1,94	1,66	2,22	2,53	1,95	0,73	1,90
G52	'Novosadski 519'	SRB	-1,26	-0,60	0,60	-0,02	0,78	-0,76	-1,38	-0,38
G53	'Novosadski 525'	SRB	0,59	0,68	1,39	0,55	2,09	0,34	-0,93	0,67
G54	'Novosadski 529'	SRB	-0,10	0,50	0,51	-0,03	0,74	-0,50	-1,92	-0,11
G55	'Novosadski 737'	SRB	1,86	1,97	0,95	1,08	1,58	0,95	0,78	1,31
G56	'Okal'	CZE	0,23	0,06	0,40	0,42	0,76	1,63	0,67	0,60
G57	'Luran'	CZE	0,02	0,32	0,73	0,24	0,38	0,14	-0,27	0,22
G58	'Merlo'	FRA	2,47	2,57	1,69	3,03	2,20	-0,95	0,64	1,67
G59	'Panda'	FRA	-0,19	-0,42	0,32	-0,50	0,79	0,47	-0,48	0,00
G60	'Baraka'	FRA	0,77	0,73	0,69	0,39	0,96	0,86	-0,71	0,53
G61	'Diapason'	FRA	-0,75	-0,34	0,72	0,40	0,23	0,79	-0,22	0,12
G62	'Matador'	FRA	0,54	0,99	0,97	0,87	0,58	0,09	-0,04	0,57
G63	'Poulaine'	FRA	0,08	0,24	0,49	0,39	0,16	-0,37	-0,76	0,03
G64	'Cindy'	FRA	0,16	0,08	0,55	0,61	0,39	0,42	-0,16	0,29
G65	'Classica'	FRA	-0,44	-0,72	-1,68	-0,36	-0,29	0,86	-0,66	-0,47
G66	'Manitum'	FRA	0,62	1,57	0,17	1,58	0,91	2,65	1,40	1,27
G67	'Sumo'	FRA	-0,28	-0,09	0,31	-0,73	-0,90	-1,56	-1,19	-0,64
G68	'Glenan'	FRA	-0,61	-0,38	0,67	0,09	0,26	0,81	-0,20	0,09
G69	'Carrery'	GBR	-1,26	-1,34	-2,10	-0,99	-0,61	-0,95	-0,96	-1,17
G70	'Radical / Pervenets'	SYR	1,45	1,65	1,66	1,17	1,07	0,01	-1,22	0,83
G71	'(IR 08287)'	SYR	-2,30	-2,34	-4,45	-3,71	-2,26	-2,11	-2,15	-2,76
G72	'(20604)''*	SYR	-0,80	-0,17	0,39	-0,39	0,77	-1,56	-0,19	-0,28
G73	'(20618)''*	SYR	-1,36	-1,35	-0,56	-1,09	-0,75	-0,40	-0,69	-0,89
G74	'(20625)''*	SYR	-1,38	-1,01	-0,80	-0,94	-1,60	-0,06	-0,94	-0,96
	Mean		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

**Примітка.** Mean – середнє; поєднання врожайності та відповідних ознак: YLD\_PM – стійкості проти борошнистої роси, YLD\_SB – стійкості проти темно-бурої плямистості, YLD\_STB – стійкості проти смугастої плямистості, YLD\_PH – стійкості проти карликової іржі, YLD\_LR – стійкості проти вилягання, YLD\_FR – відносної морозостійкості, YLD\_DT – відносної посухостійкості; GYT Index – загальний індекс переваги

На основі індексних поєднань врожайності з окремими ознаками стійкості / толерантності до біо- та абіотичних чинників побудовано GYT biplot візуалізації. Відповідно до GYT biplot диференціювальної здатності та репрезентативності індексів «врожайність × озна-

ка», максимально віддаленими один від одного та середньозваженого вектора (жирна похила лінія зі стрілкою, що проходить через центр GYT biplot) були поєднання YLD\_LR і YLD\_DT (рис. 1). Найближче до середньої осі розташувались вектори сполучень YLD\_PH і

YLD\_PM, які майже збігалися між собою. Отже, вони мали найвищу репрезентативність. Близьким до них був також вектор YLD\_SB. За довжиною векторів можна характеризувати диференціювальну здатність окремих поєднань «врожайність × ознака». Слід вказати на майже рівнозначну, але досить суттєву диференціювальну величину векторів більшості сполучень – YLD\_LR, YLD\_STB, YLD\_SB, YLD\_PH та YLD\_PM. Дещо коротшою, як порівняти з названими, довжина вектора була у поєднання YLD\_FR, дещо довшою – в YLD\_DT. Відповідно, перший трохи поступався решті за диференціювальною здатністю, останній – переважав її.

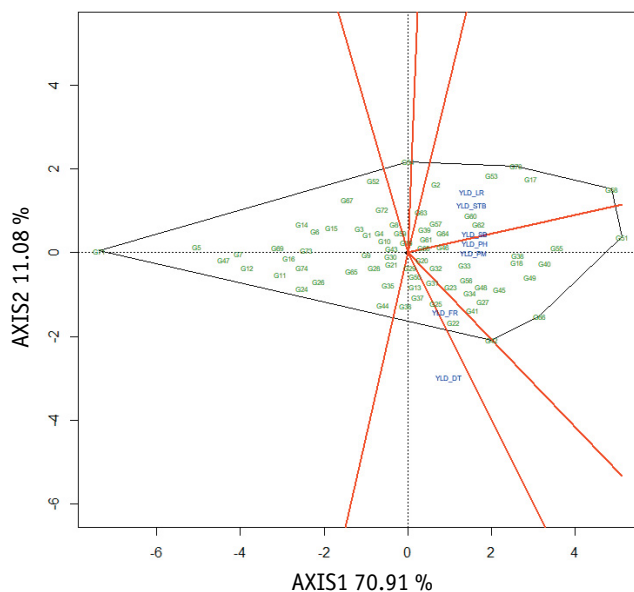


**Рис. 1. GYT biplot диференціювальної здатності та репрезентативності індексів «врожайність × ознака» (2018/19, 2020/21, 2021/22 рр.)**

**Примітка.** Тут і на рисунках 2–4 умовні позначення відповідають наведеним у таблицях 1 і 2

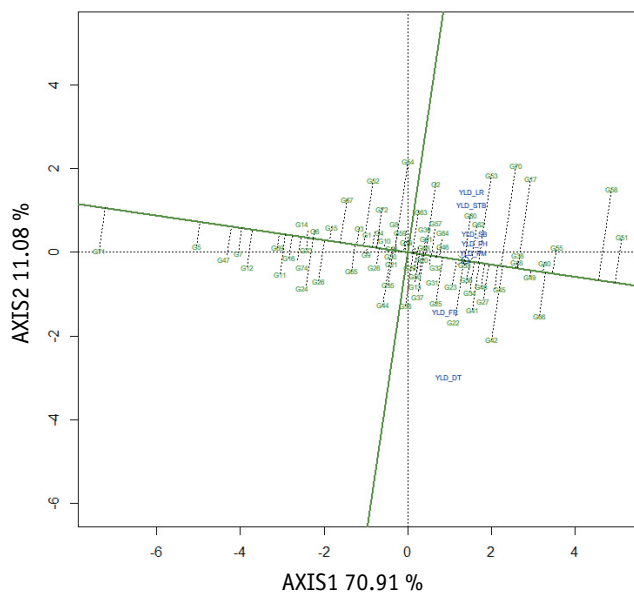
GYT biplot «котрий-де-переміг» вказує на формування двох секторів із мегасередовищами (рис. 2). У першому з них на вершині полігону опинився зразок G51 'Titus' (DEU). До цього сектору включили поєднання ознак YLD\_PH і YLD\_PM. Серед зразків, що розташувалися в зазначеному мегасередовищі, слід виокремити також G55 'Novosadski 737' (SRB), G40 'МИР 12-11' (UKR), G38 'МИР 12-9' (UKR), G18 'Снігова королева' (UKR) і G49 'Scarpia' (DEU). Поєднання YLD\_LR і YLD\_STB «впали» у другий сектор. Близькими до вершини його полігону були G17 'Академічний' (UKR) і G53 'Novosadski 525' (SRB). Зразок G70 'Radical / Pervenets' (SYR) містився на іншому, більш пологому куті полігону в цьому ж секторі. Сполучення YLD\_SB опинилося на лінії між двома зазначеними секторами. Отже, зразки, що

розташувалися у двох вказаних мегасередовищах, мали досить схожі особливості за рівнем прояву даного поєднання ознак. Сполучення YLD\_FR і YLD\_DT потрапили в окремі вузькі сектори й не утворили мегасередовищ.



**Рис. 2. GYT biplot «котрий-де-переміг» (2018/19, 2020/21, 2021/22 рр.)**

Згідно з GYT biplot координацією до середнього тестера (average tester coordination), зразки ячменю озимого диференційовано як за величиною загального індексу переваги (GYT index), так і відхиленнями за окремими поєднаннями врожайності та комплексу адаптивних ознак (рис. 3).



**Рис. 3. GYT biplot «координація до середнього тестера» зразків ячменю озимого за поєднанням врожайності та комплексу адаптивних ознак (2018/19, 2020/21, 2021/22 рр.)**

Значення зразків, розташованих праворуч від центральної вертикальної осі, є більшими за середньопопуляційне в дослідженій вибірці генотипів за індексом переваги, ліворуч – поступаються середньому в досліді. Відповідно, найліпший показник був у G51 'Titus' (DEU), найгірший – у G71 '(IR 08287)' (SYR). Помітно, що стандарт G1 'Жерар' (UKR) розташувався суттєво лівіше від середнього вертикального вектора. Іншим параметром є відхилення відносно середнього горизонтального вектора. Зокрема, поєднання YLD\_LR, YLD\_STB, YLD\_SB, YLD\_PH та YLD\_PM розміщені над ним, YLD\_FR і YLD\_DT – під ним. Отже, суттєве відхилення вгору відносно середнього горизонтального вектора зразків G58 'Merlo' (FRA), G17 'Академічний' (UKR), G70 'Radical/Pervenets' (SYR), G53 'Novosadski 525' (SRB) та ін. вказує на їхні гірші показники за сполученнями, розташованими суттєво нижче від вектора. Наприклад, YLD\_FR – G58 'Merlo' (FRA), YLD\_DT – G70 'Radical / Pervenets' (SYR), G53 'Novosadski 525' (SRB). Зразок G17 'Академічний' (UKR) мав гірші, ніж середні, значення за обома вказаними вище поєднаннями. Оптимальним є розміщення зразків якомога правіше й водночас максимально близько до центрального горизонтального вектора.

Відповідно до ранжування відносно ідеального генотипу, максимально близьким до нього був G51 'Titus' (DEU), розташований у центрі центричних кіл (рис. 4). Отже, цей зразок мав найоптимальніше поєднання врожайності та комплексу досліджених ознак.

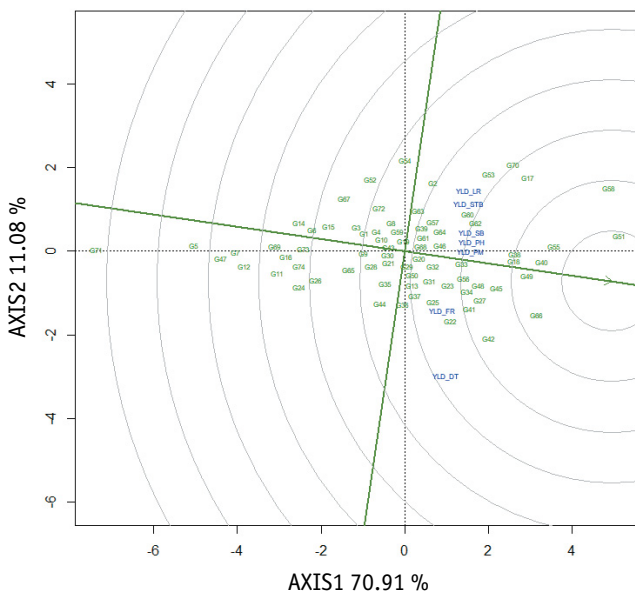


Рис. 4. GYT biplot ранжування зразків відносно ідеального генотипу за поєднанням врожайності та комплексу адаптивних ознак (2018/19, 2020/21, 2021/22 рр.)

У другому колі опинилися зразки G58 'Merlo' (FRA), G55 'Novosadski 737' (SRB), G40 'МИР 12-11' (UKR), G49 'Scarpia' (DEU) та G66 'Manitum' (FRA). Їх також можна вважати ефективними джерелами поєднання комплексу ознак. Однак зіставлення результатів візуального аналізу графіків GYT biplot і даних таблиць 1 та 2 свідчить, що «слабким місцем» G58 'Merlo' (FRA) є показник відносно морозостійкості. На це необхідно зважати, залучаючи його до гібридизації. Відповідно, іншим компонентом схрещувань має бути зразок із підвищеним рівнем вказаної ознаки. Окрім вже охарактеризованих, заслуговують на увагу також зразки G38 'МИР 12-9' (UKR) і G18 'Снігова королева' (UKR), які розташувалися на межі другого та третього кіл, але в той самий час були максимально близькими до центрального вектора.

### ВИСНОВКИ

Виділено генетичні джерела стійкості/толерантності до основних біо- та абіотичних чинників: *стійкості проти борошнистої роси* – 'МИР 13/1', 'МИР 12-1', 'МИР 12-12', 'МИР 12-11', 'МИР 12-13', 'Академічний', 'МИР 12-14', 'Снігова королева', 'МИР 4787' (UKR); '(IR 08287)', 'Radical / Pervenets' (SYR); 'Titus' (DEU); 'Merlo' (FRA); 'Novosadski 737' (SRB); *проти темно-бурої плямистості* – 'МИР 13/1', 'МИР 12-13', 'МИР 12-11', 'МИР 12-1', 'МИР 12-12', 'МИР 12-2', 'Зимовий' (UKR); '(IR 08287)', 'Radical / Pervenets' (SYR); 'Merlo', 'Manitum' (FRA); 'Scarpia' (DEU); 'Novosadski 737' (SRB); *проти смугастої плямистості* – 'Буревій', 'Л122', 'МИР 12-14', 'МИР 12-1', 'МИР 12-2', 'МИР 12-12', 'МИР 12-10', 'МИР 12-13', 'Абориген', 'МИР 12-15' (UKR); 'Augusta' (DEU); 'Novosadski 519' (SRB); 'Radical / Pervenets', '(20625)\*' (SYR); 'Glenan', 'Panda' (FRA); 'Diapason' (FRA); *проти карликової іржі* – 'Merlo' (FRA), 'МИР 12-12' (UKR) і 'Scarpia' (DEU); *стійкості проти вилягання* – 'МИР 4790', 'Академічний', 'Трудівник', 'Буревій', 'МИР 12-7' (UKR); 'Novosadski 525', 'Novosadski 519', 'Novosadski 529' (SRB); 'Panda', 'Merlo', 'Baraka' (FRA); 'Naomie', 'Titus', 'Augusta' (DEU); '(20604)\*' (SYR); *відносно морозостійкості* – 'МИР 12-13', 'Л п5/11', 'МИР 13/1', 'Л 17/7', 'Зимовий', 'МИР 12-15', 'Л 2/1', 'МИР 12-1', 'Достойний' (UKR); 'Manitum', 'Classica' (FRA); 'Okal' (CZE); 'Naomie', 'Scarpia' (DEU); '(20625)\*' (SYR); *відносно посухостійкості* – 'МИР 12-13', 'МИР 12-12', 'МИР 4787', 'МИР 4790', 'МИР 12-8' (UKR). Залучаючи до схрещування зразки, виділені за стійкістю проти окремих біо- та абіотичних чинників, слід зважа-

ти на рівень прояву решти параметрів і комбінувати їх з іншими компонентами за принципом взаємодоповнення ознак.

Відповідно до GYT biplot, оптимальне поєднання врожайності та комплексу ознак виявлено у зразка 'Titus' (DEU). Джерелами комплексу ознак також визначено 'Merlo', 'Manitum' (FRA); 'МИР 12-11', 'МИР 12-9', 'Снігова королева' (UKR); 'Novosadski 737' (SRB); 'Scarpia' (DEU). Однак 'Merlo' (FRA) потребує поліпшення за параметром відносної морозостійкості.

Виділені генетичні джерела окремих та комплексу ознак рекомендовано використовувати в селекційних програмах ячменю озимого для створення нового вихідного матеріалу. Ці зразки також можуть бути цінними компонентами схрещувань для розширення генетичної основи ячменю ярого, зокрема за показниками відносної посухостійкості та стійкості проти збудників хвороб.

## References

- Jiang, C., Kan, J., Gao, G., Dockter, C., Li, C., Wu, W., Yang, P., & Stein, N. (2025). Barley2035: A decadal vision for barley research and breeding. *Molecular Plant*, 18(2), 195–218. <https://doi.org/10.1016/j.molp.2024.12.009>
- Lehkun, I. B., Sheremet, O. M., Kovtun, I. V., Skvortsova, K. O., & Shcherbina, Z. V. (2025). Creation of new barley genotypes of winter and alternative types of development. *Grain Crops*, 9(2), 239–248. <https://doi.org/10.31867/2523-4544/0384> [In Ukrainian]
- Sadok, W., Wiersma, J. J., Steffenson, B. J., Snapp, S. S., & Smith, K. P. (2022). Improving winter barley adaptation to freezing and heat stresses in the U.S. Midwest: bottlenecks and opportunities. *Field Crops Research*, 286, Article 108635. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2022.108635>
- Tamang, B. G., López, J.R., McCoy, E., Haaning, A., Sallam, A., Steffenson, B. J., Muehlbauer, G. J., Smith, K. P., & Sadok, W. (2021). Association between xylem vasculature size and freezing survival in winter barley. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 208(3), 362–371. <https://doi.org/10.1111/jac.12537>
- Guerra, D., Morcia, C., Badeck, F., Rizza, F., Delbono, S., Francia, E., Milc, J. A., Monostori, I., Galiba, G., Cattivelli, L., & Tondelli, A. (2021). Extensive allele mining discovers novel genetic diversity in the loci controlling frost tolerance in barley. *Theoretical and Applied Genetics*, 135(2), 553–569. <https://doi.org/10.1007/s00122-021-03985-x>
- Liang, X., Hu, G., McDougall, L., Werth, J., Yang, R., Yang, J., Evans, C., & Satterfield, K. (2024). Small stomates and xylem vessels associated with freeze tolerance in winter barley. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 210(4), Article e12737. <https://doi.org/10.1111/jac.12737>
- Wójcik-Jagła, M., Daszkowska-Golec, A., Fiust, A., Kopeć, P., & Rapacz, M. (2021). Identification of the genetic basis of response to de-acclimation in winter barley. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(3), Article 1057. <https://doi.org/10.3390/ijms22031057>
- Wójcik-Jagła, M., & Rapacz, M. (2023). Freezing tolerance and tolerance to de-acclimation of European accessions of winter and facultative barley. *Scientific Reports*, 13(1), Article 19931. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-47318-y>
- Pravdziva, I. V., Demydov, O. A., Hudzenko, V. M., & Derhachov, O. L. (2020). Evaluation of yield and stability of bread winter wheat genotypes (*Triticum aestivum* L.) depending on predecessors and sowing dates. *Plant Varieties Studying and Protection*, 16(3), 291–302. <https://doi.org/10.21498/2518-1017.16.3.2020.214923> [in Ukrainian]
- Elakhdar, A., Solanki, S., Takahiko, K., Abed, A., Elakhdar, I., Khedr, R., Hamwiah, A., Capo-chichi, L. J. A., Abdelsattar, M., Franckowiak, J. D., & Qualset, C. O. (2022). Barley with improved drought tolerance: challenges and perspectives. *Environmental and Experimental Botany*, 201, Article 104965. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2022.104965>
- Findurová, H., Veselá, B., Panzarová, K., Pytela, J., Trtílek, M., & Klem, K. (2023). Phenotyping drought tolerance and yield performance of barley using a combination of imaging methods. *Environmental and Experimental Botany*, 209, Article 105314. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2023.105314>
- Badr, A., El-Shazly, H. H., Mahdy, M., Schierenbeck, M., Helmi, R. Y., Börner, A., & Youssef, H. M. (2025). GWAS identifies novel loci linked to seedling growth traits in highly diverse barley population under drought stress. *Scientific Reports*, 15(1), Article 10085. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-94175-y>
- Song, R., Shi, P., Xiang, L., He, Y., Dong, Y., Miao, Y., & Qi, J. (2024). Evaluation of barley genotypes for drought adaptability: based on stress indices and comprehensive evaluation as criteria. *Frontiers in Plant Science*, 15, Article 1436872. <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1436872>
- Paul, M., Tanskanen, J., Jääskeläinen, M., Chang, W., Dalal, A., Moshelion, M., & Schulman, A. H. (2023). Drought and recovery in barley: key gene networks and retrotransposon response. *Frontiers in Plant Science*, 14, Article 1193284. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1193284>
- Cai, K., Gao, H., Wu, X., Zhang, S., Han, Z., Chen, X., Zhang, G., & Zeng F. (2019). The ability to regulate transmembrane potassium transport in root is critical for drought tolerance in barley. *International Journal of Molecular Sciences*, 20(17), Article 4111. <https://doi.org/10.3390/ijms20174111>
- Cai, K., Chen, X., Han, Z., Wu, X., Zhang, S., Li, Q., Nazir, M. M., Zhang, G., & Zeng, F. (2020). Screening of worldwide barley collection for drought tolerance: the assessment of various physiological measures as the selection criteria. *Frontiers in Plant Science*, 11, Article 1159. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.01159>
- Wang, J., Yao, L., Hao, J., Li, C., Li, B., Meng, Y., Ma, X., Si, E., Yang, K., Zhang, H., Shang, X., & Wang, H. (2024). Growth properties and metabolomic analysis provide insight into drought tolerance in barley (*Hordeum vulgare* L.). *International Journal of Molecular Sciences*, 25(13), Article 7224. <https://doi.org/10.3390/ijms25137224>
- Habtegebriel, M. H., Feyissa, T., Setotaw, T. A., & Melkie, Y. (2025). Screening of barley (*Hordeum vulgare* L.) for early seedling growth traits for drought tolerance under polyethylene glycol 6000. *Agrosystems, Geosciences & Environment*, 8(3), Article e70203. <https://doi.org/10.1002/agg2.70203>
- Frimpong, F., Anokye, M., Windt, C. W., Naz, A. A., Frei, M., Dusschoten, D. van, & Fiorani, F. (2021). Proline-mediated drought tolerance in the barley (*Hordeum vulgare* L.) isogenic line is associated with lateral root growth at the early seedling stage. *Plants*, 10(10), Article 2177. <https://doi.org/10.3390/plants10102177>
- Niu, Y., Chen, T., Zhao, C., & Zhou, M. (2022). Lodging prevention in cereals: Morphological, biochemical, anatomical traits and their molecular mechanisms, management and breeding strategies. *Field Crops Research*, 289, Article 108733. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2022.108733>
- Yuan, Z., Rembe, M., Mascher, M., Stein, N., Himmelbach, A., Jayakodi, M., Börner, A., Oldach, K., Jahoor, A., Jensen, J. D., Rudloff, J., Dohrendorf, V.-E., Kuhfus, L. P., Dyrszka, E., Conte, M., Hinz, F., Trouchaud, S., Reif, J. C., & Hanafi, S. E. (2025). High-quality phenotypic and genotypic dataset of barley genebank core collection to unlock untapped genetic diversity. *GigaScience*, 14, Article 121. <https://doi.org/10.1093/gigascience/giae121>

