

JOURNAL OF APPLIED RESEARCH Vol. 21, No 3 '2025

PLANT VARIETIES STUDYING

AND PROTECTION

PRINT ISSN 2518-1017
ONLINE ISSN 2518-7457

**PLANT BREEDING
AND SEED PRODUCTION**

**PLANT PHYSIOLOGY
AND BIOCHEMISTRY**

PLANT PRODUCTION



Журнал — фаховий

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

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ

С. М. Каленська (головний редактор)

Д. Б. Рахметов (заступник головного редактора)

В. І. Файт (заступник головного редактора)

С. І. Мельник (шеф-редактор)

Ю. С. Данюк (відповідальний секретар)

М. З. Антонюк

Б. Барнабас (Угорщина)

Я. Бріндза (Словацька Республіка)

Р. А. Вожегова

В. Й. Войніч (Угорщина)

Н. Е. Волкова

О. В. Галаєв

Б. В. Дзюбецький

О. В. Дубровна

А. Лаздіньш (Латвія)

В. М. Меженський

П. Монтеро Гарсія-Ноблехас (Іспанія)

Л. М. Присяжнюк

О. І. Присяжнюк

О. І. Рибалка

Р. Роса (Республіка Польща)

В. М. Соколов

Б. В. Сорочинський

С. М. Хоменко

С. В. Чеботар

В. Ю. Черчель

В. В. Швартау



УКРАЇНСЬКИЙ ІНСТИТУТ
ЕКСПЕРТИЗИ СОРТІВ РОСЛИН

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

Журнал виходить чотири рази на рік
Заснований у 2005 р.

Ідентифікатор медіа
R 30-01984

За достовірність викладених
у публікаціях фактів відповідають
автори

Рекомендовано до друку
Вченою радою Українського інституту
експертизи сортів рослин
(Протокол № 9 від 09.09.2025)

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

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

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

Підписано до друку 25.09.2025
Формат 60×84 1/8. Папір офсетний.
Ум.-др. арк.
Наклад 50 прим. Зам.

Друкарня
ТОВ «ТВОРИ»
вул. Немирівське шосе, 62а,
м. Вінниця, 21034, Україна
Тел.: 0(800) 33-00-90
e-mail: info@tvoru.com.ua
<http://www.tvoru.com.ua>
Передплатний індекс 89273

ISSN 2518-1017

Мова видання:
українська, англійська

© Український інститут експертизи
сортів рослин, оформлення, оригінал-
макет, 2025

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

© Інститут фізіології рослин і генетики
НАН України, 2025

Journal – specialized publications

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

EDITORIAL BOARD

S. Kalenska (Head editor)

D. Rakhmetov (Deputy leading editor)

V. Fait (Deputy leading editor)

S. Melnyk (Editor-in-Chief)

Yu. Daniuk (Executive Secretary)

M. Antonyuk

B. Barnabas (Hungary)

J. Brindza (Slovak Republic)

R. Vozhehova

V. J. Vojnich (Hungary)

N. Volkova

O. Halaiev

B. Dziubetskyi

O. Dubrovna

A. Lazdiņš (Latvia)

V. Mezhenyskyi

P. Montero García-Noblejas (Spain)

R. Rosa (Poland)

L. Prysiazhniuk

O. Prysiazhniuk

O. Rybalka

V. Sokolov

B. Sorochynskyi

S. Khomenko

S. Chebotar

V. Cherchel



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. 9, 09.09.2025)

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

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

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

Signed to print 25.09.2025
Format 60×84 1/8. Offset Paper.
Conventional printed sheet.
50 numbers of copies.

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

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

Languages of publication:
Ukrainian, English

© Ukrainian Institute for Plant Variety
Examination, formatting, makeup, 2025

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

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

ЗМІСТ

СЕЛЕКЦІЯ ТА НАСІННИЦТВО

Присяжнюк Л. М., Парій М. Ф., Ілюченко А. О.,
Козлова С. О., Шляхтун І. С., Король Л. В.,
Мельник С. І.

Аналіз селекційного матеріалу сої культурної
(*Glycine max* L.) з використанням SSR маркерів

Рахметов Д. Б., Бондарчук О. П., Рахметова С. О.

Карпологічні особливості рослин різних сортів
рижю посівного *Camelina sativa* (L.) Crantz
з генофонду Національного ботанічного саду
імені М. М. Гришка НАН України

ФІЗІОЛОГІЯ РОСЛИН І БІОХІМІЯ

Молодченкова О. О., Січкач В. І., Лаврова Г. Д.,
Безкровна Л. Я., Фанін Я. С.

Уміст проліну та активність лектинів у різних сортів сої
в репродуктивних фазах розвитку

Скрипченко Н. В., Левон В. Ф., Венедиктова Т. Б.,
Книш В. П.

Особливості метаболізму плодів лоз *Actinidia arguta*
(Siebold & Zucc.) Planch. ex Miq. і *Schizandra chinensis*
(Turcz.) Baill. в умовах змішаного та монокультурного
вищування

РОСЛИННИЦТВО

Зелінська Л. Г., Фучило Я. Д.

Продуктивність деяких сортів верби прутіподібної
протягом третього трирічного циклу вирощування

Медведєва Т. В., Натальчук Т. А.,
Рудник-Івашченко О. І.

Особливості морфогенезу лаванди та лавандину,
вирощених на безгормональному середовищі
в умовах культури *in vitro*

Правдзіва І. В., Василенко Н. В., Шадчина Т. М.,
Шевченко Т. В.