22. Jiang, Y., Xue, R., Chang, Y., Cao, D., Liu, B., & Li, Y. (2025). The knockout of Gy subunit HvGS3 by CRISPR/Cas9 gene editing improves the lodging resistance of barley through dwarfing and stem strengthening. *Theoretical and Applied Genetics*, 138(3), Article 61. <https://doi.org/10.1007/s00122-025-04853-8>
23. Retman, S., Melnichuk, F., Kyslykh, T., & Shevchuk, O. (2022). Complex of barley leaf spots in Ukraine. *Chemistry Proceedings*, 10(1), Article 1. <https://doi.org/10.3390/IOCAG2022-12290>
24. Bilovus, H., Terletska, M., Pushchak, V., Vashchysyn, O., & Prysatska, O. (2022). Evaluation of winter barley cultivars for resistance to leaf fungal diseases and yield in the conditions of the Western Forest-Steppe of Ukraine. *Scientific Horizons*, 25(1), 60–67. [https://doi.org/10.48077/scihor.25\(1\).2022.60-67](https://doi.org/10.48077/scihor.25(1).2022.60-67)
25. Bilovus, H., Terletska, M., Ilchuk, R., & Yaremko, V. (2023). Discovery of sources of resistance to leaf diseases of winter barley for use in breeding. *Foothill and Mountain Agriculture and Stockbreeding*, 73(2), 22–35. [https://doi.org/10.32636/01308521.2023-\(73\)-2-2](https://doi.org/10.32636/01308521.2023-(73)-2-2) [in Ukrainian]
26. Li, X., Jin, C., Yuan, H., Huang, W., Liu, F., Fan, R., Xie, J., & Shen, Q.-H. (2021). The barley powdery mildew effectors CSEP0139 and CSEP0182 suppress cell death and promote *B. graminis* fungal virulence in plants. *Phytopathology Research*, 3(1), Article 7. <https://doi.org/10.1186/s42483-021-00084-z>
27. Dreiseitl, A. (2022). Powdery mildew resistance genes in barley varieties bred for human consumption. *Agronomy*, 12(10), Article 2245. <https://doi.org/10.3390/agronomy12102245>
28. Dreiseitl, A. (2025). Major genes for powdery mildew resistance in research and breeding of barley: a few brief narratives and recommendations. *Plants*, 14(14), Article 2091. <https://doi.org/10.3390/plants14142091>
29. Visioni, A., Rehman, S., Viash, S. S., Singh, S. P., Vishwakarma, R., Gyawali, S., Al-Abdallat, A. M., & Verma, R. P. S. (2020). Genome wide association mapping of spot blotch resistance at seedling and adult plant stages in barley. *Frontiers in Plant Science*, 11, Article 642. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00642>
30. Bilovus, H., Vashchysyn, O., & Pristatska, O. (2023). Dark brown spotting of winter barley in the conditions of the Western Forest Steppe. *Bulletin of Agricultural Science*, 101(12), 45–50. <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202312-06> [In Ukrainian]
31. Kaur, A., Sharma, V. K., Kaur, S., Kaur, J., & Lal, C. (2020). Characterization of barley entries for spot blotch resistance. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 9(10), 161–171. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2020.910.021>
32. Roy, D., Dinglasan, E., Fowler, R., Platz, G., Lance, R., Synman, L., Franckowiak, J., Hickey, L. T., Voss-Fels, K., & Robinson, H. (2025). Genomic regions associated with spot blotch resistance in elite barley breeding populations. *Molecular Breeding*, 45(2), Article 16. <https://doi.org/10.1007/s11032-025-01537-5>
33. Tucker, J. R., Badea, A., Fernando, W. G. D., Hiebert, C. W., Woitas, A. C., & Beattie, A. D. (2024). Genome-wide association study of adult plant resistance to spot blotch in an elite Canadian two-row barley germplasm collection. *Plant Pathology*, 73(6), 1446–1457. <https://doi.org/10.1111/ppa.13896>
34. Tan, Z., Zhang, S., Qu, Y., Kang, S., Fang, S., & Hou, L. (2025). Identification of leaf stripe resistance genes in hulless barley landrace Teliteqingke from Qinghai-Tibet Plateau. *International Journal of Molecular Sciences*, 26(3), Article 1133. <https://doi.org/10.3390/ijms26031133>
35. Wang, Y., Hu, Q., Yao, Y., Cui, Y., Bai, Y., An, L., Li, X., Ding, B., Yao, X., & Wu, K. (2025). Transcriptome, miRNA, and degradome sequencing reveal the leaf stripe (*Pyrenophora graminea*) resistance genes in Tibetan hulless barley. *BMC Plant Biology*, 25(1), Article 71. <https://doi.org/10.1186/s12870-025-06055-2>
36. Si, E., Meng, Y., Ma, X., Li, B., Wang, J., Yao, L., Yang, K., Zhang, Y., Shang, X., & Wang, H. (2020). Genome resource for barley leaf stripe pathogen *Pyrenophora graminea*. *Plant Disease*, 104(2), 320–322. <https://doi.org/10.1094/PDIS-06-19-1179-A>
37. Ziems, L. A., Singh, L., Dracatos, P. M., Dieters, M. J., Sanchez-Garcia, M., Amri, A., Verma, R. P. S., Park, R. F., & Singh, D. (2023). Characterization of leaf rust resistance in international barley germplasm using genome-wide association studies. *Plants*, 12(4), Article 862. <https://doi.org/10.3390/plants12040862>
38. Singh, D., Ziems, L. A., Sandhu, K. S., Chhetri, M., Sanchez-Garcia, M., Amri, A., Dieters, M., & Park, R. F. (2025). Predictions of genes conferring resistance to *Puccinia hordei* in an international barley panel using gene-for-gene-based postulations and linked molecular markers. *Plants*, 14(20), Article 3150. <https://doi.org/10.3390/plants14203150>
39. Matros, A., Schikora, A., Ordon, F., & Wehner, G. (2023). QTL for induced resistance against leaf rust in barley. *Frontiers in Plant Science*, 13, Article 1069087. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1069087>
40. Dinh, H. X., Singh, D., Gomez de la Cruz, D., Hensel, G., Kumlehn, J., Mascher, M., Stein, N., Perovic, D., Ayliffe, M., Moscou, M. J., Park, R. F., & Pourkheirandish, M. (2022). The barley leaf rust resistance gene *Rph3* encodes a predicted membrane protein and is induced upon infection by avirulent pathotypes of *Puccinia hordei*. *Nature Communications*, 13(1), Article 2386. <https://doi.org/10.1038/s41467-022-29840-1>
41. Hudzenko, V. M., Lysenko, A. A., Polishchuk, T. P., Buniak, N. M., Kuzmenko, Ye. A., Yurchenko, T. V., Khudolii, L. V., & Kokhavska, I. V. (2025). Genetic sources of yield and stability for winter barley breeding under conditions of the Ukrainian Forest-Steppe. *Plant Varieties Studying and Protection*, 21(1), 25–38. <https://doi.org/10.21498/2518-1017.21.1.2025.327499> [In Ukrainian]
42. Petrenkova, V. P., Borovska, I. Yu., Luchna, I. S., Sokol, T. V., Nyska, I. M., Kucherenko, E. Yu., & Kompanets K. V. (2018). *Methodology for selecting forms of field crops in terms of resistance to a complex of biotic and abiotic factors*. FOP Brovin O. V. [In Ukrainian]
43. Yurchenko, T., Pykalo, S., Hudzenko, V., Tomashevska, A. (2024). Method of evaluation and selection of breeding material of winter cereals for frost resistance. *Environmental Sciences*, 53, 205–208. <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.2-53.28>
44. Yan, W., & Frégeau-Reid, J. (2018). Genotype by yield\*trait (GYT) biplot: a novel approach for genotype selection based on multiple traits. *Scientific Reports*, 8(1), Article 8242. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-26688-8>
45. Frutos E., Galindo M. P., & Leiva V. (2014). An interactive biplot implementation in R for modeling genotype-by-environment interaction. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 28(7), 1629–1641. <https://doi.org/10.1007/s00477-013-0821-z>
46. Laidig, F., Feike, T., Klocke, B., Macholdt, J., Miedaner, T., Rentel, D., & Piepho, H. P. (2021). Long-term breeding progress of yield, yield-related, and disease resistance traits in five cereal crops of German variety trials. *Theoretical and Applied Genetics*, 134(12), 3805–3827. <https://doi.org/10.1007/s00122-021-03929-5>
47. Kendal, E. (2020). Evaluation of some barley genotypes with genotype by yield\*trait (GYT) biplot method. *Agriculture and Forestry*, 66(2), 137–150. <https://doi.org/10.17707/Agricult-Forest.66.2.13>
48. Welderufael, S., Abay, F., Ayana, A., & Amede, T. (2023). Genotype by trait (GT) and genotype by yield\*traits (GYT) analysis of sorghum landraces in Tigray, Northern Ethiopia. *Crop Breeding, Genetics and Genomics*, 5(2), Article e230002. <https://doi.org/10.20900/cbgg20230002>
49. Hudzenko, V. M., Lysenko, A. A., Tsentylo, L. V., Demydov, O. A., Polishchuk, T. P., Khudolii, L. V., Buniak, N. M., Fedorenko, I. V., Fedorenko, M. V., Petrenko, V. V., Yurchenko, T. V., Suddenko, Y. M., Ishchenko, V. A., & Kozelets, H. M. (2023). Genotype by yield × trait (GYT) biplot analysis for the identification of the superior winter and facultative barley breeding lines. *Agronomy Research*, 21(2), 739–757. <https://doi.org/10.15159/AR.23.052>

UDC 633.162:631.527:631.524.85(477)

**Hudzenko, V. M.<sup>1,2\*</sup>, Lysenko, A. A.<sup>3</sup>, Polishchuk, T. P.<sup>4</sup>, Buniak, N. M.<sup>1</sup>, Sardak, M. O.<sup>1</sup>, Yurchenko, T. V.<sup>4</sup>, Kuzmenko, Ye. A.<sup>4</sup>, Khudolii, L. V.<sup>2</sup>, Kokhovska, I. V.<sup>2</sup>, & Kravchenko, Yu. A.<sup>2</sup>** (2026). Resistance of winter barley accessions to complex of biotic and abiotic stresses under condition of the Ukrainian Forest-Steppe. *Plant Varieties Studying and Protection*, 14(1), 23–34. <https://doi.org/10.21498/2518-1017.22.1.2026.357581>

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

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

<sup>3</sup>"Kyiv-Atlantic Ukraine" LLC, 8 Stepova St., Myronivka, Obukhiv district, Kyiv region, 08800, Ukraine

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

**Purpose.** To identify the genetic sources of resistance/tolerance to the most common biotic and abiotic stress factors in order to incorporate them into winter barley breeding programs in the Forest-Steppe region of Ukraine. **Methods.** The study was conducted at the V. M. Remeslo Myronivka Institute of Wheat of NAAS in 2018/19, 2020/21, 2021/22. The study material consisted of 74 accessions of various origins. Assessments of resistance/tolerance to biotic and abiotic factors were carried out under field and laboratory conditions in accordance with standardized methods. GYT biplot analysis was then used to characterize the accessions based on a set of traits and their correlation with yield. **Results.** As a result of the study, genetic sources of resistance/tolerance to biotic and abiotic stresses have been identified. In particular, sources of resistance to: powdery mildew – 14 accessions ('MYR 13/1', 'MYR 12-1', 'MYR 12-12' (UKR) and others), spot blotch – 13 accessions ('MYR 12-13', 'MYR 12-11' (UKR); 'Novosadski 737' (SRB) and others), leaf stripe – 17 accessions ('L122', 'MYR 12-14' (UKR); 'Augusta' (DEU) and others), leaf rust – three accessions ('Merlo' (FRA); 'MYR 12-12' (UKR); 'Scarpia' (DEU)), lodging – 15 accessions ('Novosadski 525' (SRB); 'Naomie' (DEU); 'Panda' (FRA) and others). Two accessions ('Manitum' (FRA), 'MYR 12-13' (UKR)) were characteri-

zed as a sources of a very high relative frost tolerance. High relative frost tolerance was found for 13 accessions. Higher than average relative drought tolerance was identified in five accessions ('MYR 12-13', 'MYR 12-12', 'MYR 4787', 'MYR 4790', 'MYR 12-8' (UKR)). The optimal combination of yield and complex of other traits according to GYT biplot was found in the accession 'Titus' (DEU). Also, as the sources of the complex traits we can characterized the accessions 'Merlo', 'Manitum' (FRA); 'MYR 12-11', 'MYR 12-9', 'Snihova koroleva' (UKR); 'Novosadski 737' (SRB); 'Scarpia' (DEU). However, 'Merlo' (FRA) needs improvement in terms of relative frost tolerance. **Conclusions.** The identified genetic sources of individual traits and their combinations should be used in breeding programmes for winter barley, as well as spring barley in terms of relative drought tolerance and resistance to pathogens. When selecting sources for hybridization based on their resistance to specific biotic and abiotic factors, it is important to consider the expression levels of the remaining traits and combine them with other components on the basis of complementary traits.

**Keywords:** *Hordeum vulgare* L.; lodging, powdery mildew; spot blotch; stripe blotch; leaf rust; frost tolerance; drought tolerance; GYT biplot.

Надійшла / Received 16.01.2026

Прийнято до друку / Accepted 11.03.2026

Опубліковано онлайн / Published online 30.03.2026

# Вітчизняні сорти *Primula* L. та селекційні напрями підвищення їхньої стійкості за зміни кліматичних умов Північного Лісостепу України

О. П. Перебойчук

Національний ботанічний сад імені М. М. Гришка НАН України, вул. Садово-Ботанічна, 1, м. Київ, 01014, Україна,  
e-mail: [fjorgy@meta.ua](mailto:fjorgy@meta.ua)

**Мета.** Встановити та обґрунтувати ключові напрями селекції представників роду *Primula* L. на підвищення стійкості до ксеротермічного стресу та здійснити комплексний аналіз господарсько-цінних декоративних ознак нових адаптованих вітчизняних сортів в умовах Північного Лісостепу України. **Методи.** Дослідження проводили протягом 2010–2025 рр. Вивчали колекційний фонд роду *Primula* Національного ботанічного саду імені М. М. Гришка НАН України, що налічує 17 видів, 2 підвиди, 38 сортів і міжвидових гібридів. Інтродукційну та селекційну цінність таксонів визначали за комплексом інтегральних показників стійкості, декоративної стабільності та параметрів фенологічного розвитку. Застосовували методи цілеспрямованої та інтрогресивної гібридизації, індивідуального клонового добору й порівняльного сортовипробування. **Результати.** Чинником, що лімітував культивування представників роду *Primula* в умовах Північного Лісостепу, був гідротермічний режим, де критичним стресором стала літньо-осіння посуха навіть за помірного поливу. На основі комплексного інтродукційного дослідження та аналізу еколого-біологічних характеристик природних біотопів ідентифіковано таких основних донорів стійкості проти ксеротермічних умов регіону: *P. auricula* L., *P. elatior* (L.) Hill, *P. veris* L., *P. veris* subsp. *macrocalyx* (Bunge) Lüdi, *P. vulgaris* Huds., *P. vulgaris* subsp. *rubra* (Sm.) Arcang., *P. woronowii* Losinsk. Обґрунтовано етапи селекційного процесу, що базуються на генеративній рекомбінації та фіксуванні цільових ознак вегетативним способом. Представлено перші вітчизняні сорти, які поєднують комплексну резистентність до абіотичних і біотичних стресорів із високими показниками декоративності. **Висновки.** Доведено, що успішність культивування первоцвітів залежить від ступеня пристосовуваності рослин до ксеротермічного стресу в літньо-осінній період. Серед досліджуваного генофонду максимальним рівнем адаптивності вирізнялися представники секції *Primula*. Виділено види зі специфічними адаптивними стратегіями, а саме: *P. japonica* A. Gray, *P. rosea* Royle та *P. sieboldii* E. Morgen. Представлено дев'ять вітчизняних сортів ('Веснянка', 'Чумацький Шлях', 'Лісова пісня', 'Вишиванка', 'Сутінки', 'Білосніжка', 'Марі', 'Світанок' та 'Ююша'), які поєднують високі декоративні якості з підвищеною адаптивною стійкістю. Це дає змогу рекомендувати їх для розширення асортименту ранньоквітучих рослин у різних типах ландшафтних композицій урбанізованих середовищ.

**Ключові слова:** ксеротермічний стрес; адаптивність; декоративні рослини; інтродукція; квітництво; урбофітоценози.

## Вступ

Зелені насадження є критично важливим компонентом урбоекосистем, оскільки сприяють нівелюванню мікрокліматичних екстремумів і підвищенню якості атмосферного повітря [1, 2]. Водночас культурні фітоценози чимраз частіше зазнають негативного впливу абіотичних стресорів унаслідок системних кліматичних змін. В Україні вони проявляються стійкою тенденцією до аридизації, що полягає в зростанні середньорічної температури повітря та частоти періодів із критично високими температурами. Попри відносну стабільність річної норми опадів, їхній про-

трово-часовий розподіл стає дедалі нерівномірнішим [3]. Вказані стійкі закономірності актуалізують необхідність науково обґрунтованого підходу до формування асортименту адаптивних декоративних видів і сортів для ландшафтного будівництва в урбанізованих середовищах [4].

Важливим складником культурних фітоценозів є квітничково-декоративні трав'янисті багаторічні рослини. Вони підвищують естетичну привабливість ландшафтних композицій та їхню екологічну стійкість, сприяють оптимізації гідротермічного режиму ґрунту й мінімізації ерозійних процесів. Один із перспективних напрямів збагачення асортименту цієї групи – розширення сегмента ранньоквітучих рослин. Такими для Північного Лісостепу України є представники роду Первоцвіт (*Primula* L.). Їхнє ранньовесняне цві-

Oksana Pereboichuk

<https://orcid.org/0000-0002-6273-6158>



© The Author(s) 2026. Published by Ukrainian Institute for Plant Variety Examination. This is an open access article distributed under the terms of the license CC BY-SA 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>), which permits use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

тіння, окрім високої декоративності, екологічної пластичності та здатності до успішної вегетації в умовах затінення, забезпечує підтримання трофічних зв'язків для комах-запилювачів [5].

Рід Первоцвіт вирізняється значним видовим біорізноманіттям та є найчисленнішим таксоном у родині Первоцвітові (*Primulaceae* Vent.). Наразі він налічує 549 визнаних видів [6], згрупованих у 37 секцій [7]. Водночас наукова дискусія щодо системи роду лишається відкритою. Це зумовлено тим, що його визнано парафілетичним у межах загальної ревізії родини *Primulaceae*, а також суттєвими розбіжностями між результатами філогенетичних досліджень ядерної та пластидної ДНК [8]. Додатковим чинником таксономічної нестабільності є процес опису нових видів [9, 10].

Ареал роду охоплює переважно територію Голарктики, а його представники локалізовані у вологих біотопах помірної та арктичної зон. Основним центром видової диверсифікації *Primula* вважають Гімалаї та гірські системи Західного Китаю, де зосереджено приблизно 334 види, які належать до 24 секцій [7, 11]. У флорі Європи ідентифіковано 34 види, що входять до чотирьох секцій [12], а в Україні – сім видів [*P. elatior* (L.) Hill, *P. farinosa* L., *P. halleri* J. F. Gmel., *P. matthioli* (L.) V. A. Richt., *P. minima* L., *P. veris* L., *P. vulgaris* Huds.], три з яких мають охоронний статус і внесені до Червоної книги України [13, 14].

Згідно з історичними першоджерелами, в культурі західноєвропейських країн первоцвіти відомі з кінця XVI ст. [7]. Їх вирощували як лікарські та декоративні рослини. Вони становили значний інтерес для художників і ботаніків. На початку XVII ст. з'явилися ілюстрації та описи, що відображали широкий спектр морфологічних мутацій квітки й варіабельність її забарвлення [15]. Це свідчить про становлення та розвиток селекційної роботи, заснованої на щораз більшому інтересі до декоративного різноманіття представників роду *Primula*.

Види *P. auricula* L., *P. veris* та *P. vulgaris* були одними з перших, введених у культуру європейського квітникарства [7]. За результатами аналізу садових каталогів та інших наукових джерел встановлено, що нині в декоративному садівництві країн Європи та Північної Америки використовують приблизно 140 видів і понад 20 міжвидових гібридів, майже 9% з яких урізноманітнені сортовими формами [16]. Найбільший попит мають *P. auricula*, *P. bulleyana* Forrest, *P. denticulata* Sm., *P. elatior*, *P. japonica* A. Gray, *P. juliae* Kusn.,

*P. saxatilis* Kom., *P. sieboldii* E. Morren, *P. veris*, *P. vialii* Delavay ex Franch. та *P. vulgaris* [7, 16].

Аналіз біоморфологічної структури сучасного світового асортименту засвідчує домінування двох ключових стратегій селекційного вдосконалення роду. Перша орієнтована на контейнерну культуру й передбачає створення недовговічних сортів із ясным одномоментним цвітінням для комерційного використання. Друга спрямована на декоративне садівництво відкритого ґрунту, де поряд із вираженою естетичністю селекційні генотипи вирізняються довговічністю та підвищеною стійкістю проти комплексу абіотичних стресорів.

Пріоритетним завданням сучасної селекції є створення стабільно високодекоративних і кліматостійких сортів на основі розширеної генетичної бази, сформованої способом віддаленої гібридизації, що охоплює міжвидові та міжсекційні схрещування із застосуванням методів подолання програмної несумісності. Узгодження таких селекційних цілей із запитамі інтенсивної урбанізації сприяє розв'язанню як прикладних завдань декоративного садівництва, так і ширших екосистемних викликів [17, 18].

Попри значний світовий асортимент декоративних сортів первоцвіту, що постійно розширюється, актуальним лишається створення вітчизняних культиварів, оскільки вони характеризуються ліпшою адаптивністю до специфічних едафо-кліматичних умов регіонів України, підвищеною резистентністю до абіотичних і біотичних стресів та здатністю зберігати стабільні декоративні ознаки протягом тривалого часу в мінливому середовищі. Крім того, залучення аборигенних видів у селекційні програми сприяє збереженню регіонального біорізноманіття та впровадженню принципів ресурсоефективного садівництва.

*Мета досліджень* – встановити та обґрунтувати ключові напрями селекції представників роду *Primula* L. на підвищення стійкості проти ксеротермічного стресу та здійснити комплексний аналіз господарсько-цінних декоративних ознак нових адаптованих вітчизняних сортів в умовах Північного Лісостепу України.

### Матеріали та методика досліджень

Дослідження проводили протягом 2010–2025 рр. на базі відділу квітничково-декоративних рослин Національного ботанічного саду імені М. М. Гришка НАН України (НБС НАН України). Експериментальна ділянка розташована в зоні Північного Лісостепу на високому правобережному плато річки Дніпро (50°32' пн. ш., 30°33' сх. д.; 170–190 м над рівнем моря). Ґрунти – антропогенно змінені

темно-сірі опідзолені на лесових відкладах із домішками торфу та піску. Вони характеризуються легкосуглинковим гранулометричним складом, хорошою аерацією та нейтральною реакцією ґрунтового розчину (рН 6,5–7,5). Залягання ґрунтових вод не має детермінованого впливу на процеси ґрунтоутворення та водний режим верхніх горизонтів.

Клімат району досліджень – помірно-континентальний із вираженою міжрічною мінливістю метеорологічних показників. Упродовж 2010–2025 рр. спостерігали стійку тенденцію до зростання середньорічної температури повітря (+10,4...11,4 °С). Вона суттєво перевищувала кліматичну норму (+9,0 °С), а її екстремально високі значення зафіксовано у 2020 та 2024 рр. Абсолютний температурний мінімум зареєстровано у 2012 р. – –26,8 °С, тоді як середні найнижчі показники варіювали в межах –15,0...–20,0 °С. Характерними особливостями зимового періоду були значні амплітуди температурних коливань і відсутність стійкого снігового покриву. На тлі загального потепління простежувалася тенденція до скорочення тривалості метеорологічної зими та подовження (на 10–14 діб) вегетації. Її раннє відновлення фіксували в лютому – березні, що зумовлено передчасним стабільним переходом середньодобової температури через 0 °С до додатних значень (найчастіше – у третій декаді лютого). Весняний період вирізнявся значною термічною контрастністю: у квітні позначки термометра досягали +20...+25 °С на тлі частих нічних заморозків, які тривали до третьої декади травня. У літній період спостерігали стійку тенденцію до аридизації, що проявлялося збільшенням абсолютних температурних максимумів. Рекордне значення становило +39,2 °С. Починаючи з 2020 р., максимальні температури влітку стабільно перевищували позначку +35 °С. Кількість днів зі спекою понад +30 °С зроста майже вдвічі, як порівняти з попередніми десятиліттями, – до 25–35 на сезон. У 2024 р. зафіксовано 37 таких днів, 17 з яких були термічно екстремальними (> +35 °С). Також збільшилася чисельність «тропічних ночей», коли температура не опускалася нижче +20 °С. Це стало додатковим критичним фактором стресу для рослин, оскільки вони не встигали за таких умов відновити тургор та знизити інтенсивність дихання [19].

Середньорічна кількість опадів (617 мм) лишалася в межах кліматичної норми, проте характер їхнього розподілу зазнав суттєвих змін: зросла частота тривалих бездощових періодів, що чергувалися з інтенсивними зливами. Через малосніжні зими спостеріга-

ли дефіцит запасів продуктивної вологи в ґрунті на початку вегетації. Підвищення температури посилювало евапотранспірацію. Це призводило до ґрунтових посух, особливо критичних навесні (30–50% від норми запасу продуктивної вологи). Більшість літніх опадів мали зливовий характер (грози, град), а втрату значної частини вологи (до 70%) спричиняв поверхневий стік. Друга половина літа – час вторинного росту листків і закладання генеративних бруньок – вирізнялася тривалим пануванням антициклонів та бездощових періодів (до 25 діб), коли значення гідротермічного коефіцієнта за Селяніновим знижувалися до 0,4–0,6 (за оптимуму для мезофітів 1,0–1,5). Транспіраційний стрес рослин посилювали суховії [19].

Об'єктами досліджень слугували рослини 17 видів, двох підвидів, 38 сортів і складних міжвидових гібридів, а також дев'яти авторських зареєстрованих сортів та власних селекційних гібридів роду *Primula* з колекції малопоширених багаторічників НБС НАН України. Вихідний матеріал залучали завдяки делектусному обміну насінням через міжнародну мережу ботанічних садів, придбанню вегетативних частин рослин (кореневищ) у профільних розсадниках і проведенню селекційних схрещувань.

За екологічною належністю представники роду *Primula* – це еволюційно адаптовані до умов стабільного зволоження мезофіти та гігромезофіти. Їхньою морфологічною особливістю є формування мичкуватої придаткової кореневої системи поверхневого типу. Основна маса активних всисних коренів за культивування локалізована в едафічному шарі завглибшки 0–15 см. Рослини є високочутливими до дефіциту вологи саме у верхньому горизонті ґрунту, який найшвидше висихає. З огляду на це, добір посухостійких генотипів проводили на тлі підтримувального зрошення в періоди екстремальних гідротермічних аномалій. Штучне зволоження здійснювали методом дрібнокрапельного дощування в нормі 3–5 л/м<sup>2</sup>. Вказаний методичний підхід не нівелював природний стресовий фон, а лише запобігав незворотному в'яненню та повній деградації асиміляційного апарату. Основними критеріями добору слугували такі: швидкість відновлення тургору після пікових термічних навантажень, інтенсивність некротизації листкових пластинок, а також здатність до повноцінного закладання генеративних бруньок у межах критичного, але не летального рівня гідротермічного стресу.

Інтродукційні дослідження проводили за загальноприйнятими методиками [20] з ав-

торськими модифікаціями, адаптованими до біологічних особливостей первоцвітів. Комплексне оцінювання успішності інтродукції та селекційної значущості генофонду здійснювали за п'ятьма інтегральними параметрами, які визначали життєздатність та декоративну стабільність таксонів у конкретному регіоні. А саме: зимо- та посухостійкість, формування габітусу, інтенсивність та стабільність цвітіння, резистентність до шкідників і хвороб. Оцінювання відбувалося за трибальною шкалою: 1 бал – низький рівень (суттєва деградація ознак, елімінація таксонів, висока вразливість до біотичних чинників, слабка інтенсивність цвітіння); 2 бали – середній рівень (часткова пошкоджуваність, задовільно сформований габітус, середня інтенсивність цвітіння); 3 бали – високий рівень (повна адаптованість, сильна резистентність, стабільно рясне квітування).

Загальний показник перспективності таксонів встановлювали як середнє арифметичне інтегральних балів за всіма параметрами. Отримані значення використовували для групування генофонду за ступенем придатності до впровадження в культуру та використання в селекційних програмах: 2,8–3,0 бала – високоперспективні, повністю адаптовані генотипи із вираженою стабільною декоративністю; 2,0–2,7 бала – перспективні, успішно культивуються, але можуть виявляти незначну деградацію ознак у періоди критичних гідротермічних умов; 1,0–1,9 бала – малоперспективні таксони з низькою екологічною пластичністю, що потребують інтенсивної агротехнічної підтримки. Межі груп встановлено з огляду на багаторічні інтродукційні спостереження та практику сорто-вивчення.

Фенофази (початок відростання; бутонізація; початок, масове та завершення цвітіння; плодоношення) реєстрували візуально, відповідно до міжнародних рекомендацій [21]. Еколого-біологічну характеристику інтродуцентів здійснювали за допомогою порівняльного аналізу та узагальнення даних світових наукових джерел. Для ідентифікації забарвлення віночка квітки використовували колірну шкалу Королівського садівничого товариства Великої Британії (RHS).

У процесі досліджень послуговувалися методами цілеспрямованої та інтрогресивної гібридизації, індивідуального клонового добору й порівняльного сортопробування.

### Результати досліджень

Комплексний аналіз кліматичних умов (2010–2025 рр.) та результатів багаторічних

інтродукційних досліджень засвідчив, що успішність культивування представників роду *Primula* у відкритому ґрунті Північного Лісостепу України лімітується параметрами гідротермічного режиму. Провідними дестресорами є температурні екстремуми зимового періоду та літні термічні максимуми в поєднанні з дефіцитом атмосферної, а також ґрунтової вологи. Періодична нестача останньої на тлі весняних суховіїв також має суттєвий дестабілізуювальний вплив на рослини різних таксонів.

З огляду на зазначені екологічні обмеження, головну селекційну цінність становлять високозимостійкі інтродуценти та генотипи з вираженою декоративністю й помірною адаптивністю, що слугують донорами важливих морфологічних ознак.

Для зимостійких інтродуцентів критичними стресорами лишаються тривалі весняно-літні та літньо-осінні посухи, що супроводжуються високою інсоляцією та частими суховіями. Сукупна дія цих факторів спричиняє розвиток вираженого ксеротермічного стресу, наслідком якого є пригнічення ростових процесів та суттєва деградація декоративних ознак. Згідно з результатами багаторічних спостережень, що охоплювали контрастні за гідротермічним режимом періоди, максимальну резистентність до ксеротермічних чинників мають представники секції *Primula*. Їхній високий адаптивний потенціал підтверджується фенотиповою стабільністю й збереженням архітекtonіки розетки навіть на пікових стадіях посух. Водночас цій секції властива специфічна вразливість, зумовлена належністю до групи зимозелених багаторічників, для яких наростання асиміляційного апарату впродовж літа є важливою передумовою підтримання життєздатності. За дефіциту вологи у них спостерігаються передчасна дефоліація, виснаження меристемної активності, елімінація окремих особин чи повна загибель представників деяких видів. Порушення водного балансу негативно впливає на фізіологічну підготовку рослин до стану спокою, зумовлюючи вторинне зниження зимостійкості, що й властиво нестійким сортам секції *Primula*. Найкритичніше зазначені процеси проявляються у вологолюбніших літньюзелених представників секцій *Candelabra* та *Sikkimensis*. На відміну від зимозелених таксонів, види цієї групи за дії гідротермічного стресу прискорено переходять у стан вимушеного спокою, передчасно втрачаючи асиміляційний апарат, що призводить до дефіциту пластичних речовин у запасальних органах і провокує елімінацію особин у зимовий період.

Завдяки сформованому в процесі інтродукції колекційному фонду рослин вдалося провести комплексне порівняльне оцінювання адаптивного потенціалу різних таксономічних та селекційних груп роду *Primula* впродовж тривалого періоду та за умов кліматичної варіабельності району досліджень. Результати інтегрального оцінювання видів і підвидів – вихідного матеріалу для селекції – свідчать про чітку диференціацію за показниками екологічної пластичності (табл. 1). Аналіз параметрів життєздатності та декоративної стабільності показав, що макси-

мальну адаптивність проявляють таксони з широкою екологічною амплітудою до температурного та водного режимів, у яких високий рівень зимостійкості позитивно корелює з витривалістю до гідротермічного стресу в період вегетації. Оскільки такі генотипи характеризуються стабільним формуванням габітусу, регулярним та тривалим цвітінням, а тому й максимальними балами перспективності в культурі, саме їх було використано для гібридизації як донорів ознак ксерорезистентності з метою створення нових вітчизняних сортів.

Таблиця 1

Оцінка успішності інтродукції видів і підвидів роду *Primula*

Назва таксона (вид / підвид)	Формування габітусу	Цвітіння	Зимостійкість	Посухостійкість	Резистентність до шкідників та збудників хвороб	Перспективність у культурі
<i>P. auricula</i> L.	3	3	3	3	3	3
<i>P. bulleyana</i> Forrest	2	2	2	1	3	2
<i>P. bulleyana</i> subsp. <i>beesiana</i> (Forrest)						
A. J. Richards	2	2	2	1	3	2
<i>P. denticulata</i> Sm.	3	3	3	3	3	3
<i>P. elatior</i> (L.) Hill	3	3	3	3	3	3
<i>P. florindae</i> Kingdon-Ward	1	2	2	1	3	1,8
<i>P. halleri</i> J. F. Gmel.	2	3	3	1	3	2,4
<i>P. japonica</i> A. Gray	2	2	3	1	3	2,2
<i>P. juliae</i> Kusn.	3	3	3	2	3	2,8
<i>P. megaseifolia</i> Boiss. & Balansa	1	1	3	1	3	1,8
<i>P. polyneura</i> Franch.	1	1	3	1	3	1,8
<i>P. rosea</i> Royle	2	3	3	1	3	2,4
<i>P. saxatilis</i> Kom.	2	3	3	2	3	2,6
<i>P. sieboldii</i> É. Morren	3	3	3	3	3	3
<i>P. veris</i> L.	3	3	3	3	3	3
<i>P. veris</i> subsp. <i>macrocalyx</i> (Bunge)						
Lüdi	3	3	3	3	3	3
<i>P. vulgaris</i> Huds.	3	3	3	3	3	3
<i>P. vulgaris</i> subsp. <i>rubra</i> (Sm.) Arcang.	3	3	3	3	3	3
<i>P. woronowii</i> Losinsk.	3	3	3	3	3	3

«Старі» сорти та садові форми, що вже тривалий час інтродуковані в Україні, також виявляють істотну стійкість у культурі. До колекційного фонду включено такі з них: 'Pacific Giants', 'Perth Sunrise', 'Perth Sun Set', 'Silver Lace', 'You and Me Punch', 'Wanda', а також давні безіменні гібриди *P. × polyantha*, широко розповсюджені в аматорському садівництві. Натомість сучасним високодекоративним культиварам іноземної селекції часто властива низька стабільність. Послаблена життєздатність цих форм спричинена невідповідністю їхніх екологічних потреб кліматичним умовам району досліджень. А саме: вищій континентальності та аридності середовища, порівнюючи з регіонами селекції. Інша причина – обмежена генетична довговічність самих генотипів. Більшість сучасних сортів, які надходять на ринок України, є гетерозисними гібридами  $F_1$ , що генетично де-

терміновані для короткотривалого використання в контейнерній культурі. Вказані біологічні особливості лімітують можливість їхнього тривалого вирощування та актуалізують питання постійної реновації цієї частини генофонду. Водночас за результатами морфологічного скринінгу іноземні сорти визначено цінними донорами декоративних ознак (діаметра віночка, кількості та форми пелюсток, ексклюзивного забарвлення). Це обґрунтовує доцільність їх використання в комбіційній селекції як вихідного матеріалу для урізноманітнення декоративного потенціалу нових стійких вітчизняних культиварів.

Щоб мінімізувати негативні наслідки кліматичних змін, потрібно інтенсифікувати саме локальну селекцію, оскільки адаптивність сорту та повнота прояву його декоративності визначаються специфічною взаємодією генотипу з абіотичними чинниками кон-

кредного регіону. Формування генотипів безпосередньо в умовах подальшого культивування забезпечує відповідність їхніх ендогенних фізіологічних ритмів динаміці місцевих гідротермічних параметрів. Дотримання цього принципу дає змогу створювати найбільш адаптовані до сучасних кліматичних змін високодекоративні сорти первоцвітів.

Селекційна робота з представниками роду *Primula* в НБС НАНУ базується на системному підході, який інтегрує результати багаторічних інтродукційних досліджень у цілісну програму добору. Для добору батьківських компонентів проводять селекційний скринінг колекційного матеріалу, структуруючи його у два ключові блоки. Перший фокусується на оцінюванні екологічної пластичності таксонів, яка полягає передусім у їхній толерантності до дефіциту вологи на тлі екстремально високих температур, а також у комплексній резистентності до фітопатогенів і фі-

тофагів. Другий блок спрямовано на ідентифікацію носіїв унікальних декоративних ознак: тривалості та рясності цвітіння, варіабельності забарвлення віночка, специфіки морфології суцвіття та квітки, а також архітектоніки габітусу. Такий інтегральний підхід дає змогу виокремити цільові генотипи для подальшої комбінаційної селекції.

Добір донорів стійкості проти ксеротермічного стресу здійснюють на основі комплексного поєднання результатів інтродукційного оцінювання (табл. 1) та аналізу еколого-біологічних характеристик природних біотопів (табл. 2). Завдяки такому підходу можна ідентифікувати генотипи з високим адаптивним потенціалом. Попри те, що більшість представників роду *Primula* є гігро- та мезофітами, низка таксонів виявила достатню толерантність до дефіциту вологи та високих температур в умовах Північного Лісостепу України.

Таблиця 2

Еколого-біологічна характеристика інтродукованих видів та підвидів роду *Primula*

Назва таксона (вид / підвид)	Географічний ареал	Еколого-ценотичний пояс / біотоп	Едафічні вимоги	Водний режим	Світловий режим
<i>Секція Auricula</i>					
<i>P. auricula</i>	Гірські масиви Центральної Європи	Субальпійський, альпійський, субарктичний пояс. Скельні угруповання	Карбонатні ґрунти, лужні. Кальцеофіл	Мезоксерофіт	Геліофіт
<i>Секція Candelabra</i>					
<i>P. bulleyana</i>	Гірські масиви Південно-Західного Китаю, ендемік	Альпійський, субальпійський пояс. Вологі та болотисті гірські луки, гірські відкриті ліси	Родючі, добре дреновані ґрунти, нейтральні, кислі	Гігромезофіт	Геліосциофіт
<i>P. bulleyana</i> subsp. <i>beesiana</i>	Гірські масиви Південно-Західного Китаю, ендемік	Альпійський пояс. Вологі високогірні луки, береги гірських струмків та потоків.	Родючі, добре дреновані ґрунти, нейтральні, слабкокислі	Гігромезофіт	Геліосциофіт
<i>P. japonica</i>	Японський архіпелаг	Помірний пояс. Рівнинні, вологі ліси, луки, болота	Важкі, родючі ґрунти, слабкокислі, нейтральні	Гігромезофіт	Сциогеліофіт
<i>Секція Curtusoides</i>					
<i>P. polyneura</i>	Високогірні регіони Китаю	Нижній альпійський, субальпійський пояс. Узлісся, лісові галявини, рідколісся, гірські луки	Родючі, добре дреновані ґрунти, слабкокислі, нейтральні	Мезогірофіт	Сциогеліофіт
<i>P. saxatilis</i>	Гірські масиви Східної Азії	Субальпійський, лісовий пояс. Ліси, рідколісся, узлісся, скельні розколини	Родючі добре дреновані ґрунти, слабкокислі, нейтральні	Мезофіт	Сциогеліофіт
<i>P. sieboldii</i>	Південна частина Далекого Сходу, Північно-Східний Китай, Корейський півострів, Японський архіпелаг	Помірний пояс. Вологі широколистяні ліси, чагарникові зарослі, вологі луки	Родючі добре дреновані ґрунти, слабкокислі, нейтральні	Гігромезофіт	Сциогеліофіт
<i>Секція Denticulata</i>					
<i>P. denticulata</i>	Гімалаї та прилеглі гірські масиви	Субальпійський, альпійський пояс. Вологі гірські луки	Родючі, важкі, добре дреновані ґрунти, слабкокислі, нейтральні	Мезогірофіт	Сциогеліофіт
<i>P. rosea</i>	Західні, Північно-Західні Гімалаї	Нижній альпійський, субальпійський пояс. Вологі гірські луки, скелясті ущелини	Родючі добре дреновані ґрунти, болотисті, кислі, нейтральні	Гірофіт	Сциогеліофіт

Продовження таблиці 2

Назва таксона (вид / підвид)	Географічний ареал	Еколого-ценотичний пояс / біотоп	Едафічні вимоги	Водний режим	Світловий режим
Секція <i>Farinoso-Halleri</i>					
<i>P. halleri</i>	Гірські масиви Європи	Альпійський, субальпійський пояс. Високогірні луки, скельні угруповання	Добре дреновані, родючі ґрунти, слабкокислі, нейтральні, слабколужні	Мезофіт	Геліофіт
Секція <i>Megaseifolia</i>					
<i>P. megaseifolia</i>	Закавказзя, Північна Туреччина, ендемік	Нижній субальпійський, лісовий пояс. Вологі ліси, затінені ущелини, каньйони	Родючі, добре дреновані ґрунти, слабкокислі, нейтральні	Гігромезофіт	Сциофіт
Секція <i>Primula</i>					
<i>P. elatior</i>	Європа	Помірний пояс. Вологі ліси, узлісся, чагарники, луки	Глинисті, суглинисті ґрунти, слабкокислі, нейтральні, лужні	Мезофіт	Сциогеліофіт
<i>P. juliae</i>	Східний Кавказ, ендемік	Лісовий пояс. Широколистяні ліси, чагарникові зарослі	Родючі, добре дреновані ґрунти, слабкокислі, нейтральні	Мезофіт	Сциогеліофіт
<i>P. veris</i>	Європа, Туреччина, Іран, Кавказ	Помірний пояс. Гірські та степові луки, мішані та широколистяні ліси, чагарникові зарослі	Родючі суглинисті, глинисті ґрунти, нейтральні, слабколужні	Мезофіт	Геліосциофіт
<i>P. veris</i> subsp. <i>macrocalyx</i>	Південно-Східна Європа, Кавказ, Південно-Західний Сибір	Субальпійський, помірний пояс. Степові та гірські луки, узлісся, чагарники	Родючі суглинисті, ґрунти, нейтральні, слабколужні	Мезофіт	Геліосциофіт
<i>P. vulgaris</i>	Західна, Південна Європа, Карпати, Крим, Закавказзя, Північна Африка	Помірний пояс. Вологі ліси, узлісся, чагарники, луки	Родючі добре дреновані ґрунти, слабкокислі, нейтральні	Мезофіт	Сциогеліофіт
<i>P. vulgaris</i> subsp. <i>rubra</i>	Південно-Східна Європа, Кавказ	Помірний пояс. Вологі ліси, узлісся	Родючі добре дреновані ґрунти, слабкокислі, нейтральні	Мезофіт	Сциогеліофіт
<i>P. woronowii</i>	Західне Закавказзя, ендемік	Лісовий пояс. Вологі широколистяні ліси, береги струмків, скелясті ущелини	Родючі добре дреновані ґрунти, слабкокислі, нейтральні	Мезофіт	Сциофіт
Секція <i>Sikkimensis</i>					
<i>P. florindae</i>	Південно-Східний Тибет, ендемік	Альпійський, субальпійський пояс. Гравійні обмілини, заливні луки, болота	Добре дреновані, родючі ґрунти, слабкокислі, нейтральні	Гігрофіт	Геліосциофіт

Ключовими донорами стійкості є такі: європейські високогірні (*P. auricula*, *P. vulgaris*, *P. vulgaris* subsp. *rubra*), рівнинно-гірські види та підвиди з широким ареалом (*P. elatior*, *P. veris*, *P. veris* subsp. *macrocalyx*), а також кавказький ендемік *P. woronowii*. Сформована в умовах контрастних природних екотопів (від петрофітних угруповань до мезофільних лісів) екологічна пластичність цих таксонів детермінує їхню високу адаптивність до абіотичних стресорів та забезпечує стабільну життєздатність у культурі.

Виявлено високий донорський потенціал східноазійського гігромезофіта *P. sieboldii*, зумовлений його здатністю до естивації, що дає змогу ефективно уникати критичного впливу літньої гіпертермії. Ця біологічна особливість є принциповою для інтрогресії генів стійкості та створення ресурсощадних сортів, адаптованих до умов глобального потепління.

Попри належність до вологолюбної екологічної групи, мезогігрофіт *P. denticulata* має помірну толерантність до літнього термічного стресу та досить високу стійкість проти атмосферної посухи за умови підтримання оптимальної вологості субстрату. Зазначені властивості уможливають його використання як донора для збільшення адаптивного потенціалу нових генотипів у межах секції *Denticulata* та в програмах складних міжсекційних схрещувань із метою підвищення стійкості гібридів проти атмосферної посухи.

Інші інтродуценти колекційного фонду слугують носіями морфологічно цінних декоративних ознак та специфічних екологічних адаптацій. Зокрема, *P. rosea*, коренева система якої завдяки розвиненій аеренхімі пристосована до вегетації в умовах капілярного насичення субстрату водою. Здатність рослин витримувати тимчасову гіпоксію визначає високу селекційну цінність виду для ство-

Таблиця 3

Господарсько-цінні декоративні ознаки сортів селекції Національного ботанічного саду імені М. М. Гришка НАН України

Назва сорту / (номер заявки)	Початок цвітіння, декада, місяць / тривалість цвітіння, дів	Висота рослини в період цвітіння, см	Тип суцвіття / кількість квіток у суцвітті, шт.	Форма / забарвлення чашечки	Діаметр віночка, см / кількість пелюсток, шт.	Забарвлення віночка	Хвилястість пелюсток / форма пелюсток	Положення пелюсток відносно одна одної	Розмір / форма (вічка <sup>1</sup> , ореолу <sup>2</sup> , облямівки <sup>3</sup> , цятки <sup>4</sup> )
'Веснянка' (№ 23680003)	3.03/32	14	поодинокі квітки	трубкова / зелене	3,5/5	блідо-зелено-вато-біле 157 D	наявна / округла	перекриваються	мале / еліптичне <sup>1</sup>
'Чумацький Шлях' (№ 23680001)	1.04/30	14	однобічний зонтик / 8-10	трубкова / зелене	2,2/5	світло-жовто-зелене 150 D	відсутня / обернено-яйцеподібна	дотичні	дуже мале / кругле <sup>1</sup>
'Лісова пісня' (№ 23680002)	1.04/34	12	поодинокі квітки	дзвоникоподібна / зелене	3,8/5	фіолетово-рожеве 80 A	наявна / широко округла	сильно перекриваються	мале / куласте <sup>1</sup> малий / з чітким кр. <sup>2</sup> мала / одна <sup>4</sup>
'Вишиванка' (№ 24680002)	1.04/38	18	напівкулястий зонтик / 10-12	трубкова / зелене	3,2/5	яскраво-пурпурове 78A	відсутня / обернено-яйцеподібна	дотичні	мале / куласте <sup>1</sup> середній / розмитий <sup>2</sup> малі / багато <sup>6</sup>
'Сутінки' (№ 24680001)	3.03/30	12	поодинокі квітки	трубкова / пурпурово-зелене	3,8/5	фіолетове 81A	відсутня / округла	дотичні	мале / еліптичне <sup>1</sup> малий / розмитий <sup>2</sup> мала / одна <sup>4</sup>
'Білосніжка' (№ 2025680001)	1.04/36	14	поодинокі квітки	дзвоникоподібна / зелене	5,1/6-7	блідо-зелено-вато-біле 155C	відсутня / широко обернено-яйцеподібна	перекриваються	дуже мале / куласте <sup>1</sup>
'Марі' (№ 2025680003)	3.04/38	12	поодинокі квітки	лійкоподібна / зелене	5,3/8-9	біле 155A	наявна / широко округла	сильно перекриваються	мале / куласте <sup>1</sup>
'Світанок' (№ 2025680002)	1.04/38	22	однобічний зонтик / 6-8	дзвоникоподібна / зелене з фрагментами однакового з віночком	3,1/5	яскраво-жовте 9B	відсутня / обернено-яйцеподібна	дотичні	мале / еліптичне <sup>1</sup>
'Ююша' (№ 2025680004)	3.04/34	14	напівкулястий зонтик / 5-7	дзвоникоподібна / зелене з помірним антоціановим	4,8/6-7	пурпурово-червоне 79C	відсутня / широко округла	сильно перекриваються	мале / куласте <sup>1</sup> дуже малий / розмитий <sup>2</sup> тонка / нерівномірна <sup>3</sup>



**Рис. Вітчизняні сорти НБС НАНУ:**

- а) 'Веснянка' (2023);
- б) 'Чумацький шлях' (2023);
- в) 'Лісова пісня' (2023);
- г) 'Вишиванка' (2024);
- д) 'Сутінки' (2024);
- е) 'Білосніжка' (2025); ж) 'Марі' (2025);
- з) 'Світанок' (2025); і) 'Ююша' (2025)

рення сортів, призначених для гідроморфних екотопів: дощових садів, берегових ліній і штучних боліт. Культивари *P. japonica* є перспективними для тінистих фітоценозів на важких слабкодренованих ґрунтах зі значним рівнем гідроморфності, де вони можуть успішно протистояти гіпоксії та асфіксії кореневої системи. Представники секції *Candelabra* характеризуються пізніми термінами цвітіння та унікальною морфологією багатоярусних мутовчастих суцвіть, що дає змогу суттєво пролонгувати період квітіння первоцвітів і розширити його архітектонічне різноманіття.

Стратегія виведення адаптивних культиварів ґрунтується на поєднанні генеративної рекомбінації через проведення спрямованих схрещувань для створення широкого спектра варіабельності міжвидових гібридів із наступною фіксацією цільових ознак вегетативним способом. Комплексний індивідуальний добір перспективних сіянців здійснюють на другий-третій рік онтогенезу у фазі стабільного масового квітіння, що дає змогу максимально об'єктивно оцінити декоративний потенціал на відповідність селекційним критеріям. Виділені елітні генотипи підлягають клональному розмноженню та подальшому поглибленому вивченню їхньої адаптивності до абіотичних стресорів. Паралельно проводять порівняльне сорто-випробування, спрямоване на підтвердження стабільності господарсько-цінних ознак відібраних клонів у зіставленні їх із сортами-еталонами ('Pacific Giants', 'Perth Sunrise', 'Perth Sun Set', 'Silver Lace', 'You and Me Punch', 'Wanda' тощо), які вже зарекомендували себе як досить стійкі в декоративному садівництві України [23].

Перші вітчизняні культивари, виведені в НБС НАН України ('Веснянка', 'Чумацький Шлях', 'Лісова пісня', 'Вишиванка', 'Сутінки', 'Білосніжка', 'Марі', 'Світанок', 'Ююша'), є складними міжвидовими гібридами в межах секції *Primula* (табл. 3). Їхній генофонд сформовано способом комбінаційної та ступеневої інтрогресивної гібридизації із залученням філогенетично споріднених таксонів (*P. vulgaris*, *P. elatior*, *P. veris*, *P. juliae*, *P. woronowii*), стійких сортів старої селекції та високодекоративних іноземних. Такий підхід дав змогу поєднати в генотипі сильну резистентність до біо- та абіотичних стресорів із сучасними декоративними якостями. Отримані сорти характеризуються високою адаптивною стабільністю та є конкурентоспроможними в умовах мінливого гідротермічного режиму Північного Лісостепу України.

Висока декоративність новостворених сортів зумовлена сукупним проявом морфологічних і фенологічних ознак, які визначають естетичну привабливість та господарську цінність. Інтенсивність і стабільна тривалість цвітіння (30–40 діб) безпосередньо корелюють з його якістю та є одними з головних адаптивних показників. Це підтверджує високу життєздатність клонів і повну реалізацію їхнього генетичного потенціалу в умовах досліджень. Сортові особливості чітко диференціюються за строками настання й тривалістю фенологічних фаз, а також морфометричними параметрами суцвіття, чашечки й віночка (розміром, формою, забарвленням, кількістю часток) (табл. 3). Відмінні господарсько-біологічні характеристики створених сортів та їхня адаптивна стабільність підтверджені результатами державного сорто-випробування, що завершилося офіційною реєстрацією в Державному реєстрі сортів рослин, придатних для поширення в Україні [24] (рис.).

Впровадження зазначених сортів істотно розширює асортимент ранньоквітучих, високодекоративних та екологічно стійких трав'янистих багаторічників для умов Північного Лісостепу України й сприяє мінімізації залежності від імпорту садивного матеріалу. Завдяки значному адаптивному потенціалу до абіотичних стресорів регіону, ці культивари здатні забезпечити тривалу естетичну та структурно-функціональну сталість антропогенно трансформованих фітоценозів – від об'єктів міського озеленення до приватних садово-паркових композицій.

## Висновки

Результати багаторічних інтродукційних досліджень, проведених за умов сильної кліматичної мінливості, та аналізу еколого-біологічних характеристик ареалів окремих видів свідчать, що ключовими лімітувальними чинниками успішної інтродукції представників роду *Primula* L. у Північному Лісостепу України є параметри гідротермічного режиму літньо-осіннього періоду. Сукупний вплив інтенсивної інсоляції, термічних максимумів і дефіциту вологи детермінує розвиток ксеротермічного стресу, що призводить до деградації декоративних ознак та зниження вторинної зимостійкості рослин.

На основі комплексного оцінювання проведено диференціацію генофонду за рівнем екологічної толерантності. Встановлено, що найвищу адаптивну здатність та декоративну стабільність у відкритому ґрунті мають види секції *Primula*. Натомість представники

секцій *Candelabra* та *Sikkimensis* характеризуються низькою резистентністю до дефіциту вологи. Ідентифікація видів зі специфічними адаптивними стратегіями (*P. rosea*, *P. japonica*, *P. sieboldii*) дає змогу обґрунтувати доцільність створення стійких сортів для використання в гідроморфних екотопах.

Доведено, що головним напрямом вітчизняної селекції роду *Primula* є створення сортів, які поєднують високу декоративність із резистентністю до гідротермічних флуктуацій. Перспективними донорами цінних ознак визначено види *P. auricula*, *P. denticulata*, *P. elatior*, *P. sieboldii*, *P. veris*, *P. vulgaris* та *P. woronowii*, що отримали максимальний бал за результатами комплексного інтродукційного оцінювання.

Вперше представлено дев'ять вітчизняних сортів роду *Primula* L. селекції НБС НАН України ('Веснянка', 'Чумацький Шлях', 'Лісова пісня', 'Вишиванка', 'Сутінки', 'Білосніжка', 'Марі', 'Світанок', 'Ююша'), отриманих способом цілеспрямованої міжвидової гібридизації у межах секції *Primula*. Ці культивари поєднують виражені естетичні властивості з підвищеною адаптивною стійкістю проти ксеротермічного стресу. Висока декоративна стабільність та екологічна пластичність дають змогу рекомендувати їх для розширення асортименту ранньоквітучих рослин у ландшафтних композиціях різного типу в урбанізованому середовищі.

## References

- Lartey, D., Lomans, A., Zarei, S., Lomans, A., Skevich, M., & van Hasselaar, D. (2025). Key plant traits for sustainable urban greening: A framework for plant selection. *Journal of Environmental Management*, 393, Article 127065. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2025.127065>
- Tabassum, S., Beaumont, L. J., Shabani, F., Staas, L., Griffiths, G., Ossola, A., & Leishman, M. R. (2023). Which plant where: A plant selection tool for changing urban climates. *Arboriculture & Urban Forestry*, 49(4), 190–210. <https://doi.org/10.48044/jauf.2023.014>
- Vyshnevskiy, V. (2025). Climate change in Ukraine and its consequences. *Journal of Landscape Ecology*, 18(4), 150–174. <https://doi.org/10.2478/jlecol-2025-0032>
- Toscano, S., Romano, D., Lazzeri, V., Leotta, L., & Bretzel, F. (2025). How can plants used for ornamental purposes contribute to urban biodiversity? *Sustainability*, 17(9), Article 4061. <https://doi.org/10.3390/su17094061>
- Erickson, E., Patch, H. M., & Grozinger, C. M. (2021). Herbaceous perennial ornamental plants can support complex pollinator communities. *Scientific Reports*, 11(1), Article 17352. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-95892-w>
- Plants of the World Online. (2025). *Primula* L. Royal Botanic Gardens, Kew. Retrieved October 10, 2025, from <https://powo.science.kew.org/taxon/urn:lsid:ipni.org:names:30005261-2>
- Richards, J. (2003). *Primula* (2nd ed.). B.T. Batsford.
- Yan, H.-F., Liu, T.-J., Yuan, X., Xu, Y., Zhang, S.-Y., Hao, G., & Ge, X.-J. (2025). Revisiting the phylogeny of Primulaceae s.l. using whole plastid genomes: Highlighting phylogenetic conflicts and their implications. *Journal of Systematics and Evolution*, 63(4), 781–1041.
- Yang, B., Ya, J.-D., Zhang, W., Song, Y., Wang, W., Zhu, Z.-M., He, J.-H., Zuo, Y.-J., & Tan, Y.-H. (2023). Two new species of *Primula* (Primulaceae) from Yunnan, China. *Taiwania*, 68(2), 230–240. <https://doi.org/10.6165/tai.2023.68.230>
- Li, T., Chen, X., Li, B., Hua, D., Luo, C., Luo, H., Liang, Y., Yue, J., Xi, X., Huang, K., & Fu, Z. (2024). *Primula meishanensis* (Primulaceae), a new species from Sichuan, China. *PhytoKeys*, 248, 73–90. <https://doi.org/10.3897/phytokeys.248.127117>
- Hu, C. M. (1994). On the geographical distribution of the Primulaceae. *Journal of Tropical and Subtropical Botany*, 2(4), 1–14. <https://doi.org/10.3969/j.issn.1005-3395.1994.4.001>
- Valentine, D. H., & Kress, A. (1972). *Primula*. In T. G. Tutin, V. H. Heywood, N. A. Burges et al. (Eds.), *Flora Europaea: Vol. 3. Diapensiaceae to Myrsinaceae* (pp. 15–20). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.5281/ZENODO.305475>
- Fedoronchuk, M. M. (2023). Ukrainian flora checklist. 8: Familles Ebenaceae, Primulaceae (Primulales, Angiosperms), and Actinidiaceae, Ericaceae (Ericales, Angiosperms). *Chornomorski Botanical Journal*, 19(4), 341–357. <https://doi.org/10.32999/ksu1990-553X/2023-19-4-1>
- Red Book of Ukraine. (n.d.). Primulaceae. Retrieved October 10, 2025, from <https://redbook-ua.org/category/primulaceae/>
- Parkinson, J. (1629). *Paradisi in Sole Paradisus Terrestris*. Humphrey Lownes and Robert Young. <https://www.biodiversitylibrary.org/item/30647#page/253/mode/1up>
- Pereboichuk, O. P. (2018). Promising directions of breeding highly decorative domestic *Primula* cultivars in the M. M. Gryshko National Botanical Garden of the NAS of Ukraine. *Bulletin of Lviv National Agricultural University. Series: Agronomy*, 22(1), 162–167. [In Ukrainian]
- Biesbroek, R., & Delaney, A. (2020). Mapping the evidence of climate change adaptation policy instruments in Europe. *Environmental Research Letters*, 15(8), Article 083002. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab8fd1>
- von Stechow, C., McCollum, D., Riahi, K., Minx, J. C., Kriegler, E., van Vuuren, D. P., Jewell, J., Robledo-Abad, C., Hertwich, E., Tavoni, M., Mirasgedis, S., Lah, O., Roy, J., Mulugetta, Y., Dubash, N. K., Bollen, J., Ürge-Vorsatz, D., & Edenhofer, O. (2015). Integrating Global Climate Change Mitigation Goals with Other Sustainability Objectives: A Synthesis. *Annual Review of Environment and Resources*, 40(1), 363–394. <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-021113-095626>
- Central Geophysical Observatory named after Borys Sreznevskiy. (n. d.). *Climatic data for the city of Kyiv*. Retrieved October 10, 2025, from <http://cgo-sreznevskiy.kyiv.ua/uk/diialnist/klimatolohich-na/klimatychni-dani-po-kyievu>
- Bulakh, P. E. (2010). *Theory and methods of forecasting in plant introduction*. Naukova Dumka.
- Koch, E., Bruns, E., Chmielewski, F.-M., Defila, C., Lipa, K., & Menzel, A. (2011). *Guidelines for plant phenological observations* (O. Baddour & H. Kontongomde, Eds.). World Meteorological Organization.
- Royal Horticultural Society. (2015). *RHS Colour Chart* (6th ed.).
- Pereboichuk, O. P., & Kostenko, N. P. (2023). Methodology for conducting examination of varieties of the genus *Primula* L. for distinctness, uniformity and stability. In *Methodology for conducting examination of plant varieties of the ornamental group for distinctness, uniformity and stability* (pp. 703–741). [https://sops.gov.ua/uploads/page/Meth\\_DUS/2023/Method\\_decors\\_2023\\_new\\_v.2.pdf](https://sops.gov.ua/uploads/page/Meth_DUS/2023/Method_decors_2023_new_v.2.pdf)
- Ukrainian Institute for Plant Variety Examination. (n. d.). *Information and reference system "Sort"*. <http://sort.sops.gov.ua/search/search>

UDC 582.689.2:631.527:[712.253:58](477-25)

**Pereboichuk, O. P.** (2026). Domestic cultivars of *Primula* L. and breeding directions for enhancing their resistance to changing climatic conditions in the Northern Forest-Steppe of Ukraine. *Plant Varieties Studying and Protection*, 22(1), 35–46. <https://doi.org/10.21498/2518-1017.22.1.2026.357574>

*M. M. Gryshko National Botanical Garden, National Academy of Sciences of Ukraine, 1 Sadovo-Botanichna St., Kyiv, 01103, Ukraine, e-mail: fiorgy@meta.ua*

**Purpose.** To establish and substantiate the key areas of breeding for representatives of the genus *Primula* L., with the objective of increasing their resistance to xerothermic stress. A comprehensive analysis will also be carried out of the economically valuable decorative traits of new adapted domestic varieties, in the conditions of the Northern Forest-Steppe of Ukraine. **Methods.** The research was conducted between 2010 and 2025, based on the *Primula* collection fund of the M. M. Gryshko National Botanical Garden of the NAS of Ukraine. This collection includes 17 species, two subspecies, 38 varieties, and interspecific hybrids. The introductory and breeding value of the taxa was determined using a set of integral indicators of resistance, decorative stability, and phenological development parameters. Targeted and introgressive hybridisation, individual clonal selection and comparative variety testing methods were employed. **Results.** The hydrothermal regime is the limiting factor for cultivating *Primula* species in the region, with summer-autumn drought acting as the critical stressor, even with moderate irrigation. Based on a comprehensive introductory study and analysis of the ecological and biological characteristics of natural biotopes, the primary sources of resistance to regional xerothermic conditions were identified: *P. auricula* L., *P. elatior* (L.) Hill,

*P. veris* L., *P. veris* subsp. *macrocalyx* (Bunge) Lüdi, *P. vulgaris* Huds., *P. vulgaris* subsp. *rubra* (Sm.) Arcang., and *P. woronowii* Losinsk. The stages of the breeding process, which are based on generative recombination and the fixation of target traits through vegetative propagation, have been confirmed. The first domestic cultivars that combine complex resistance to abiotic and biotic stressors with high ornamental indices have been presented. **Conclusions.** It has been proven that the success of *Primula* cultivation depends on the degree of plant adaptability to xerothermic stress during the summer-autumn period. Within the studied gene pool, representatives of the section *Primula* exhibit the highest degree of adaptability. The following species with specific adaptive strategies were identified: *P. japonica* A.Gray, *P. rosea* Royle, and *P. sieboldii* E.Morren. Nine first domestic cultivars ('Viesnianka', 'Chumatskyi Shliakh', 'Lisova Pisnia', 'Vyshyvanka', 'Sutinky', 'Bilosnizhka', 'Mari', 'Svitanok', 'Yuiusha') are presented. Combining high aesthetic qualities with enhanced adaptive stability, these cultivars can be recommended for expanding the assortment of early-flowering plants in various types of landscape compositions in urban environments.

**Keywords:** xerothermic stress; adaptability; ornamental plants; introduction; floriculture; urbophytocenes.

Надійшла / Received 12.02.2026

Прийнято до друку / Accepted 20.03.2026

Опубліковано онлайн / Published online 30.03.2026

## Оцінювання врожайних властивостей насіння пшениці м'якої озимої за морфотипами зародків залежно від проведення різних агротехнічних заходів

М. М. Листуха

Миронівський інститут пшениці імені В. М. Ремесла НААН, вул. Центральна, 68, с. Центральне, Обухівський р-н, Київська обл., 08853, Україна, e-mail: l.m.m.1987@ukr.net

**Мета.** Оцінити врожайні властивості насіння нових сортів пшениці м'якої озимої миронівської селекції в умовах центральної частини Лісостепу України за морфотипами зародків залежно від попередників, строків сівби та норм добрив. **Методи.** Дослідження проводили впродовж 2021/22–2023/24 рр. на дослідних полях Миронівського інституту пшениці імені В. М. Ремесла НААН. Вивчали вплив різних норм [25, 50 і 75 кг/га діючої речовини (д. р.)] азотного добрива (КАС-32), строків сівби (перша та друга декади жовтня), попередників (соняшник, соя) на формування типів зародків і врожайних властивостей насіння сортів пшениці м'якої озимої ('МІП Ассоль', 'Естафета миронівська', 'МІП Дніпрянка'). **Результати.** Насіння досліджуваних сортів пшениці м'якої озимої формувало шість типів зародків. Значними були його частки з I та III типами, угім переважав II – 42–76% залежно від сорту, попередника, строку сівби та норм азотного живлення. Вказані чинники істотно впливали на врожайні властивості. Вони були ліпшими на 3,2% завдяки одержанню в середньому на 5% вищої частки насіння з II типом зародка після такого попередника, як соя, порівнюючи з соняшником. Щодо строків сівби, то її проведення в першу декаду жовтня, як порівняти з другою, зумовлювало утворення на 3–5% більшої кількості насіння з II типом зародка. Це сприяло підвищенню оцінки врожайних властивостей. Використання азотного добрива КАС-32 позитивно впливало на формування морфологічно повноцінного насіння, водночас збільшення норми внесення від 25 до 75 кг/га д. р. забезпечувало зростання частки насіння з II типом зародка, а отже й поліпшення врожайних властивостей. **Висновки.** Для формування високоякісного насіння з підвищеними врожайними властивостями досліджувані сорти пшениці м'якої озимої варто висівати в першу декаду жовтня після сої зі внесенням азотного добрива КАС-32 у нормі 75 кг/га д. р.

**Ключові слова:** *Triticum aestivum* L.; сорти; врожайні властивості; попередник; строк сівби; азотне добриво КАС-32.

### Вступ

Особливою галуззю сільського господарства, що окреслює рівень розвитку вітчизняного аграрного сектору економіки в сучасних умовах, є вирощування зернових культур [1]. Одна з найважливіших серед них – пшениця озима (*Triticum aestivum* L.). Вона посідає перше місце в Україні за посівними площами і вважається провідною продовольчою культурою [2]. Тому нарощування виробництва зерна пшениці в нашій держа-

ві є пріоритетним і не втрачає своєї актуальності.

За результатами досліджень встановлено, що окремі ґрунтово-кліматичні умови або їхня сукупність у певні періоди розвитку рослин, генетичний потенціал продуктивності сучасних сортів та технологія їх вирощування визначають урожайність пшениці озимої [3–5]. Для зростання її рівня, згідно з О. В. Zakhar-chuk, О. І. Zavalniuk [6], А. А. Сіроштаном та ін. [7], Н. Najjar та ін. [8], обов'язково використовувати насіння з високими посівними якістьями та найліпшими врожайними властивостями, прогнозування яких є однією з головних проблем у насінництві.

Mykhailo Lystukha

<https://orcid.org/0000-0002-6476-7521>



© The Author(s) 2026. Published by Ukrainian Institute for Plant Variety Examination. This is an open access article distributed under the terms of the license CC BY-SA 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>), which permits use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Морфологічні особливості зернівки, зокрема розвиток і будова зародка, тісно пов'язані з посівними та врожайними властивостями насіння [9]. Під час його добору для насінницьких цілей, як зазначають М. М. Гаврилюк та ін. [10], Z. Kaliniewicz та ін. [11], варто орієнтуватися не лише на абсолютні значення окремих параметрів насінини (товщину, ширину, довжину або масу), а й на їхнє співвідношення, характерне для певного сорту. Так, від співвідношення лінійних розмірів зернівки залежать розвиток рослин і формування врожайності.

Згідно з літературними даними [7, 10], насіння пшениці може утворювати кілька типів зародків. Вони різняться між собою ступенем розвитку зародкових органів, що безпосередньо впливає на енергію проростання, польову схожість і продуктивність. В. Т. Шевченко [13] визначив сім типів зародків пшениці м'якої, серед яких II тип характеризується найбільшою масою 1000 насінин, а тому може формувати рослини з вищою продуктивністю. Вона, як і висока життєздатність, властиві насінню з більш повноцінно сформованим зародком.

За результатами досліджень А. А. Сіроштан та ін. [7, 14] у нових сортів пшениці було встановлено шість типів зародків. Кожен із них відрізнявся за морфологічними та фізіологічними характеристиками, що впливало на подальший розвиток рослин. Згідно з В. В. Вишневським та ін. [15], співвідношення кількості різних типів зародків можна використовувати для опосередкованого оцінювання посівних якостей насіння.

Формування зародків значною мірою залежить від генетичних особливостей сорту, що можуть зумовлювати різну частку насіння (від загальної маси) з тими чи іншими їхніми типами [16, 17]. Виконання комплексу всіх агротехнічних заходів, а саме: сівба в оптимальні строки після правильно підбраного попередника та застосування мінеральних добрив [7, 18], створює умови для росту та розвитку рослин пшениці й формування повноцінного насіння з добре розвиненим зародком, що позитивно впливає на посівні та врожайні властивості [19]. Водночас до зниження останніх через погіршення морфологічної структури зернівки може призвести недотримання технології вирощування сортів. Крім агротехнічних чинників, на формування типів зародків та якість насіння впливають погодні умови вегетаційного періоду [20].

Отже, для отримання високоякісного насінневого матеріалу доцільно вивчати вплив різних факторів на формування морфотипів зародків у насінні нових сортів пшениці озимої.

*Мета досліджень* – оцінити врожайні властивості насіння нових сортів пшениці м'якої озимої миронівської селекції за морфотипами зародків в умовах центральної частини Лісостепу України залежно від попередників, строків сівби та норм добрив.

### Матеріали та методика досліджень

Дослідження проводили впродовж 2021/22–2023/24 рр. в умовах Миронівського інституту пшениці імені В. М. Ремесла НААН (МІП). Вивчали вплив азотного добрива [КАС-32 з нормами внесення 25 кг/га діючої речовини (д. р.), 50 кг/га д. р., 75 кг/га д. р.], строків сівби (I – перша декада жовтня, II – друга декада жовтня), попередників (соняшник, соя) на формування типів зародків і врожайних властивостей насіння сортів пшениці м'якої озимої ('МІП Ассоль', 'Естафета миронівська', 'МІП Дніпрянка'). Азотне добриво КАС-32 вносили під час фази початку кущення (ВВСН 21).

Ґрунтовий покрив – чорнозем глибокий (38–42 см), малогумусний, слабковилугований. Вміст гумусу у 20-сантиметровому шарі ґрунту становить 3,6–4,0%, легкодоступного азоту – 0,006%, фосфору – 0,025%, обмінного калію – 0,011–0,018%; рН 5,3–6,4, сума поглинутих основ – 0,23–0,29 мг-екв на 1 кг ґрунту, ступінь насичення основами – 86,2–94,4%.

Пшеницю м'яку озиму вирощували відповідно до загальноприйнятої для зони Лісостепу технології [21]. Сівбу здійснювали селекційною сівалкою СН-10 Ц із глибиною загортання 4–5 см. Норма висіву – 5 млн схожих насінин на 1 га. Облікова площа дослідних ділянок становила 10 м<sup>2</sup>. Повторність чотириразова. Зерно збирали методом прямого комбайнування («Samro-130»).

Для аналізу насіння за морфологічними ознаками зародків і визначення ступеня розвитку з огляду на їхню будову відбирали три проби по 100 насінин. Їх розділяли на фракції, використовуючи лупу, за шістьма типами зародків, зображеними на рисунку. I тип – зародок валькуватої форми, порівняно великий, опуклий, зі слабкою поперечною перемичкою посередині; II тип – верхня частина добре виповнена та нагадує крапельку не завжди правильної форми; у нижній частині – чітко виражена, найчастіше трикутна вм'ятинна, спрямована вістрям кута донизу; III тип – наявне виражене поглиблення у верхній частині, що розмежована з нижньою поперечним валиком, кінці якого не завжди з'єднуються посередині; IV тип – уздовж зародка проходить глибока, широко розкрита борозенка, без складок по довжині; V тип – верхня частина плеската, слабо піднята над

площиною щитка чи має невизначену форму, а нижня така ж сама, як у другого типу зародка; VI тип – поверхня плоска, вздовж неї проходять дві-три неглибокі борозенки.

У процесі досліджень підраховували кількість насінин кожної фракції та визначали їхній відсоток, який, згідно з методичними рекомендаціями [14], множили на відповід-

ний бал продуктивності (I типу зародка відповідали 0,2 бала, II – 1,0, III – 0,7, IV і V – 0,6, VI – 0,4 бала). Сума балів продуктивності кожного морфотипу є показником врожайних властивостей насіння [13, 14].

Аналіз отриманих експериментальних даних здійснювали за методами описової статистики [22, 23].

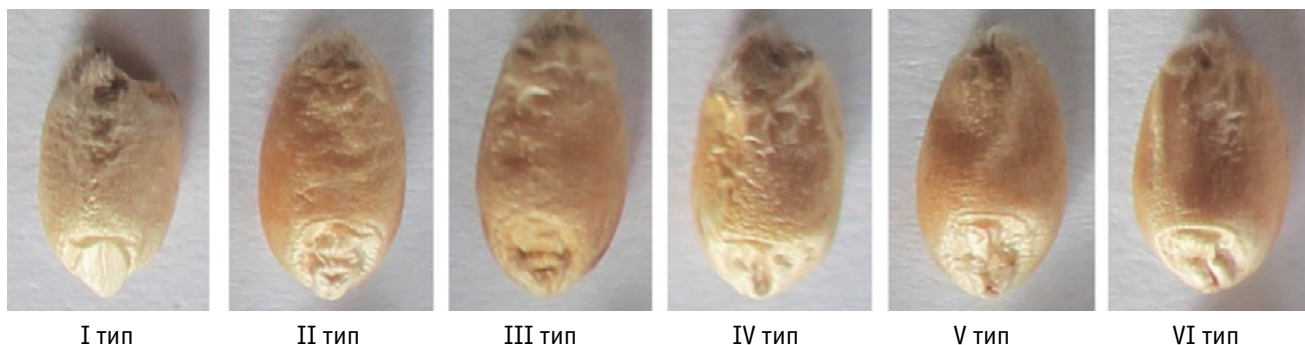


Рис. Морфологічні типи зародків пшениці

### Результати досліджень

Роки дослідження були контрастними за температурою повітря (табл. 1). Її усереднені показники у 2021/22 р. становили 9,3 °С, у 2022/23 р. – 9,7 °С, у 2023/24 р. – 11,6 °С, що перевищувало середнє багаторічне значення (СБЗ) – 8,3 °С – на 1,0–3,3 °С. Щороку в листопаді, грудні, січні, лютому, березні, червні та липні фіксували значне підвищення середньомісячної температури – на 0,8–6,5 °С від СБЗ. Також аномально теплими виявилися вересень, жовтень, квітень і липень 2023/24 р., коли перевага над усередненим багаторічним значенням становила 3,6–4,2 °С. Водночас істотне зниження показників – на 1,3–1,6 °С від СБЗ – відзначено у вересні 2021/22 та 2022/23 рр.

Досліджувані роки також характеризувалися значним варіюванням кількості опадів за

місяцями та нерівномірністю їхнього розподілу протягом року. Вегетаційний 2021/22 р. вирізнявся посушливими умовами (469 мм – 80% до СБЗ), а 2022/23-й – надмірним вологозабезпеченням (773 мм – 132% до СБЗ). У 2023/24 р. випало 544 мм атмосферної вологи, що становило 93% до СБЗ. Критично низьку кількість опадів (< 50% до СБЗ) спостерігали у вересні, лютому та березні 2021/22 р., у січні, травні та червні 2022/23 р., у серпні, вересні, травні та липні 2023/24 р.; аномально високу (≥ 150% до СБЗ) – у квітні та серпні 2021/22 р., у квітні, липні, серпні, вересні та листопаді 2022/23 р., у березні, квітні, жовтні та листопаді 2023/24 р.

За результатами досліджень виявлено, що насіння пшениці м'якої озимої формиє шість типів зародків (табл. 2–4). У сорту 'МПП Ассоль' одержано найбільшу частку насіння – 42–76% – з II типом зародка, значну – до 26% –

Таблиця 1

### Середньодобова температура повітря та кількість опадів за місяцями в період проведення досліджень

Вегетаційний рік	Місяць												За вегетаційний рік
	VIII	IX	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	
Середньодобова температура повітря, °С													
2021/22 р.	20,5	13,2	7,6	4,8	-1,1	-1,2	1,7	2,3	8,4	14,6	20,7	20,4	9,3
2022/23 р.	21,6	12,9	8,2	3,8	0,2	-0,1	-0,5	5,2	9,3	15,5	19,7	20,9	9,7
2023/24 р.	22,8	18,4	12	4,5	0,9	-1,9	3,3	4,4	13,1	15,9	21,4	24,5	11,6
R	2,3	5,5	4,4	1,0	2,0	1,8	3,8	2,9	4,7	1,3	1,7	4,1	2,3
СБЗ	19,6	14,5	8,3	2,3	-2,2	-4,4	-3,4	1,5	9,1	15,3	18,7	20,2	8,3
Кількість опадів, мм													
2021/22 р.	88	19	18	26	63	23	9	11	86	29	42	55	469
2022/23 р.	88	118	30	81	43	11	28	45	85	21	39	184	773
2023/24 р.	5	8	51	79	60	23	44	86	72	6	103	7	544
R	83	110	33	55	20	12	35	75	14	23	64	177	304
СБЗ	59	51	34	40	43	36	31	34	44	52	79	81	583

Примітка. R – розмах варіювання, СБЗ – середнє багаторічне значення.

з I та III, а найменшу – 1–6% – з VI (табл. 2). З-поміж двох попередників, як у середньому за строками сівби й різними нормами добрив, так і в розрізі досліджуваних чинників, зазначений культивар утворював більший відсоток насіння з II типом зародка після сої. Водночас після соняшнику зростала частка зародків I та III типів – у середньому на 3,2 і 2,9% відповідно, порівнюючи з соєю.

Вищу оцінку врожайних властивостей, відповідно до методики, мають партії насіння з

II типом зародка. Отже, максимальний бал для сорту 'МІП Ассоль' у цьому дослідженні отримано після сої – 80,6 проти 77,3, коли попередником був соняшник.

Щодо строків сівби, то її проведення в першій декаді жовтня (п'ятого числа), як порівняти з другою, зумовлювало в середньому на 5% більшу кількість насіння з II типом зародка після обох попередників, а відповідно й вищу оцінку врожайних властивостей вказаного сорту.

Таблиця 2

**Урожайні властивості насіння пшениці м'якої озимої сорту 'МІП Ассоль' за морфотипами зародків залежно від попередників, строків сівби та норм добрив (середнє за 2021/22–2023/24 рр.)**

Попередник	Строк сівби	Варіанти внесення різних норм добрива	Морфотипи зародків насіння, %						Оцінка врожайних властивостей	
			I	II	III	IV	V	VI	сума балів	до контролю, %
Соя	I	Контроль (без внесення)	21	50	13	8	3	5	72,1	100
		КАС-32, 25 кг/га д. р.	13	60	18	4	4	1	80,2	111
		КАС-32, 50 кг/га д. р.	8	69	14	4	3	2	85,4	118
		КАС-32, 75 кг/га д. р.	6	76	9	5	3	1	88,7	123
		Середнє	12,0	63,8	13,5	5,2	3,3	2,2	81,6	117
	II	Контроль (без внесення)	20	46	15	9	4	6	70,7	100
		КАС-32, 25 кг/га д. р.	14	56	17	4	7	2	78,1	110
		КАС-32, 50 кг/га д. р.	9	63	17	7	3	1	83,3	118
		КАС-32, 75 кг/га д. р.	8	71	14	3	2	2	86,2	122
		Середнє	12,8	59,0	15,7	5,8	4,0	2,7	79,6	116
Соняшник	I	Контроль (без внесення)	16	45	20	11	4	4	72,8	100
		КАС-32, 25 кг/га д. р.	16	55	15	7	3	4	76,1	105
		КАС-32, 50 кг/га д. р.	14	62	17	4	2	1	80,5	111
		КАС-32, 75 кг/га д. р.	10	68	15	4	2	1	84,5	116
		Середнє	14	57,5	16,8	6,5	2,7	2,5	78,5	110
	II	Контроль (без внесення)	26	42	23	2	4	3	68,1	100
		КАС-32, 25 кг/га д. р.	17	53	16	8	4	2	75,6	111
		КАС-32, 50 кг/га д. р.	15	57	17	6	3	2	78,3	115
		КАС-32, 75 кг/га д. р.	11	63	17	6	2	1	82,5	121
		Середнє	17,3	53,8	18,2	5,5	3,2	2,0	76,1	115
НІР <sub>0,05</sub>								2,5	4	

Встановлено, що використання добрива КАС-32 на посівах пшениці м'якої озимої 'МІП Ассоль' також сприяло формуванню насіння з II типом зародка, а пропорційне зростання його частки проти контролю після обох попередників і за двох строків сівби відбувалося завдяки збільшенню норми внесення від 25 до 75 кг/га д. р.

Отже, максимальну частку насіння з II типом зародка (86%) й вищу оцінку врожайних властивостей (88,7 бала) для сорту 'МІП Ассоль' одержано після такого попередника, як соя, за першого строку сівби й норми внесення добрива КАС-32, що становила 75 кг/га д. р.

У сорту пшениці м'якої озимої 'Естафета миронівська' також відзначено найбільшу кількість насіння (43–73%) з II типом зародка, значну (до 28%) – з I та III, а найменшу (1–7%) – з VI (табл. 3).

З огляду на всі досліджувані фактори, максимальну частку насіння з II типом зародка, а тому й на 0,5–3,6 бала вищу оцінку врожайних властивостей у вказаного сорту одержано

після такого попередника, як соя, порівнюючи з соняшником. За першого строку сівби, як порівняти з другим, після сої відмічено в середньому на 5% більшу кількість насіння з II типом зародка та на 71,4–87,5 бала вищу оцінку врожайних властивостей; після соняшнику – на 3% та 67,8–85,3 бала відповідно.

Різні норми внесення добрива КАС-32 на посівах пшениці м'якої озимої 'Естафета миронівська' зумовлювали суттєве збільшення часток насіння з II і III типами зародків (у середньому на 12%) та значне зменшення (на 4–21%) – з I типом. Отже, вказаний сорт формував максимальну кількість насіння з II типом зародка (73%) та вищу оцінку врожайних властивостей (87,5 бала) після такого попередника, як соя, за першого строку сівби та норми внесення добрива КАС-32, що становила 75 кг/га д. р.

Як і в попередніх варіантах, у сорту 'МІП Дніпрянка' (табл. 4) зафіксовано найбільшу частку насіння з II типом зародка – 44–72%, а найменшу – в середньому 2,6% – з VI типом. У розрізі строків сівби та різних норм добрив

Таблиця 3

**Урожайні властивості насіння пшениці м'якої озимої сорту 'Естафета миронівська' за морфотипами зародків залежно від попередників, строків сівби та норм добрив (середнє за 2021/22–2023/24 рр.)**

Попередник	Строк сівби	Варіанти внесення різних норм добрива	Морфотипи зародків насіння, %						Оцінка врожайних властивостей	
			I	II	III	IV	V	VI	сума балів	до контролю, %
Со́я	I	Контроль (без внесення)	22	50	12	6	5	5	71,4	100
		КАС-32, 25 кг/га д. р.	18	57	17	4	2	2	76,9	108
		КАС-32, 50 кг/га д. р.	11	64	17	4	2	2	82,3	115
		КАС-32, 75 кг/га д. р.	7	73	13	5	1	1	87,5	123
		Середнє	14,5	61,0	14,7	4,7	2,5	2,6	79,5	115
	II	Контроль (без внесення)	25	47	6	11	16	5	74,4	100
		КАС-32, 25 кг/га д. р.	17	53	17	5	6	2	75,7	102
		КАС-32, 50 кг/га д. р.	13	58	23	3	2	1	80,1	108
		КАС-32, 75 кг/га д. р.	9	67	20	2	1	1	85,0	114
		Середнє	14,0	56,2	16,4	5,2	6,0	2,2	78,8	108
Со́няшник	I	Контроль (без внесення)	28	48	10	4	5	5	67,8	100
		КАС-32, 25 кг/га д. р.	16	51	19	9	3	2	76,1	112
		КАС-32, 50 кг/га д. р.	12	56	24	5	2	1	79,6	117
		КАС-32, 75 кг/га д. р.	7	65	21	4	2	1	85,3	125
		Середнє	15,7	55,0	18,5	5,5	3,0	2,3	77,2	118
	II	Контроль (без внесення)	24	43	6	12	8	7	67,0	100
		КАС-32, 25 кг/га д. р.	15	49	20	10	4	2	75,2	112
		КАС-32, 50 кг/га д. р.	12	56	16	11	3	2	78,8	118
		КАС-32, 75 кг/га д. р.	7	59	25	7	1	1	83,1	124
		Середнє	14,7	51,6	16,7	10,0	4,0	3,0	76,0	118
НІР <sub>0,05</sub>								2,5	4	

максимальну кількість насіння з II типом зародка вказаний культивар із-поміж двох попередників формував після сої. Натомість після соняшнику зростала частка зародків I типу – в середньому на 3,7%, як порівняти з соєю. Отже, вищу оцінку врожайних властивостей також одержано після сої – 79,2 проти 75,7 бала, коли попередником був соняшник.

Щодо строків сівби, то її проведення 5 жовтня, як порівняти з 10-м числом того самого місяця, після обох попередників зумовлювало в середньому на 5% більшу частку насіння

з II типом зародка, а відповідно, й вищу оцінку врожайних властивостей.

Використання добрива КАС-32 на посівах сорту 'МІП Дніпрянка' також сприяло формуванню більшої частки насіння з II типом зародка, а підвищення норми внесення від 25 до 75 кг/га д. р. – пропорційному її зростанню проти контролю (після обох попередників і за двох строків сівби).

Отже, максимальну частку насіння з II типом зародка (72%) й найвищу оцінку врожайних властивостей (88,5 бала) для сорту 'МІП

Таблиця 4

**Урожайні властивості насіння пшениці м'якої озимої сорту 'МІП Дніпрянка' за морфотипами зародків залежно від попередників, строків сівби та норм добрив (середнє за 2021/22–2023/24 рр.)**

Попередник	Строк сівби	Варіанти внесення різних норм добрива	Морфотипи зародків насіння, %						Оцінка врожайних властивостей	
			I	II	III	IV	V	VI	сума балів	до контролю, %
Со́я	I	Контроль (без внесення)	22	50	16	4	4	4	72,0	100
		КАС-32, 25 кг/га д. р.	12	60	20	5	2	1	81,0	112
		КАС-32, 50 кг/га д. р.	10	65	18	4	2	1	83,6	116
		КАС-32, 75 кг/га д. р.	7	72	15	3	2	1	88,5	123
		Середнє	12,8	61,8	17,3	4,0	2,5	1,6	81,3	117
	II	Контроль (без внесення)	22	45	15	5	5	8	69,3	100
		КАС-32, 25 кг/га д. р.	17	54	16	5	6	2	76,5	110
		КАС-32, 50 кг/га д. р.	11	60	21	4	3	1	81,5	117
		КАС-32, 75 кг/га д. р.	11	64	19	3	2	1	82,9	120
		Середнє	15,3	55,7	17,7	4,3	4,0	3,0	77,6	116
Со́няшник	I	Контроль (без внесення)	21	47	15	7	5	5	70,9	100
		КАС-32, 25 кг/га д. р.	15	55	15	7	5	3	76,9	108
		КАС-32, 50 кг/га д. р.	14	59	20	3	2	2	79,6	112
		КАС-32, 75 кг/га д. р.	10	64	19	3	2	2	83,1	117
		Середнє	15,0	56,3	17,2	5,0	3,5	3,0	77,6	112
	II	Контроль (без внесення)	26	44	15	5	5	5	67,7	100
		КАС-32, 25 кг/га д. р.	21	50	16	6	5	2	72,7	107
		КАС-32, 50 кг/га д. р.	18	55	15	5	4	3	75,7	112
		КАС-32, 75 кг/га д. р.	17	60	16	3	3	1	78,6	116
		Середнє	20,5	52,3	15,5	4,7	4,3	2,7	73,7	112
НІР <sub>0,05</sub>								2,5	3	

Дніпрянка' одержано після такого попередника, як соя, за першого строку сівби й норми внесення добрива КАС-32, що становила 75 кг/га д. р.

У середньому за попередниками, строками сівби та різними нормами добрив не виявлено суттєвих відмінностей між урожайними властивостями сортів пшениці м'якої озимої. Їхню найвищу оцінку продемонстрував 'МПП Ассоль' – 78,9 бала, водночас в 'Естафети миронівської' та 'МПП Дніпрянка' ця ознака була на рівні 77,9 та 77,5 бала відповідно.

За результатами дисперсійного аналізу експериментальних даних встановлено такі

частки впливу різних чинників на врожайні властивості пшениці м'якої озимої: живлення (норм внесення добрив) – 79,96% (визначальний вплив), попередника – 8,02%, строку сівби – 3,85% (табл. 5). Незначним, але статистично достовірним ( $p \leq 0,05$ ) був ефект року – 0,82%, а також сорту – 0,88%. Відмічено найвищі частки взаємодії чинників сорт  $\times$  строк сівби (1,23%) та сорт  $\times$  попередник  $\times$  живлення (2,03%). Низький, але достовірний вплив року та сорту вказує на стабільність ознаки й переважання дії інших факторів у формуванні врожайних властивостей насіння пшениці озимої.

Таблиця 5

**Результати дисперсійного аналізу оцінки врожайних властивостей насіння пшениці м'якої озимої**

Джерело варіації	SS	df	MS	F <sub>факт.</sub>	p	Частка впливу, %
Рік (A)	123,63	2	61,8	891,6	0,000000	0,82
Сорт (B)	131,48	2	65,7	948,3	0,000000	0,88
Попередник (C)	1202,67	1	1202,7	17347,3	0,000000	8,02
Строк сівби (D)	576,85	1	576,9	8320,6	0,000000	3,85
Живлення (E)	11983,18	3	3994,4	57615,3	0,000000	79,96
A $\times$ B	4,17	4	1,0	15,0	0,000000	0,03
A $\times$ C	1,80	2	0,9	13,0	0,000004	0,01
B $\times$ C	21,50	2	10,8	155,1	0,000000	0,14
A $\times$ D	1,00	2	0,5	2,3	0,100121	0,01
B $\times$ D	184,67	2	92,3	1331,8	0,000000	1,23
C $\times$ D	12,07	1	12,1	174,1	0,000000	0,08
A $\times$ E	1,10	6	0,2	2,6	0,016752	0,01
B $\times$ E	87,52	6	14,6	210,4	0,000000	0,58
C $\times$ E	40,27	3	13,4	193,6	0,000000	0,27
D $\times$ E	39,36	3	13,1	189,3	0,000000	0,26
A $\times$ B $\times$ C	1,77	4	0,4	6,4	0,000063	0,01
A $\times$ B $\times$ D	1,63	4	0,4	5,9	0,000150	0,01
A $\times$ C $\times$ D	1,86	2	0,9	13,4	0,000003	0,01
B $\times$ C $\times$ D	1,22	2	0,6	8,8	0,000199	0,01
A $\times$ B $\times$ E	15,37	12	1,3	18,5	0,000000	0,10
A $\times$ C $\times$ E	7,26	6	1,2	17,4	0,000000	0,05
B $\times$ C $\times$ E	304,57	6	50,8	732,2	0,000000	2,03
A $\times$ D $\times$ E	4,69	6	0,8	11,3	0,000000	0,03
B $\times$ D $\times$ E	67,76	6	11,3	162,9	0,000000	0,46
C $\times$ D $\times$ E	51,86	3	17,3	249,3	0,000000	0,35
A $\times$ B $\times$ C $\times$ D	8,54	4	2,1	30,8	0,000000	0,06
A $\times$ B $\times$ C $\times$ E	14,80	12	1,2	17,8	0,000000	0,10
A $\times$ B $\times$ D $\times$ E	15,46	12	1,3	18,6	0,000000	0,10
A $\times$ C $\times$ D $\times$ E	19,45	6	3,2	46,7	0,000000	0,13
B $\times$ C $\times$ D $\times$ E	31,23	6	5,2	75,1	0,000000	0,21
A $\times$ B $\times$ C $\times$ D $\times$ E	8,26	12	0,7	9,9	0,000000	0,06
Невраховані чинники	19,97	288	0,1	–	–	0,13

**Примітка.** SS – сума квадратів, df – кількість ступенів свободи, MS – середній квадрат, F<sub>факт.</sub> – критерій Фішера, фактичне значення, p – рівень статистичної значущості.

Отже, отримані результати пояснюються тим, що азотне живлення відіграє провідну роль у формуванні повноцінного зародка, попередник соя поліпшує живлення рослин, а сівба в першу декаду жовтня створює сприятливіші умови для росту.

Усе це разом зумовлює більше накопичення поживних речовин і формування насіння з вищими врожайними властивостями.

## Висновки

Виявлено, що в досліджуваних сортах пшениці м'якої озимої переважає насіння з II типом зародка – 42–76% загальної маси залежно від сорту, попередника, строку сівби та норм азотного живлення. Також значними є частки I та III типів. Встановлено визначальний вплив норм внесення добрив (79,96%) і помірний – попередника (8,02%) та строку

сівби (3,85%) на формування врожайних властивостей насіння.

Більшу частку насіння з II типом зародка (в середньому на 5%), а отже, й вищу оцінку врожайних властивостей (на 3,2%) для всіх досліджуваних сортів одержано після такого попередника, як соя, порівнюючи з соняшником.

За сівби в першу декаду жовтня, як порівняти з другою, відзначено на 3–5% більшу кількість насіння з II типом зародка. Це сприяє підвищенню оцінки врожайних властивостей.

З'ясовано, що використання азотного добрива КАС-32 позитивно впливає на формування морфологічно повноцінного насіння. Збільшення норми внесення від 25 до 75 кг/га д. р. зумовлює зростання частки насіння з II типом зародка після обох попередників та за різних строків сівби, а відповідно, й поліпшення врожайних властивостей.

Отже, для формування високоякісного насіння з підвищеними врожайними властивостями досліджувані сорти пшениці м'якої озимої варто висівати у першу декаду жовтня після сої зі внесенням азотного добрива КАС-32 у нормі 75 кг/га д. р.

## References

- Riabokon, V. P. (2021). Socio-economic conditions of agricultural sector development. *Ekonomika APK*, 28(2), 6–14. <https://doi.org/10.32317/2221-1055.202102006> [In Ukrainian]
- Prysiashniuk, O., Kononiuk, N., Cherniak, M., Musich, V., Kachura, Y., Prytula, O., Voievoda, L., & Honcharuk, O. (2025). Agroecological aspects of zonal application of fertilizers and pesticides in wheat cultivation in the Forest-Steppe of Ukraine. *Ecological Engineering & Environmental Technology*, 26(5), 146–162. <https://doi.org/10.12912/27197050/203075>
- Dutova, H. A., Kyienko, Z. B., & Pavliuk, N. V. (2024). Yield and quality of new varieties of soft winter wheat (*Triticum aestivum* L.) under different soil and climatic conditions. *Plant Varieties Studying and Protection*, 20(4), 227–233. <https://doi.org/10.21498/2518-1017.20.4.2024.321923> [In Ukrainian]
- Wang, D., Li, Y., Zhang, B., Jiang, T., Wu, S., Wu, W., Li, Y., He, J., Liu, D., Dong, Q., & Feng, H. (2025). Explore the evolution of winter wheat production and its response to climate change under varying precipitation years in the Loess Plateau of China. *Agricultural Water Management*, 309, Article 109335. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2025.109335>
- Markovska, O., & Hrechyshkina, T. (2020). Winter wheat varieties productivity of on elements of growing technology under the conditions of Southern Step of Ukraine. *Agrobiologia*, 1, 96–103. <https://doi.org/10.33245/2310-9270-2020-157-1-96-103> [In Ukrainian]
- Zakharchuk, O. V., & Zavalniuk, O. I. (2020). Seeds and planting material as an innovative crop product. *Ekonomika APK*, 1, 82–94. <https://doi.org/10.32317/2221-1055.202001082>
- Siroshtan, A. A., Kavunets, V. P., & Ilchenko, L. I. (2019). Yielding properties of bread winter wheat seeds depending on morphotypes of embryos and the influence of hydrothermal conditions and preceding crops on them. *Myronivka Bulletin*, 8, 25–32. <https://doi.org/10.31073/mvis201908-03> [In Ukrainian]
- Najjar, H., Miranda, M., Nuske, M., Roscher, R., & Dengel, A. (2025). Explainability of sub-field level crop yield prediction using remote sensing. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 18, 4141–4161. <https://doi.org/10.1109/JSTARS.2025.3528068>
- Chaichi, M., Nemati, A., Dadrasi, A., Heydari, M., Hassanisaadi, M., Yousefi, A. R., Baldwin, T. C., & Mastinu, A. (2022). Germination of *Triticum aestivum* L.: effects of soil–seed interaction on the growth of seedlings. *Soil Systems*, 6(2), Article 37. <https://doi.org/10.3390/soilsystems6020037>
- Havryliuk, M. M., Sokolov, V. M., & Zhemoida, V. L. (2018). *Practical seed production and seed science of agricultural plants*. V. V. Morgun (Ed). TVORY. [In Ukrainian]
- Kaliniewicz, Z., Choszcz, D., & Lipiński, A. (2022). Determination of seed volume based on selected seed dimensions. *Applied Sciences*, 12(18), Article 9198. <https://doi.org/10.3390/app12189198>
- Demydov, O. A., Siroshstan, A. A., Kavunets, V. P., Derhachov, O. L., Ilchenko, L. I., & Zabolotnyi, V. I. (2017). The influence of environmental conditions and predecessors on yielding capacity, sowing quality and crop properties of winter wheat seeds. *Myronivka Bulletin*, 5, 152–165. <https://doi.org/10.31073/mvis201705-12> [In Ukrainian]
- Shevchenko, V. T. (1974). Morphological and biological studies of common wheat embryos in light of the theory of seed quality heterogeneity. In *Biology and technology of seeds* (pp. 209–210). Kharkiv.
- Siroshtan, A. A., Kavunets, V. P., Dergachev, O. L., Zaima, O. A., & Kliachenko, L. I. (2021). *Improved methodology for evaluating the yield properties of seeds of winter and spring wheat varieties bred at Myronivka based on morphological features of embryos (methodological recommendations)*. H. D. Voloshchuk (Ed.). The V. M. Remeslo Myronivka Institute of Wheat of NAAS of Ukraine [In Ukrainian]
- Vyshnevskiy, V. V., Kindruk, M. O., Pavliuchenko, S. O., & Vyshnevskaya, A. M. (2012). Optimization of on-farm control of winter wheat seed cultivation. *Ukrainian Farmer's Manual*, 2, 64–66. [In Ukrainian]
- Ilchenko, L. I., & Siroshstan, A. A. (2017). Yield properties of soft winter wheat seeds based on embryo morphotypes. In *Breeding, genetics and growing technologies for agricultural crops* (p. 62). The V. M. Remeslo Myronivka Institute of Wheat of NAAS of Ukraine [In Ukrainian]
- Alam, B., Ullah, I., Ullah, F., Khan, I. U., Aslam, M. A., Zahid, G., Begum, S., Errum, A., Amin, F., Ikram, R., Murtaza, M., Jabeen, F., Yaseen, E., Ali, G. M., & Khattak, S. H. (2025). Morphological and yield characterization of different wheat genotypes. *Journal of Agriculture and Veterinary Science*, 4(2), 151–157.
- Kavunets, V. P., & Kochmarskyi, V. S. (2011). *Winter wheat seed production*. The V. M. Remeslo Myronivka Institute of Wheat of NAAS of Ukraine [In Ukrainian]
- Agacka-Moldoch, M., Jończyk, K., Bocianowski, J., & Börner, A. (2026). The effect of different crop production systems on seed germination and longevity in winter wheat (*Triticum aestivum* L.). *Agronomy*, 16(2), Article 260. <https://doi.org/10.3390/agronomy16020260>
- Demydov, O. A., & Siroshstan, A. A. (2018). Influence of ecological and agrotechnical conditions on yield and sowing quality of winter wheat seeds. *Agroecological Journal*, 1, 74–80. <https://doi.org/10.33730/2077-4893.1.2018.160564> [In Ukrainian]
- Demydov, O. A., Siroshstan, A. A., Kavunets, V. P., Derhachov, O. L., Zaima, O. A., Tsentylo, L. V., Lystukha, M. M., Kalitsinska, O. B., Pravdziva, I. V., Maleonchuk, O. V., Diachenko, L. V., & Los, R. M. (2023). *Technology of growing winter wheat seeds (Guidelines)* (A. A. Siroshstan & V. P. Kavunets, Eds.). The V. M. Remeslo Myronivka Institute of Wheat of NAAS of Ukraine. [https://mip.com.ua/images/2024/Vudavnucha/Technologia\\_vyroshcuvannya\\_nasinna\\_pshenytsya\\_ozyma.pdf](https://mip.com.ua/images/2024/Vudavnucha/Technologia_vyroshcuvannya_nasinna_pshenytsya_ozyma.pdf) [In Ukrainian]
- Griffith, B., & Friesen, L. (2021). *Boundless statistics for organizations*. Oklahoma. <https://dlib.hust.edu.vn/bitstream/HUST/22911/1/OER00002117-1.pdf>
- Pedchenko, N., Birta, G., Karpenko, N., Strilets, V., & Ivannikova, M. (2024). Mathematical methods and methods of statistical information processing in scientific research methodology. *Scientific Bulletin of PUET: Economic Sciences*, 3, 89–95. <https://doi.org/10.37734/2409-6873-2024-3-12> [In Ukrainian]

UDC 633.111.1:631.5:631.84

**Lystukha, M. M.** (2026). Assessment of the yield characteristics of soft winter wheat seeds based on embryo morphotypes, depending on the implementation of various agronomic practices. *Plant Varieties Studying and Protection*, 22(1), 47–54. <https://doi.org/10.21498/2518-1017.22.1.2026.357582>

*The V. M. Remeslo Myronivka Institute of Wheat, NAAS of Ukraine, 68 Tsentralna St., Tsentralne village, Obukhiv district, Kyiv region, 08853, Ukraine, e-mail: l.m.m.1987@ukr.net*

**Purpose.** To evaluate the yield potential of seeds from new varieties of soft winter wheat developed by the Myronivka breeding program under conditions in the central part of the Forest-Steppe zone of Ukraine, based on embryo morphotypes and taking into account preceding crops, sowing dates, and fertilizer rates. **Methods.** The study was conducted from 2021/22 to 2023/24 in the experimental fields of the V. M. Remeslo Myronivka Institute of Wheat of the NAAS. It examined how different application rates of nitrogen fertiliser (UAN-32) – 25, 50 and 75 kg/ha of active ingredient (AI) – as well as sowing dates (the first and second decades of October) and preceding crops (sunflower and soybean), affected the formation of embryo types and the yield characteristics of soft winter wheat varieties ('MIW Assol', 'Estafeta Myronivska' and 'MIW Dniprianka'). **Results.** The seeds of the winter soft wheat varieties under study produced six types of embryo. Types I and III were significant in proportion, but type II predominated, accounting for 42–76% depending on variety, preceding crop, sowing date, and nitrogen application rates. These factors significantly

impacted yield characteristics. Yields were 3.2% higher when a soybean preceding crop was used, compared to a sunflower one, due to an average 5% higher proportion of seeds with embryo type II. Regarding sowing dates, sowing within the first ten days of October compared to the second ten days resulted in a 3–5% higher proportion of seeds with type II embryos. This contributed to an improvement in yield characteristics. Using the nitrogen fertiliser UAN-32 positively affected the formation of morphologically sound seeds. Increasing the application rate from 25 to 75 kg/ha of active ingredient also increased the proportion of seeds with embryo type II and consequently improved yield characteristics. **Conclusions.** To produce high-quality seeds with improved yield characteristics, the winter soft wheat varieties under study should be sown within the first ten days of October, after a soybean crop. UAN-32 nitrogen fertiliser should be applied at a rate of 75 kg/ha of active ingredient.

**Keywords:** *Triticum aestivum L.*; varieties; yield properties; precrop; sowing date; nitrogen fertilizer UAN-32.

*Надійшла / Received 19.01.2026*

*Прийнято до друку / Accepted 16.03.2026*

*Опубліковано онлайн / Published online 30.03.2026*

УДК 633.11«324»:581.48:631.526

# Тривалість періоду післязбирального дозрівання насіння пшениці озимої

А. А. Сіроштан<sup>1</sup>, О. А. Заїма<sup>1\*</sup>, В. П. Кавунець<sup>1</sup>, О. Л. Дергачов<sup>1</sup>, С. С. Коляденко<sup>2</sup>

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

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

**Мета.** Встановити тривалість періоду післязбирального дозрівання насіння залежно від особливостей нових сортів пшениці м'якої та твердої озимої. **Методи.** Дослідження проводили впродовж 2024–2025 рр. Вивчали два сорти пшениці твердої озимої та сім м'якої озимої, вирощені після такого попередника, як соя. **Результати.** За результатами аналізу експериментальних даних встановлено, що пшениця м'яка озима, як порівняти з твердою озимією, характеризується значно тривалішим періодом післязбирального дозрівання. Динаміка проростання насіння протягом перших трьох діб була дуже низькою (0–4%). Це свідчить про фізіологічний стан спокою зерна одразу після збирання. Утім якщо в пшениці м'якої озимої пророслих насінин не спостерігали й на п'яту-сьому добу, то у твердої озимої вже на п'яту їхня частка становила 56–58%. Стан спокою більшості сортів пшениці м'якої озимої тривав 40–50 діб. Коротким він був у 'МІП Феєрії' та 'Бурштин' – на 30-ту добу в них проростало понад 50% від усього насіння. Сортами з довгочасним періодом післязбирального дозрівання можна вважати 'МІП Ауріку', 'МІП Аеліту', 'МІП Довіру', 'МІП Паляницю миронівську' та 'МІП Стефанію'. Найкоротшим періодом спокою – приблизно 40 діб – відзначився 'Бурштин', а найтривалішим – понад 60 діб – 'МІП Ауріка' та 'МІП Аеліта'. У досліджуваних сортів пшениці твердої озимої 'МІП Лакомка' та 'Дуняша' на третю добу зафіксовано 2 та 4% пророслих насінин, а вже на п'яту – 79 та 74% відповідно. Це свідчить про менш тривалий, ніж у пшениці м'якої озимої, процес післязбирального дозрівання. **Висновки.** Процеси дозрівання насіння характеризуються видовою та сортовою специфічністю. Зокрема, у більшості сортів пшениці м'якої озимої період післязбирального дозрівання становив 40–50 діб, а у твердої озимої – приблизно 15 діб. Найкоротшим періодом спокою відзначилися сорти пшениці твердої озимої 'МІП Лакомка' та 'Дуняша', а з-поміж сортів пшениці м'якої озимої – 'Бурштин'; найдовшим – понад 60 діб – 'МІП Ауріка' та 'МІП Аеліта'. Необхідно зважати на тривалість післязбирального дозрівання кожного сорту, щоб встановити біологічно обґрунтовані строки збирання. Це сприятиме мінімізації втрат урожаю та підвищенню ефективності вирощування насіння.

**Ключові слова:** лабораторна схожість; період спокою насіння; проростання насіння; сорти пшениці м'якої та твердої озимої.

## Вступ

На врожайність та якість пшениці озимої впливають генетичні особливості [1], умови культивування [2, 3] та методи ведення сільськогосподарства [4]. За вирощування сучасних адаптованих сортів в оптимальному середовищі можна отримати максимальні врожаї [5]. Останні в окремі роки більше залежать від чинників довкілля, ніж від генетичних особливостей [6]. Окрім екологічних і

генетичних факторів, у формуванні вказаних показників дедалі важливішу роль відіграють методи управління посівами – час сівби, внесення добрив і застосування пестицидів [7–9].

Сортові ресурси, важливість яких встановлено численними науковими дослідженнями [10–12], значною мірою зумовлюють підвищення потенціалу врожайності пшениці. Разом із впровадженням нових інтенсивних сортів та вдосконаленням технології їх вирощування, зростання врожайності зернових культур на 20–25% залежить від використання високоякісного насіння під час сівби [13].

Тривалість періоду післязбирального дозрівання насіння частково впливає на формування його посівних якостей і врожайних властивостей [14]. Водночас однією з причин втрати врожаю та зниження якості зернових культур є передзбиральне проростання [15–17]. Хоча воно генетично детерміноване, але для його виникнення необхідні специфічні фактори навколишнього середовища [18–20].

Andrii Siroshstan

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

Oleksii Zaima

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

Valerii Kavunets

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

Oleksandr Dergachov

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

Svitlana Koliadenko

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



© The Author(s) 2026. Published by Ukrainian Institute for Plant Variety Examination. This is an open access article distributed under the terms of the license CC BY-SA 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>), which permits use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Стійкість проти цього явища сильно залежить від взаємодії генетичних, біохімічних і молекулярних чинників, тісно пов'язаних з умовами вирощування.

Період спокою зерна є основним генетично контрольованим фактором, що безпосередньо впливає на передчасне проростання [21]. Певний рівень первинного спокою вважається позитивною ознакою, оскільки захищає насіння від проростання ще до збирання врожаю. Тривалість вказаного періоду залежить від низки чинників – температури й вологості, кількості та тривалості опадів (особливо на етапі від воскової стиглості зерна до обмолоту), морфологічних особливостей зерен [22–24]. Завдяки прохолодним температурам під час дозрівання зерна, насіння довше перебуває в стані спокою, що забезпечує сильніший захист від передчасного проростання [25].

Селекцію на тривалість первинного (післязбирального) спокою насіння [26] вважають основним заходом для зменшення ризику його небажаного проростання у колосі. Дослідження нових сортів пшениці м'якої та твердої озимої у розрізі цього питання є актуальним і має велике практичне значення.

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

### Матеріали та методика досліджень

Дослідження проводили протягом 2024–2025 рр. згідно з Методикою державного сортопробування [27]. Вивчали два сорти пшениці твердої озимої ('Дуняша', 'МПП Лаконка') та сім – м'якої озимої ('МПП Аеліта', 'МПП Ауріка', 'МПП Довіра', 'Бурштин', 'МПП Паляниця миронівська', 'МПП Стефанія', 'МПП Феєрія'), вирощені після такого попередника, як соя. Сівбу здійснювали на дослідних ділянках у чотириразовій повторності, використовуючи сівалку СН-10Ц. Норма висіву становила 5 млн схожих насінин на 1 га. Агротехніка в досліді була загальноприйнятною для Лісостепу України.

На початку фази твердої стиглості зерна з посівів відбирали по 50 колосів кожного сорту. Після обмолоту зерно просіювали на решеті (1,7 × 20 мм) та розкладали по 100 штук одержаних насінин на піщане ложе вологістю до 60% від повної вологом'єсткості, стерилізоване за температури 130 °С протягом години. Повторність – чотириразова. Ростильні поміщали в термостат із постійною температурою +20 °С, а потім (з певним інтервалом діб) підраховували кількість пророслого насіння. Далі визначали його посівні якості:

активність кільчення – за методикою М. М. Макрушина [28]; енергію проростання, лабораторну схожість тощо – за ДСТУ 4138-2002 [29].

Для аналізу гідротермічного режиму років проведення досліджень використовували дані Миронівської агрометеостанції. Отримати об'єктивні результати вдалося, оскільки вегетаційний період пшениці озимої (2024–2025 рр.) був мінливим за показниками кількості опадів і температури повітря. Її середнє значення у серпні 2023-го – липні 2024 р. на 2,6 °С перевищувало усереднене багаторічне і становило 11,6 °С (табл. 1).

Таблиця 1

Температурні умови впродовж вегетаційних періодів пшениці озимої (°С), 2023/24 та 2024/25 рр.

Місяць	багаторічна	2023/2024 р.		2024/2025 р.	
		фактична	±*	фактична	±*
Серпень	20,7	22,8	2,1	22,5	1,8
Вересень	14,8	18,4	3,6	19,8	5,0
Жовтень	8,9	12,0	3,1	11,2	2,3
Листопад	2,7	4,5	1,8	2,7	0,0
Грудень	-1,5	0,9	2,4	0,2	1,7
Січень	-3,5	-1,9	1,6	2,3	5,8
Лютий	-1,9	3,3	5,2	-3,6	-1,7
Березень	2,5	4,4	1,9	7,1	4,6
Квітень	10,0	13,1	3,1	10,9	0,9
Травень	15,8	15,9	0,1	13,8	-2,0
Червень	19,6	21,4	1,8	19,3	-0,3
Липень	21,4	24,5	3,1	22,9	1,5
За рік	9,1	11,6	2,5	10,8	1,6

\* різниця до багаторічної.

Із серпня 2023-го до липня 2024 р. сумарно зафіксовано 543 мм опадів (92% від середньої багаторічної кількості) (табл. 2).

Таблиця 2

Кількість опадів упродовж вегетаційних періодів пшениці озимої (мм), 2023/2024 та 2024/25 рр.

Місяць	багаторічна	2023/2024 р.		2024/2025 р.	
		фактична	±*	фактична	±*
Серпень	51	5	-46	45	-5
Вересень	55	8	-47	5	-50
Жовтень	40	51	10	90	49
Листопад	43	79	36	52	9
Грудень	43	60	17	59	16
Січень	36	23	-13	18	-18
Лютий	33	44	11	8	-24
Березень	37	86	50	12	-25
Квітень	45	72	27	27	-18
Травень	49	6	-43	60	12
Червень	84	103	18	19	-65
Липень	75	7	-68	61	-14
За рік	590	543	-47	455	-135

\* різниця до багаторічної.

Середньомісячна температура вегетаційного року була більшою за усереднену багаторічну на 0,2–5,5 °С. Протягом весняно-літ-

нього періоду це перевищення становило 0,2–3,3 °С, досягаючи максимальних значень – 3,2 та 3,3 °С відповідно – у квітні та липні.

Час відновлення вегетації пшениці озимої в березні та квітні характеризувався достатньою, відповідно на 50 та 27 мм більшою за багаторічну норму кількістю опадів. Натомість їхня нестача (12 і 10% від усередненого багаторічного значення) була властива травню та липню. Червень відрізнявся вищим рівнем зволоження – 103 мм, що на 18 мм переважало норму. Кількість опадів в деякі періоди вегетації здебільшого поступалася середній багаторічній і лише на етапах сходів – припинення вегетації, відновлення вегетації – виходу в трубку, молочної стиглості – обмолоту перевищувала її. Оподи мали зливовий характер, і це погіршило їх акумуляцію ґрунтом. За показником вологозабезпечення 2023/24-й належав до вегетаційних років із сильною посухою (ГТК = 0,48). У весняно-літній період ГТК становив 0,1–0,37. Лише в червні його значення досягнуло 1,59, що означало оптимальні умови зволоження.

Усереднена температура повітря протягом серпня 2024-го – липня 2025 р. становила

10,8 °С, що на 1,6 °С більше за багаторічну норму. Щодо середньомісячних показників весняно-літнього періоду вегетації, то в травні та червні вони поступалися багаторічним на 2,0 і 0,3 °С відповідно, а в інший час переважали їх на 0,9–4,6 °С.

Із серпня 2024-го до липня 2025 р. сумарно зафіксовано 455 мм опадів (на 135 мм менше від норми). Їхню нестачу спостерігали у весняно-літній період вегетації, коли показники були нижчими за багаторічні на 14–25 мм. Лише у травні випало 60 мм атмосферної вологи, що перевищувало норму на 12 мм. За показником вологозабезпечення 2024/2025-й належав до вегетаційних років із середньопосушливими умовами (ГТК = 0,74), а весняно-літній період характеризувався недостатнім зволоженням (ГТК = 0,8).

### Результати досліджень

За результатами аналізу експериментальних даних (табл. 3) встановлено, що сорти пшениці м'якої озимої, як порівняти з твердою озимою, мають значно триваліший період післязбирального дозрівання насіння.

Таблиця 3

#### Тривалість періоду післязбирального дозрівання насіння пшениці озимої (середнє за 2024–2025 рр.)

Сорти	Кількість пророслого насіння (%) за температури 20 °С на ... добу									
	3	5	7	10	15	20	30	40	50	60
'МІП Аеліта'	0	0	0	12	34	45	49	55	60	71
'МІП Ауріка'	0	0	0	4	5	12	22	27	35	60
'Бурштин'	0	0	0	7	26	54	72	81	93	98
'МІП Довіра'	0	0	0	1	2	25	37	50	58	88
'МІП Паляниця миронівська'	0	0	0	1	2	5	34	59	65	86
'МІП Стефанія'	0	0	0	1	10	19	42	58	64	90
'МІП Феєрія'	0	0	0	10	24	34	56	67	73	82
Середнє	0	0	0	5,1	14,7	27,7	44,6	56,7	64,0	82,1
'Дуняша'*	2	56	76	83	88	–	–	–	–	–
'МІП Лакомка'*	4	58	77	85	86	–	–	–	–	–
Середнє	3	57	77	84	87	–	–	–	–	–
$\bar{x}$	0,7	12,7	17,0	22,7	30,8	27,7	44,6	56,7	64,0	82,1
S	1,41	25,14	33,73	35,00	33,83	17,68	16,27	16,50	17,40	12,76
V, %	212,1	198,5	198,4	154,4	109,9	63,8	36,5	29,1	27,2	15,5
$НІР_{0,05}$	–	0,8	1,1	1,7	1,8	2,2	2,0	2,2	1,4	1,2

**Примітка.** \* – сорти пшениці твердої,  $\bar{x}$  – середнє значення, S – стандартне відхилення, V – коефіцієнт варіації, %.

У сортів пшениці м'якої озимої 'МІП Феєрія' і 'Бурштин' стан спокою тривав недовго – вже на 30 добу в них проростало понад 50% від усього насіння. Водночас 'МІП Ауріку', 'МІП Аеліту', 'МІП Довіру', 'МІП Паляницю миронівську' та 'МІП Стефанію' можна вважати сортами із затяжним періодом післязбирального дозрівання.

У сортів пшениці твердої озимої 'МІП Лакомка' та 'Дуняша' на третю добу зафіксовано 2 та 4% пророслих насінин, а вже на п'яту – 79 та 74% відповідно. Це свідчить про меншу, ніж у пшениці м'якої озимої, тривалість піс-

лязбирального дозрівання. Щороку (2022–2024) у вказаних сортів спостерігали короткий період спокою та схожість насіння, що вже на п'яту добу становила приблизно 70%.

Динаміка проростання насіння протягом перших трьох діб була дуже низькою (0–4%). Це свідчить про фізіологічний стан спокою зерна одразу після збирання. Утім якщо в пшениці м'якої озимої пророслих насінин не спостерігали й на п'яту-сьому добу, то у твердої озимої вже на п'яту їхня частка становила 56–58%.

У більшості сортів пшениці м'якої озимої фіксували активне проростання насіння на

15–20-ту добу. Максимальне збільшення кількості пророслих насінин відбувалося між 15-ю та 30-ю добами, а до 60-ї всі сорти формували показники на рівні 60–90%. Завершення післязбирального дозрівання (86–98% пророслих насінин) на 60-ту добу відмічали в ‘Бурштину’, ‘МПП Довіри’, ‘МПП Паляниці миронівської’ та ‘МПП Стефанії’. Щодо сортів пшениці твердої озимої ‘Дуняша’ та ‘МПП Лакомка’, то велику кількість пророслого насіння (86–88%) в них спостерігали вже на 15-ту добу.

Період післязбирального дозрівання більшості сортів пшениці м’якої озимої становив 40–50 дб. Найкоротшим – приблизно 40 дб – він був у ‘Бурштину’, а найдовшим – понад 60 дб – у ‘МПП Ауріки’ та ‘МПП Аеліти’. В останнього щороку спостерігали тривалий період спокою, що узгоджується з результатами досліджень 2022–2024 рр. [26].

У 2024 р., порівнюючи з 2025-м, відмічено меншу кількість пророслого насіння пшениці м’якої озимої на певну добу спостережень. Вища стійкість проти проростання на рослинах була зумовлена тривалішим періодом спокою. Так, 2024 року на 10-ту добу частка пророслих насінин становила 1–7%, на 20-ту – 5–45%, на 30-ту добу – 18–66%, а 2025-го ці показники перебували в межах 1–18; 5–63 та 26–78%.

У пшениці твердої озимої за погодних умов 2024 року формувалося насіння з дещо коротшим періодом спокою. Показники проростання на 5-ту добу становили 64–69%, на 10-ту – 92–94%, на 15-ту добу – 94–96%. У 2025 р. ці значення були на рівні 47–48; 75–76 та 80–82% відповідно.

## Висновки

Процеси дозрівання насіння характеризуються видовою та сортовою специфічністю. Зокрема, у більшості сортів пшениці м’якої озимої період післязбирального дозрівання становив 40–50 дб, а у твердої озимої – приблизно 15 дб. Найкоротшим періодом спокою відзначилися сорти пшениці твердої озимої ‘МПП Лакомка’ та ‘Дуняша’, а з-поміж сортів пшениці м’якої озимої – ‘Бурштин’; найдовшим – понад 60 дб – ‘МПП Ауріка’ та ‘МПП Аеліта’.

Необхідно зважати на тривалість післязбирального дозрівання кожного сорту, щоб встановити біологічно обґрунтовані строки збирання. Це сприятиме мінімізації втрат врожаю. Результати досліджень будуть корисними для вдосконалення агротехнічних заходів і забезпечать підвищення ефективності вирощування насіння пшениці озимої.

## References

- Liu, J., Si, Z., Wu, L., Shen, X., Gao, Y., & Duan, A. (2023). High-low seedbed cultivation drives the efficient utilization of key production resources and the improvement of wheat productivity in the North China Plain. *Agricultural Water Management*, 285, Article 108357. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2023.108357>
- Wu, L., Quan, H., Wu, L., Zhang, X., Feng, H., Ding, D., & Siddique, K. H. M. (2023). Responses of winter wheat yield and water productivity to sowing time and plastic mulching in the Loess Plateau. *Agricultural Water Management*, 289, Article 108572. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2023.108572>
- Karaman, M., Bayram, S., & Şatana, E. (2023). Assessment of bread wheat genotypes (*Triticum aestivum* L.) with GGE biplot and AMMI model in multiple environments. *Romanian Agricultural Research*, 40, 1–10. <https://doi.org/10.59665/rar4018>
- Koppensteiner, L. J., Kaul, H.-P., Piepho, H.-P., Barta, N., Eutenauer, P., Bernas, J., Klimek-Kopyra, A., Gronauer, A., & Neugschwandtner, R. W. (2022). Yield and yield components of facultative wheat are affected by sowing time, nitrogen fertilization and environment. *European Journal of Agronomy*, 140, Article 126591. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2022.126591>
- Ittersum Van, M. K., Cassman, K. G., Grassini, P., Wolf, J., Tittonell, P., & Hochman, Z. (2013). Yield gap analysis with local to global relevance. *Field Crops Research*, 143(1), 4–17. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2012.09.009>
- Zecevic, V., Boskovic, J., Dimitrijevic, M., & Petrovic, S. (2010). Genetic and phenotypic variability of yield components in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 16(4), 422–428. <https://www.agrojournal.org/16/04-03-10.pdf>
- Mitura, K., Cacak-Pietrzak, G., Feledyn-Szewczyk, B., Szablewski, T., & Studnicki, M. (2023). Yield and grain quality of common wheat (*Triticum aestivum* L.) depending on the different farming systems (organic vs. integrated vs. conventional). *Plants*, 12(5), Article 1022. <https://doi.org/10.3390/plants12051022>
- Sulek, A., Cacak-Pietrzak, G., Rózewicz, M., Nieróbca, A., Grabiński, J., Studnicki, M., Sujka, K., & Dziki, D. (2023). Effect of production technology intensity on grain yield, protein content and amino acid profile in common and durum wheat grain. *Plants*, 12(2), Article 364. <https://doi.org/10.3390/plants12020364>
- Munaro, L. B., Hefley, T. J., DeWolf, E., Haley, S., Fritz, A. K., Zhang, G., Haag, L. A., Schlegel, A. J., Edwards, J. T., Marburger, D., Alderman, P., Jones-Diamond, S. M., Johnson, J., Lingensfelder, J. E., Unêda-Trevisoli, S. H., & Lollato, R. P. (2020). Exploring long-term variety performance trials to improve environment-specific genotype × management recommendations: A case study for winter wheat. *Field Crops Research*, 255, Article 107848. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2020.107848>
- Lytvynenko, M. (2011). Realization of the potential of the wheat field. *Seed Production*, 6, 1–7. [In Ukrainian]
- Khomenko, L., & Tarasiuk, M. (2025). enhancing the yield potential and adaptability of *Triticum aestivum* L. varieties cultivated in Ukraine. *Science and Innovation*, 21(5), 49–61. <https://doi.org/10.15407/scine21.05.049>
- Egamov, I. U., Siddikov, R. I., Rakhimov, T. A., & Yusupov, N. K. (2021). Creation of high-yielding winter wheat varieties with high yield and grain quality suitable for irrigated conditions. *International Journal of Modern Agriculture*, 10(2), 2491–2506.
- Shorinola, O., Bird, N., Simmonds, J., Berry, S., Henriksson, T., Jack, P., Werner, P., Gerjets, T., Scholefield, D., Balcárková, B., Valárik, M., Holdsworth, M. J., Flinham, J., & Uauy, C. (2016). The wheat Phs-A1 pre-harvest sprouting resistance locus delays the rate of seed dormancy loss and maps 0.3 cm distal to the PM19 genes in UK germplasm. *Journal of Experimental Botany*, 67(14), 4169–4178. <https://doi.org/10.1093/jxb/erw194>
- Bulavka, N. V., Yurchenko, T. V., Kucherenko, O. M., & Piryck, A. V. (2018). Winter soft wheat varieties resistant to negative environmental factors. *Plant Varieties Studying and Protection*, 14(3), 255–261. <https://doi.org/10.21498/2518-1017.14.3.2018.145285> [In Ukrainian]

15. Liu, S., Li, L., Wang, W., Xia, G., & Liu, S. (2024). TaSR01 interacts with TaVP1 to modulate seed dormancy and pre-harvest sprouting resistance in wheat. *Journal of Integrative Plant Biology*, 66(1), 36–53. <https://doi.org/10.1111/jipb.13600>
16. Nakamura, S. (2018). Grain dormancy genes responsible for preventing pre-harvest sprouting in barley and wheat. *Breeding Science*, 68(3), 295–304. <https://doi.org/10.1270/jsbbs.17138>
17. Radchenko, O. M., Dykun, M. O., & Sirant, L. V. (2016). Pre-harvest sprouting resistance the varieties of soft wheat. *Factors in Experimental Evolution of Organisms*, 18, 198–200. [In Ukrainian]
18. Rodriguez, M. V., Barrero, J. M., Corbineau, F., Gubler, F., & Benech-Arnold, R. L. (2015). Dormancy in cereals (not too much, not so little): About the mechanisms behind this trait. *Seed Science Research*, 25, 99–119. <https://doi.org/10.1017/s0960258515000021>
19. Mares, D. J., & Mrva, K. (2014). Wheat grain pre-harvest sprouting and late maturity alpha-amylase. *Planta*, 240(6), 1167–1178. <https://doi.org/10.1007/s00425-014-2172-5>
20. Rehal, P. K., Tuan, P. A., Nguyen, T.-N., Cattani, D. J., Humphreys, D. G., & Ayele, B. T. (2022). Genetic variation of seed dormancy in wheat (*Triticum aestivum* L.) is mediated by transcriptional regulation of abscisic acid metabolism and signaling. *Plant Science*, 324, 111–432. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2022.111432>
21. Gubler, F., Millar, A. A., & Jacobsen, J. V. (2005). Dormancy release, ABA and pre-harvest sprouting. *Current Opinion in Plant Biology*, 8(2), 183–187. <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2005.01.011>
22. Shu, K., Liu, X.-D., Xie, Q., & He, Z.-H. (2016). Two faces of one seed: Hormonal regulation of dormancy and germination. *Molecular Plant*, 9(1), 34–45. <https://doi.org/10.1016/j.molp.2015.08.010>
23. Kashiwakura, Y., Kobayashi, D., Jikumaru, Y., Takebayashi, Y., Nambara, E., Seo, M., Kamiya, Y., Kushihiro, T., & Kawakami, N. (2016). Highly sprouting-tolerant wheat grain exhibits extreme dormancy and cold imbibition-resistant accumulation of abscisic acid. *Plant and Cell Physiology*, 57(4), 715–732. <https://doi.org/10.1093/pcp/pcw051>
24. Tai, L., Wang, H.-J., Xu, X.-J., Sun, W.-H., Ju, L., Liu, W.-T., Li, W.-Q., Sun, J., & Chen, K.-M. (2021). Pre-harvest sprouting in cereals: Genetic and biochemical mechanisms. *Journal of Experimental Botany*, 72(8), 2857–2876. <https://doi.org/10.1093/jxb/erab024>
25. Osanai, S. I., Amano, Y., & Mares, D. (2005). Development of highly sprouting tolerant wheat germplasm with reduced germination at low temperature. *Euphytica*, 143(3), 301–307. <https://doi.org/10.1007/s10681-005-7887-8>
26. Siroshatan, A. A., Zaima, O. A., Kavunets, V. P., & Koliadenko, S. S. (2025). Duration of post-harvest dormancy in seeds of new winter wheat varieties (*Triticum aestivum* L. and *Triticum durum* Desf.). *Cereal Crops*, 9(1), 103–108. <https://doi.org/10.31867/2523-4544/0366> [In Ukrainian]
27. Volkodav, V. V. (Ed.). (2000). *Methodology of state variety testing of agricultural crops. Issue 1: General part*. State Commission for Testing and Protection of Plant Varieties of Ukraine. [In Ukrainian]
28. Makrushyn, M. M. (1994). *Seed science of field crops*. Urozhai. [In Ukrainian]
29. Derzhspozhyvstandart Ukrainy. (2003). *Seeds of agricultural crops. Methods of quality determination: DSTU 4138-2002*. [In Ukrainian]

UDC 633.11«324»:581.48.631.526.3

**Siroshatan, A. A.<sup>1</sup>, Zaima, O. A.<sup>1\*</sup>, Kavunets, V. P.<sup>1</sup>, Dergachov, O. L.<sup>1</sup>, & Koliadenko, S. S.<sup>1</sup>** (2026). The duration of the post-harvest ripening period for winter wheat seeds. *Plant Varieties Studying and Protection*, 21(1), 55–59. <https://doi.org/10.21498/2518-1017.22.1.2026.357583>

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

<sup>2</sup>Ukrainian Institute for Plant Variety Examination, 15 Horikhuvatskyi Shliakh St., Kyiv, 03041, Ukraine, \*e-mail: prysiazhniuk\_l@ukr.net

**Purpose.** To determine the duration of the post-harvest ripening period for seeds depending on the characteristics of new varieties of durum and bread winter wheat varieties.

**Methods.** The study was conducted during 2024–2025 on two varieties of durum winter wheat and seven varieties of bread winter wheat grown after soybeans. **Results.** After analyzing experimental data on the post-harvest ripening period of seeds, it was established that it is significantly longer for bread winter wheat than for durum winter wheat. During the first three days, the germination rate of winter wheat seeds was very low (0–4%), indicating the grain's physiological state of dormancy immediately after harvesting. This was also observed in bread winter wheat on the fifth and seventh days, with no seeds having germinated by the latter date, whereas in the studied durum winter wheat varieties, this indicator had already reached 56–58% by the fifth day. The dormancy period for most bread winter wheat varieties lasted 40–50 days. The bread winter wheat varieties 'MIP Feieriia' and 'Burshtyn' had a short dormancy period (by the 30th day, more than 50% of the total seeds had germinated). Varieties of bread wheat can be classified as having a long post-harvest seed maturation period 'MIP Aurika', 'MIP Aelita', 'MIP Dovira', 'MIP Palianytsia myronivska', and

'MIP Stefaniia'. The shortest dormant period, approximately 40 days, was observed in 'Burshtyn', while in 'MIP Aurika' and 'MIP Aelita' it lasted more than 60 days. It was also found that the post-harvest ripening period of seeds in the studied durum winter wheat varieties was significantly shorter than in bread wheat varieties. Thus, by the third day, 2% of the 'MIP Lakomka' seeds had germinated, rising to 79% by the fifth day. In the 'Duniasha' variety, these figures were 4% and 74%, respectively. **Conclusions.** The ripening processes of bread wheat and durum wheat seeds exhibit species- and variety-specific characteristics. For most bread winter wheat varieties, the post-harvest ripening period lasted 40–50 days, whereas for durum winter wheat varieties it was approximately 15 days. The shortest dormancy period was observed in the seeds of the durum winter wheat varieties 'MIP Lakomka' and 'Duniasha', and among bread wheat varieties, in the variety 'Burshtyn'. For the varieties 'MIP Aurika' and 'MIP Aelita', it lasted over 60 days. To establish biologically sound harvest dates that will help minimize yield losses and increase the efficiency of seed production, the duration of post-harvest ripening for each variety must be taken into account.

**Keywords:** laboratory germination; duration of seed dormancy; seed germination; winter bread and durum wheat varieties.

Надійшла / Received 05.02.2026

Прийнято до друку / Accepted 12.03.2026

Опубліковано онлайн / Published online 30.03.2026

# Effects of different herbicide treatments on *Solidago canadensis* L.

H. M. Korpita\*, I. A. Shuvar

Stepan Gzhytskyi National University of Veterinary Medicine and Biotechnologies of Lviv,  
1 V. Velykoho St., Dubliany, Lviv district, Lviv region, 80381, Ukraine, \*e-mail: korpita@ukr.net

**Purpose.** The study aimed to evaluate the impact of various herbicide treatments on *Solidago canadensis* L. and develop recommendations for its long-term management. **Methods.** Three chemical control schemes were assessed in 2021–2025: Lintur 70 WG (triasulfuron + dicamba), Roundup Max (glyphosate), and Dianate BASF (dicamba). Treatments were applied using a handheld sprayer during the active vegetative growth phase at a temperature of +20–23 °C and relative humidity of 65–70%. The herbicides' effectiveness was evaluated comprehensively by determining the suppression of the above-ground part, the number of viable shoots, and the ability to regenerate. Statistical analysis was performed using ANOVA with the  $LSD_{0.05}$  criterion in Statistica 13.0 and Microsoft Excel 2019. **Results.** The results show that all the herbicides tested have a clear suppressive effect on *Solidago canadensis* L., although their effectiveness varies considerably depending on the active ingredients and how long they remain effective for. Overall, Lintur 70 WG exhibited the greatest effectiveness, providing rapid and progressive suppression of plant growth, reaching  $91.8 \pm 3.5\%$  by 42 days after treatment, along with the greatest biomass suppression ( $86.8 \pm 2.7\%$ ) and the strongest decrease in shoot density ( $\sim 90\%$  to 3 shoots/m<sup>2</sup>), indicates the minimal regeneration ability of the plant. Dianate BASF exhibited moderate but less stable control, with final suppression of  $79.3 \pm 3.5\%$  and biomass suppression of  $69.3 \pm 2.6\%$ . The reduction in shoot density ( $\sim 71\%$  to 6 shoots/m<sup>2</sup>) suggests partial recovery potential of the species after treatment. Roundup Max demonstrated moderately high yet less sustainable performance, reaching  $84.7 \pm 3.5\%$  suppression and  $57.2 \pm 2.4\%$  biomass suppression, with the weakest reduction in shoot density ( $\sim 63\%$  to 9 shoots/m<sup>2</sup>), indicating the highest regeneration potential among the tested variants. **Conclusions.** These findings confirm that multicomponent herbicides with different modes of action are the most effective way to sustainably control *S. canadensis*, as they ensure rapid biomass suppression and minimal regeneration. The study highlights the importance of considering the physiological responses of plants when predicting the duration of herbicide effectiveness against invasive species. These results could inform the development of chemical management strategies for invasive weeds in Ukrainian agroecosystems and natural habitats.

**Keywords:** weed suppression; biomass; shoot density; plant regeneration; invasive species control; chemical plant protection.

## Introduction

In a global context, invasive plant species are recognized as one of the main causes of ecosystem degradation. This leads to reduced biodiversity, an imbalance in the ecosystem and a decline in land productivity. Among them, *Solidago canadensis* L. is considered one of the most aggressive and widespread invasive species in Europe, particularly in the forest-steppe zone of Ukraine [1, 2]. This species is characterized by high ecological plasticity, rapid vegetative propagation, and the ability to form dense monodominant stands, which suppress native vegetation, alter the structure of plant communities, and significantly reduce forage productivity of pastures [3, 4].

The spread of *S. canadensis* in agricultural landscapes is also associated with negative eco-

nomical consequences, including decreased crop yields, competition for water and nutrients, and deterioration of soil conditions [5]. Despite numerous studies addressing the biology and distribution of this species, effective methods for its long-term control remain insufficiently developed, especially under specific agroecological conditions of Ukraine.

Chemical control using herbicides is currently one of the most widely applied methods for managing invasive weeds. However, the effectiveness of herbicide treatments depends not only on the choice of active substances but also on the biological characteristics of the target species, its growth stage, and its physiological response to stress factors [4]. In particular, invasive species such as *S. canadensis* often demonstrate high regenerative capacity, which reduces the long-term efficiency of control measures [6].

Current research largely focuses on visual assessments of weed suppression, while the physiological responses of plants to herbicide

Hanna Korpita

<https://orcid.org/0000-0002-0908-0129>

Ivan Shuvar

<https://orcid.org/0000-0002-4149-1761>



© The Author(s) 2026. Published by Ukrainian Institute for Plant Variety Examination. This is an open access article distributed under the terms of the license CC BY-SA 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>), which permits use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

application – including changes in photosynthetic activity, stress resistance and recovery potential – receive insufficient attention [7]. This creates a knowledge gap regarding the mechanisms underlying the effectiveness of herbicide action, thereby limiting the development of scientifically grounded control strategies.

Recent studies have shown that different herbicides exert significantly varying effects on the physiological processes of weeds. For instance, acetolactate synthase (ALS) inhibitors, such as triasulfuron, disrupt amino acid and protein synthesis, thereby reducing shoot growth and photosynthetic activity [8]. Herbicides based on synthetic auxins, such as dicamba, cause hormonal imbalance, tissue necrosis, and deformation of growth points [9, 10]. Meanwhile, glyphosate-based products affect metabolic pathways and inhibit the EPSP synthase enzyme, but their ability to fully control perennial weeds with well-developed root systems is generally limited [11].

Many studies emphasize that the initial suppression of above-ground plant parts by herbicides does not guarantee long-term control, given the substantial potential for regeneration from roots and rhizomes [12]. Deep root tissues often serve as the main source of recovery, necessitating consideration of systemic herbicide action when predicting effectiveness [13]. In addition to chemical control, modern approaches investigate the use of bioherbicides capable of inducing oxidative stress in weeds, which further suppresses both root and shoot tissues without leaving high chemical residues in the soil [14].

Physiological studies also indicate that invasive species such as *S. canadensis* can exhibit specific adaptive responses, allowing partial restoration of key physiological parameters, including photosynthetic efficiency, antioxidant enzyme activity, and hormonal balance, following herbicide exposure. These responses can depend on the plant's ontogenetic stage, environmental conditions, and the type of herbicidal stress [15].

Other authors have highlighted changes in root system structure and respiration under the influence of herbicides with different modes of action. These changes may serve as indicators of long-term plant tolerance or sensitivity [16]. Furthermore, research shows that invasive plants may respond differently to herbicides depending on the state of their physiological processes prior to exposure, such as flavonoid metabolism, which plays an important role in stress adaptation [17].

It is noteworthy that most contemporary studies focus on describing the general effects of herbicides on weed growth and biomass, while the physiological mechanisms underlying these changes are only partially addressed. Nevertheless, there is a growing understanding of the need to integrate physiological parameters – such as photosynthetic activity, gas exchange rates, antioxidant system activity, and metabolic activity – into a comprehensive assessment of herbicide treatment effectiveness [18].

Thus, a review of the current literature indicates that, although recent research has increasingly focused on weed responses to chemical control, there is still insufficient data on the physiological mechanisms of *S. canadensis* response to different herbicides, particularly regarding photosynthesis disruption, hormonal regulation, antioxidant activity, and the link between these processes and regeneration capacity.

*The aim of this study* was to evaluate the effects of different herbicide treatments on *Solidago canadensis* L., focusing on their impact on plant growth, shoot density, biomass suppression, and regeneration dynamics, in order to develop scientifically grounded recommendations for effective and long-term control of this invasive species.

## Materials and methods

Studies assessing the effectiveness of the chemical control of *Solidago canadensis* L. were conducted from 2021 to 2025 in the Forest-Steppe zone of Ukraine, at a stationary experimental field in Dubliany in the Lviv district (formerly the Zhovkva district) of the Lviv region, Ukraine (49.8962° N, 24.0849° E). The studies were carried out on the same plot throughout the entire period, which ensured the comparability of the results obtained. The soils of the experimental plot were gray forest medium loam, with a humus content of 2.6%, pH of the salt extract – 6.1. The area of the accounting plot was 125 m<sup>2</sup>. The experiment was set up in three replications, the placement of variants was by the method of complete randomization. Each treatment option was represented by three separate plots (replications). A control treatment (untreated plots without herbicide application) was also included in the experimental design. Preliminary surveys of shoot density, plant growth, and phenological development were conducted on the control plots as well, providing a baseline for comparison with treated variants (Fig. 1).

A preliminary survey of plants was conducted on each plot, recording the number of individuals per 1 m<sup>2</sup> and determining their pheno-



**Fig. 1. General view of the experimental design and herbicide effects on *Solidago canadensis* L.:** (a) control plot without treatment, characterized by dense and vigorous plant growth; (b) experimental field with randomized plot arrangement and marked replications; (c) severe phytotoxic effect resulting in complete desiccation of shoots; (d) moderate phytotoxic response with partial damage to plant tissues

logical stages prior to herbicide application. The plants were in the active vegetative growth phase during the treatments, with heights ranging from 30 to 50 cm, which ensured maximum efficacy of systemic herbicides. The study compared three herbicide treatment schemes (Table 1).

The choice of herbicides for the study is due to their widespread use in the practice of controlling dicotyledonous weeds, in particular invasive species, as well as different mechanisms of action, which allows for a comprehensive assessment of the effectiveness of chemical control of *S. canadensis*. The experiment used pre-

parations based on active ingredients with systemic action.

The research was conducted on the same stationary site throughout the entire period (2021–2025); no transition to new, previously untreated sites was carried out.

The plants were treated using a backpack sprayer under air temperatures of +20...23 °C, relative humidity of 65–70%, and wind speeds up to 2 m/s. The working solution was prepared and applied at a rate of 300 L/ha. Visual assessment of plant suppression was conducted on days 7, 14, 28, and 42 after treatment using the EWRC scale, while shoot density

Table 1

Herbicide protection schemes for the control of *Solidago canadensis* L.

Variant	Herbicide	Consumption rate, kg/ha or l/ha	Active ingredient(s)	Active ingredient content	Mode of action
I	Control (without herbicide application)				
II	Lintur 70 WG, Syngenta	0.3 kg/ha	Triasulfuron Dicamba (sodium salt)	41 g/kg 659 g/kg	ALS inhibitor (triasulfuron) + synthetic auxin (dicamba)
III	Dianate, BASF	1.5 l/ha	Dicamba	480 g/l	Synthetic auxin causing hormonal imbalance
IV	Roundup Max, Monsanto/Bayer	4.0 l/ha	Glyphosate (potassium salt)	551 g/l (equiv. 450 g/l)	EPSPS inhibitor blocking aromatic amino acid synthesis

Source: compiled by the authors.

was determined through direct counting on  $1 \times 1$  m quadrats.

Shoot density reduction (%) was calculated as the ratio of the number of newly emerged viable shoots at 60 days after treatment to the initial number of shoots before treatment, expressed as a percentage:

$$\text{Shoot density reduction (\%)} = \frac{N_c - N_t}{N_c} \times 100$$

where:  $N_c$  – number of shoots in the control (untreated), shoots/m<sup>2</sup>;  $N_t$  – number of shoots after treatment, shoots/m<sup>2</sup>.

Aboveground biomass of *Solidago canadensis* L. was assessed by harvesting all shoots within  $1 \times 1$  m quadrats. Plant material was collected at 7, 14, 28, and 42 days after herbicide application. Fresh biomass was weighed immediately after harvesting using a laboratory balance with an accuracy of  $\pm 0.1$  g. Biomass suppression (%) was calculated in relation to the untreated control using the formula:

$$\text{Biomass suppression (\%)} = [(B_0 - B_1) / B_0] \times 100$$

where:  $B_0$  – mean biomass in control plots;  $B_1$  – biomass in treated plots at each observation date.

Statistical analysis of the results was performed using analysis of variance (ANOVA) with the  $LSD_{0.05}$  criterion to identify significant differences among treatments. Data collection and analysis were carried out using Statistica 13.0 and Microsoft Excel 2019, enabling comparative analysis of means, standard deviations, and the construction of graphical dependencies with error bars for visual representation. This comprehensive approach allowed assessment not only of suppression of above- and below-ground biomass but also of regeneration potential, which are key indicators of the effectiveness of chemical control of the invasive species.

## Research results

As a result of the studies, it was found that all three options for herbicide protection demonstrated a suppressive effect on *Solidago canadensis* L., however, the degree of effectiveness of the herbicides differed significantly both in terms of the speed of action and the duration of the phytotoxic effect.

The analysis indicates that all three herbicides exerted a suppressive effect on *S. canadensis*, but their intensity and dynamics differed significantly. In particular, on average for 2021–2025 the highest efficacy was observed in treatment II – Lintur 70 WG, which combines triasulfuron and dicamba. By day 7 after application, plant suppression reached 63.5%, increasing to 78.7% by day 14, indicating a rapid accumulation of phytotoxic effects. By day 28, efficiency reached 84.3%, and by day 42 it remained high at 91.8%, confirming the stable and long-lasting action of the herbicide with minimal potential for plant regeneration.

Treatment III – Dianate BASF, containing only dicamba, showed a moderate level of effectiveness. Suppression was 47.8% on day 7, rising to 69.6% by day 14, and 74.1% by day 28. By day 42, efficacy increased to 79.3%, indicating a gradual, less radical control of the weed. Partial plant regeneration was possible, as the herbicide's effect was not sufficiently deep at the root system level.

Treatment IV – Roundup Max, containing glyphosate, exhibited moderately high efficacy. Initial suppression on day 7 was 52.1%, increasing to 73.4% by day 14, 82.6% by day 28, and 84.7% by day 42. The dynamics show a more gradual increase in phytotoxic effect compared to Lintur 70 WG; however, the herbicide only provides partial stabilization of suppression and does not fully prevent long-term plant regeneration (Table 2).

During the conducted observations, a cumulative effect of herbicide application was recorded. In particular, the most pronounced long-

Table 2

**Dynamics of herbicides effectiveness against *Solidago canadensis* L.,  
% of suppressed plants (average for 2021–2025)**

Variant	Herbicide	Herbicides effectiveness, %			
		7 days	14 days	28 days	42 days
II	Lintur 70 WG	63,5 ± 2,3	78,7 ± 3,1	84,3 ± 2,8	91,8 ± 3,5
III	Dianate BASF	47,8 ± 2,3	69,6 ± 3,1	74,1 ± 2,8	79,3 ± 3,5
IV	Roundup Max	52,1 ± 2,3	73,4 ± 3,1	82,6 ± 2,8	84,7 ± 3,5

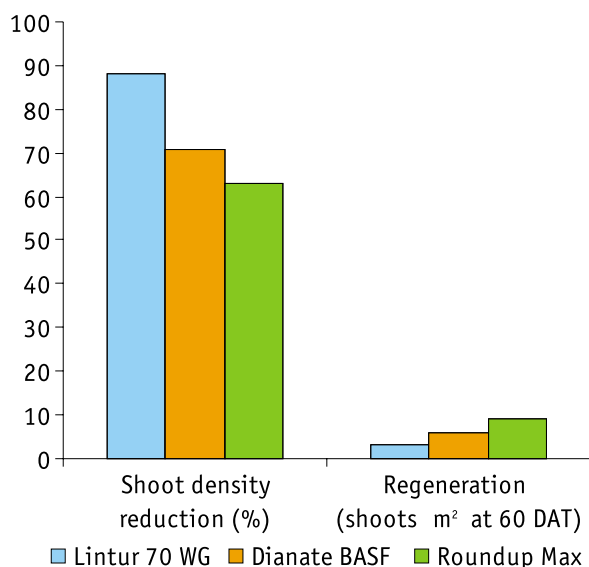
**Source:** compiled by the authors.

term effect was observed in the Lintur 70 WG treatment, which was manifested in a reduction of shoot density and inhibition of population recovery in subsequent years.

The study demonstrated that Lintur 70 WG exhibited the highest effectiveness in controlling growth. Following its application, shoot density decreased by nearly 90%, and only 3 shoots/m<sup>2</sup> were recorded at the final assessment, indicating very low regeneration potential.

Dianate (BASF) showed moderate efficacy, reducing shoot density by 71%, with approximately 6 shoots/m<sup>2</sup> remaining, indicating partial population recovery.

The lowest effectiveness was observed with Roundup Max, which reduced shoot density by 63%, with approximately 9 shoots/m<sup>2</sup> remaining. This indicates the highest regeneration potential among the tested treatments (Fig. 2).



**Source:** compiled by the authors.

**Fig. 2. Dynamics of shoot density reduction and regeneration of *Solidago canadensis* L. under herbicide treatments**

Analysis of biomass suppression dynamics of *S. canadensis* reveals clear differences in the effectiveness of the three applied herbicides over 42 days following treatment. Lintur 70 WG proved to be the most effective: within one week of application, plant biomass was suppres-

sioned by 43.5% relative to the control, and by day 42 suppression reached 86.8%. This trend indicates a rapid and sustained phytotoxic effect that increased over time, resulting in strong population control and minimal regeneration potential.

In the case of Roundup Max, biomass suppression progressed more gradually: by day 7 biomass decreased by 32.1%, reaching 57.2% by day 42. This pattern suggests a relatively slow mode of action, indicating a higher potential for population recovery over time.

Dianate (BASF) showed an intermediate outcome, with biomass suppression of 37.8% on day 7 and 69.3% on day 42. Although this effect was stronger than that of Roundup Max, it remained less effective compared to Lintur 70 WG. Gradual suppression was observed, indicating moderate regeneration potential in the presence of dense perennial root systems of *S. canadensis* (Table 3).

The obtained results confirm that the effectiveness of herbicide control of *Solidago canadensis* L. strongly depends on the active ingredients, their combinations, and the mechanism of action, which is consistent with previous studies on invasive plant management. In particular, the highest efficacy of Lintur 70 WG observed in this study can be explained by the synergistic interaction of triasulfuron (ALS inhibitor) and dicamba (synthetic auxin), which ensures both rapid growth disruption and long-term suppression of regenerative capacity. Similar conclusions were reported by D. Poljuha et al. [20], who emphasized that the control of *S. canadensis* requires multi-target approaches due to its high ecological plasticity and adaptive potential.

The moderate but less stable performance of glyphosate (Roundup Max) aligns with the findings of X. Ye et al. [23], who demonstrated that *S. canadensis* may exhibit variable sensitivity to glyphosate compared to native species, with a tendency toward partial recovery under certain environmental conditions. In the present study, the observed regrowth after initial suppression further supports the idea that glyphosate alone may not provide sufficient long-term

Table 3

**Dynamics of *Solidago canadensis* L. biomass suppression after the herbicides treatment**

Variant	Herbicide	The percent of biomass suppression			
		7 days	14 days	28 days	42 days
II	Lintur 70 WG	43.5 ±2.1	65.7 ±2.5	79.3 ±2.3	86.8 ±2.7
III	Roundup Max	32.1 ±1.8	49.6 ±2.2	54.1 ±2.1	57.2 ±2.4
IV	Dianate BASF	37.8 ±2.0	53.4 ±2.3	62.6 ±2.4	69.3 ±2.6

**Source:** compiled by the authors.

control of perennial invasive populations, particularly due to limited impact on underground regenerative structures.

The comparatively lower effectiveness of dicamba-only treatment (Dianat BASF) corresponds with the broader understanding that single-mechanism herbicides often fail to ensure sustainable suppression of invasive clonal species. This is also supported by Baranets et al. [19], who highlight that effective mitigation of *S. canadensis* invasion is significantly improved when chemical treatments are combined with biological or ecological agents, such as endophytes or natural substances, enhancing overall stress pressure on the plant system.

Additionally, Shuvar et al. [12] emphasize that the spread of invasive plant species results in long-term biodiversity loss. This underlines the importance of achieving stable population control, as well as short-term suppression. In this context, the present results clearly demonstrate that Lintur 70 WG provides the most reliable strategy for reducing both biomass and shoot density, thereby limiting the regenerative potential of the species more effectively than single-component formulations.

Overall, the comparison with previous studies confirms that integrated and multi-mechanism approaches are essential for effective management of *S. canadensis*. While chemical control remains a key tool, its efficiency increases significantly when herbicides with different modes of action are combined or supplemented with additional control strategies, as highlighted in recent literature.

### Conclusion

These results confirm that Lintur 70 WG provides the most stable and radical control of *S. canadensis*, whereas Roundup Max and Dianate BASF leave a considerable potential for population recovery, particularly over an extended period after treatment. The superiority of Lintur 70 WG can be attributed to the synergistic action of its active ingredients, which combine different mechanisms of phytotoxicity and ensure both rapid initial suppres-

sion and prolonged inhibition of regenerative processes. In contrast, the single-mechanism formulations demonstrate weaker persistence of effect, allowing partial regrowth of the species due to its high regenerative capacity and perennial root system.

The findings also emphasise that above-ground suppression alone is insufficient for the long-term management of *S. canadensis*. Successful control depends on limiting underground regenerative structures and preventing the re-establishment of shoot density during subsequent growth periods. This is particularly important in the context of invasive species that exhibit strong clonal propagation and high ecological plasticity.

Future research should therefore focus on optimizing the combination of active ingredients and application rates, as well as the timing of herbicide application, to enhance overall efficacy while minimising environmental risks. Additionally, investigating integrated management approaches, such as repeated treatments over multi-year cycles and integrating chemical control with mechanical or ecological methods, is advisable to achieve more sustainable suppression of invasive populations and reduce the long-term soil seed bank and vegetative regeneration potential.

### References

- Havryliuk, O., Hovorukha, V., Bida, I., Gladka, G., Tymoshenko, A., Kyrylov, S., Mariychuk, R., & Tashyrev, O. (2023). Anaerobic degradation of the invasive weed *Solidago canadensis* L. (goldenrod) and copper immobilization by a community of sulfate-reducing and methane-producing bacteria. *Plants*, 12, Article 198. <https://doi.org/10.3390/plants12010198>
- Yavorska, H., & Vorobets, N. (2025). Evaluation of antifungal activity of "green" *Solidago canadensis* extracts. *The Journal of V. N. Karazin Kharkiv National University. Series Biology*, 45, 115–123. <https://doi.org/10.26565/2075-5457-2025-45-8>
- Bakacsy, L., Kardos, L. V., Szepesi, Á., Nagy, K. N., Vasas, A., & Feigl, G. (2024). Investigation of the allelopathic effect of two invasive plant species in rhizotron system. *Life*, 14(4), Article 475. <https://doi.org/10.3390/life14040475>
- Bang, A., Cuthbert, R. N., Haubrock, P. J., Fernandez, R. D., Moodley, D., Diagne, C., Turbelin, A. J., Renault, D., Dalu, T., & Courchamp, F. (2022). Massive economic costs of biological invasions despite widespread knowledge gaps: A dual setback for India. *Biological Invasions*, 24(7), 2017–2039. <https://doi.org/10.1007/s10530-022-02780-z>

5. Dakhil, M. A., El-Keblawy, A., El-Sheikh, M. A., Halmy, M. W. A., Ksiksi, T., & Hassan, W. A. (2021). Global invasion risk assessment of *Prosopis juliflora* at biome level: Does soil matter? *Biology*, 10(3), Article 203. <https://doi.org/10.3390/biology10030203>
6. García-Mozo, H. (2024). Assessment of the diversity, abundance and range of invasive alien plant species in Córdoba, a Mediterranean urban area. *Diversity*, 16(12), Article 777. <https://doi.org/10.3390/d16120777>
7. Khan, A. M., Li, Q., Saqib, Z., Khan, N., Habib, T., Khalid, N., Majeed, M., & Tariq, A. (2022). MaxEnt modelling and impact of climate change on habitat suitability variations of economically important chilgoza pine (*Pinus gerardiana* Wall.) in South Asia. *Forests*, 13(5), Article 715. <https://doi.org/10.3390/f13050715>
8. Lipińska, H., Lipiński, W., Shuvar, I., Korpita, H., & Shuvar, A. (2023). Invasive species of plants and their threat to biodiversity. *Plant and Soil Science*, 14(1), 51–66. <https://doi.org/10.31548/plant1.2023.51>
9. Nagabhushan Arun, M., Mahender Kumar, R., Sreedevi, B., Padmavathi, G., Revathi, P., Pathak, N., Srinivas, D., & Venkatanana, B. (2023). The rising threat of invasive alien plant species in agriculture. *IntechOpen*. <https://doi.org/10.5772/intechopen.106742>
10. Rai, P. K., & Singh, J. S. (2020). Invasive alien plant species: Their impact on environment, ecosystem services and human health. *Ecological Indicators*, 111, Article 106020. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.106020>
11. Rashid, I., Haq, S. M., Lembrechts, J. J., Khuroo, A. A., Pauchard, A., & Dukes, J. S. (2021). Railways redistribute plant species in mountain landscapes. *Journal of Applied Ecology*, 58(9), 1967–1980. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13961>
12. Shuvar, I., Korpita, H., Balkovskiy, V., Shuvar, A., & Kropyvnytskyi, R. (2021). *Asclepias syriaca* L. is a threat to biodiversity and agriculture of Ukraine. *BIO Web of Conferences*, 36, Article 07010. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20213607010>
13. Słowiński, K., Grygierzec, B., Synowiec, A., Tabor, S., & Araniti, F. (2022). Preliminary study of control and biochemical characteristics of giant hogweed (*Heracleum sosnowskyi* Manden.) treated with microwaves. *Agronomy*, 12(6), Article 1335. <https://doi.org/10.3390/agronomy12061335>
14. Sužiedėlytė Visockienė, J., Tumelienė, E., & Maliene, V. (2020). Identification of *Heracleum sosnowskyi*-invaded land using earth remote sensing data. *Sustainability*, 12(3), Article 759. <https://doi.org/10.3390/su12030759>
15. Tiwari, S., Mishra, S. N., Kumar, D., Kumar, B., Vaidya, S. N., Ghosh, B. G., Rahaman, S. M., Khatun, M., Garai, S., & Kumar, A. (2022). Modelling the potential risk zone of *Lantana camara* invasion and response to climate change in eastern India. *Ecological Processes*, 11(1), Article 1–13. <https://doi.org/10.1186/s13717-021-00354-w>
16. Zhu, X., Li, W., Shao, H., & Tang, S. (2022). Effects of extracts from various parts of invasive *Solidago* species on the germination and growth of native grassland plant species. *Chemical Biodiversity*, 19(10), Article e202200728. <https://doi.org/10.1002/cbdv.202200728>
17. Anas, M., Huang, Z. Y., Xiong, H., Imran, M., Yan, M. T., Javed, Q., Ren, G. Q., Qi, S. S., Li, J., Dai, Z. C., & Du, D. L. (2025). Response of invasive *Solidago canadensis* to foliar application of natural herbicide and glyphosate. *Journal of Environmental Management*, 394, Article 127522. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2025.127522>
18. Szabó, A.-K., Bálint, J., Molnár, A., Aszalos, S. E., For, C. G., Loxdale, H. D., & Balog, A. (2022). Associational susceptibility of crop plants caused by the invasive weed Canadian goldenrod, *Solidago canadensis*, via local aphid species. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 10, Article 1080599. <https://doi.org/10.3389/fevo.2022.1080599>
19. Baranets, M., Bień-Kostycz, P., Turnau, K., Kalaji, H., & White, J. (2025). Mitigation of *Solidago canadensis* invasion using natural substances and selected endophytes. *Research Square*. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-7665103/v1>
20. Poljuha, D., Sladonja, B., Božac, M., Šola, I., Damijanić, D., & Weber, T. (2024). The invasive alien plant *Solidago canadensis*: Phytochemical composition, ecosystem service potential, and application in bioeconomy. *Plants*, 13(13), Article 1745. <https://doi.org/10.3390/plants13131745>
21. Shuvar, I., Korpita, H., Shuvar, A., Shuvar, B., & Kropyvnytskyi, R. (2021). Invasive plant species and the consequences of its prevalence in biodiversity. *BIO Web of Conferences*, 31, Article 00024. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20213100024>
22. Visockienė, J. S., Tumelienė, E., & Maliene, V. (2020). Identification of *Heracleum sosnowskyi*-invaded land using earth remote sensing data. *Sustainability*, 12, Article 759. <https://doi.org/10.3390/su12030759>
23. Ye, X., Gu, C., Meng, J., & Wu, M. (2025). Differences in the response of invasive *Solidago canadensis* and native *Imperata cylindrica* to glyphosate. *Plants*, 14(17), Article 2640. <https://doi.org/10.3390/plants14172640>

УДК 632.51:632.954

**Корпіта Г. М., Шувар І. А.** Вплив різних гербіцидних обробок на *Solidago canadensis* L. *Plant Varieties Studying and Protection*. 2026. Т. 22, № 1, С. 60–67. <https://doi.org/10.21498/2518-1017.22.1.2026.357585>

Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій імені С. З. Гжицького, вул. В. Великого, 1, Дубляни, Львівський район, Львівська область, Україна, 80381, \*e-mail: korpita@ukr.net

**Мета.** Оцінити вплив різних гербіцидних обробок на *Solidago canadensis* L. та розробити рекомендації для його ефективного довгострокового контролю. **Методи.** У процесі досліджень застосовували три схеми хімічного контролю: гербіциди Лінтур (триасульфурон + дикамба), Раундап Макс (гліфосат) і Діанат (дикамба). Ефективність гербіцидів оцінювали комплексно: визначали пригнічення надземної частини, кількість життєздатних пагонів і можливість регенерації. Статистичну обробку проводили методом дисперсійного аналізу (ANOVA) з критерієм НІР<sub>0.05</sub> за допомогою програм Statistica 13.0 та Microsoft Excel 2019. **Результати.** Всі протестовані гербіциди мали чіткий супресивний вплив на *S. canadensis*. Утім, залежно від активних інгредієнтів та тривалості дії, їхня ефективність значно варіювала. Загалом, найвищою та найстабільнішою вона була в Лінтур 70 WG, який забез-

печував швидке та досягало 91,8 ± 3,5% через 42 дні після обробки, разом із максимальним зниженням біомаси (86,8 ± 2,7%) та щільності пагонів (~90% до 3 пагонів/м<sup>2</sup>). Це свідчить про мінімальну регенеративну здатність. Діанат BASF продемонстрував помірний, але менш стабільний контроль із кінцевим пригніченням, що становило 79,3 ± 3,5%, та зниженням біомаси на рівні 69,3 ± 2,6%. Зменшення щільності пагонів (~71% до 6 пагонів/м<sup>2</sup>) вказує на частковий потенціал відновлення виду після обробки. Roundup Max характеризувався помірно високою, але менш стійкою продуктивністю, досягаючи пригнічення на 84,7 ± 3,5% та скорочення біомаси на 57,2 ± 2,4%, з найслабшим зниженням щільності пагонів (~63% до 9 пагонів/м<sup>2</sup>). Це свідчить про максимальний потенціал регенерації серед протестованих варіантів. **Висновки.**

Отримані дані підтверджують, що для стійкого контролю *S. canadensis* найефективнішими є мультикомпонентні гербіциди з різними механізмами дії, які забезпечують швидке пригнічення біомаси та мінімальну регенерацію. Результати можуть бути використані для розроблення

стратегій хімічного управління інвазійними бур'янами в агроєкосистемах та природних угіддях України.

**Ключові слова:** пригнічення бур'янів; біомаса; щільність пагонів; регенерація рослин; контроль інвазійних видів; хімічний захист рослин.

Надійшла / Received 27.01.2026

Прийнято до друку / Accepted 12.03.2026

Опубліковано онлайн / Published online 30.03.2026