Особливості формування показників вмісту білка
та клейковини пшениці м'якої озимої
залежно від попередника

CONTENTS

PLANT BREEDING AND SEED PRODUCTION

Prisazhnyiuk L. M., Parii M. F., Iliuchenko A. O.,
Kozlova S. O., Shliakhtun I. S., Korol L. V.,
Melnik S. I.

112 Analysis of soybean (*Glycine max* L.) breeding material
using SSR markers

Rakhmetov D. B., Bondarchuk O. P., Rakhmetova S. O.

121 Carpological features of *Camelina sativa* (L.) Crantz
plants of the gene pool of the M. M. Gryshko
National Botanical Garden of the NAS of Ukraine

PLANT PHYSIOLOGY AND BIOCHEMISTRY

Molodchenkova O. O., Sichkar V. I., Lavrova H. D.,
Bezkravna L. Ya., Fanin Ya. S.

131 Proline content and lectin activity in different
soybean varieties during reproductive phases
of development

Skrypchenko N. V., Levon V. F., Venediktova T. B.,
Knysh V. P.

137 Peculiarities of the metabolism of fruit vines
Actinidia arguta (Siebold & Zucc.) Planch. ex Miq.
and *Schizandra chinensis* (Turcz.) Baill. in mixed
and mono-planting growth

PLANT PRODUCTION

Zelinska L. H., Fuchylo Ya. D.

145 Productivity of some varieties of basket willow
during the third three-year growing cycle

Medvedieva T. V., Natalchuk T. A.,
Rudnyk-Ivashchenko O. I.

154 Peculiarities of morphogenesis in lavender
and lavandin grown on hormone-free medium
under *in vitro* culture conditions

Pravdziva I. V., Vasylenko N. V., Shadchyna T. M.,
Shevchenko T. V.

159 Features of the formation of protein content
and wet gluten content of winter bread wheat
depending on the preceding crop

Analysis of soybean (*Glycine max* L.) breeding material using SSR markers

L. M. Prysiashniuk^{1*}, M. F. Parii², A. O. Iliuchenko¹, S. O. Kozlova¹,
I. S. Shliakhtun¹, L. V. Korol¹, S. I. Melnyk¹

¹Ukrainian Institute for Plant Variety Examination, 15 Horikhuvatskyi shliakh St., Kyiv, 03041, Ukraine,

*e-mail: prysiazhniuk_l@ukr.net

²Ukrainian Scientific Institute of Plant Breeding, 32 Vasylkivska St., Kyiv, 03022, Ukraine

Purpose. To determine the genetic diversity in soybean breeding material and select an effective set of SSR markers for hybridization assessment. **Methods.** Breeding (selection, reciprocal crosses), molecular (PCR, agarose gel electrophoresis), and statistical (hierarchical clustering, principal component analysis) methods were applied. Fifteen soybean breeding samples were analyzed using 10 SSR markers to identify polymorphic loci and evaluate genetic differentiation among parental and hybrid genotypes. **Results.** PCR analysis revealed from one to three alleles per locus. Seven markers (AW277661, Satt691, Satt349, Satt680, Satt545, Satt277, and Satt177) were polymorphic and effectively distinguished parental forms and hybrid combinations. Markers Satt152, Satt115, and Satt229 showed no polymorphism (allele frequency = 1.00), indicating their limited applicability for hybridization efficiency assessment. Hybrid combinations derived from parental forms No. 1 × No. 11, No. 1 × No. 15, and No. 1 × No. 17 showed two alleles at loci Satt349 and Satt691, confirming heterozygosity. Jaccard's similarity coefficients (0–0.75) indicated the formation of two major cluster groups and one separate cluster represented by parental form No. 11. Clustering and principal component analysis (PCA) results were consistent, with the first two components (PC1 – 38.687%, PC2 – 27.432%) explaining 96.838% of the total variance. The highest variability was associated with markers AW277661, Satt691, Satt349, Satt680, Satt545, and Satt277, demonstrating their high informativeness in reflecting genetic differentiation among genotypes. **Conclusions.** The results confirm the effectiveness of SSR markers for identifying soybean hybrid combinations and assessing genetic similarity among parental lines. Seven polymorphic markers are recommended for evaluating hybridization efficiency, while Satt177 is considered potentially informative for further use. The consistency between clustering and PCA results supports the reliability of the genetic structure obtained. To enhance heterosis expression and broaden the genetic base of breeding programs, crosses between genotypes from different clusters are advisable. The use of a comprehensive set of informative SSR markers can improve the accuracy of parental selection and accelerate the development of high-yielding soybean varieties.

Keywords: similarity coefficients; principal components; DNA analysis; allele; hybridization efficiency.

Introduction

The soybean (*Glycine max* L.) is one of the cheapest sources of protein and oil, accounting for around half of global oilseed production. It has

been cultivated for thousands of years, initially in China and East Asia before becoming the world's most widely grown oilseed crop [1]. Ukraine is the leading producer of soybeans among European countries and the eighth largest producer worldwide. There is significant potential for further growth in production and for the crop to become a major export for the country [2].

Larysa Prysiashniuk
<https://orcid.org/0000-0003-4388-0485>

Myroslav Parii
<https://orcid.org/0000-0001-9877-2241>

Alina Iliuchenko
<https://orcid.org/0009-0001-2678-3424>

Sofiia Kozlova
<https://orcid.org/0009-0000-5532-6866>

Ihor Shliakhtun
<https://orcid.org/0000-0003-4338-8474>

Larysa Korol
<https://orcid.org/0000-0003-1414-0015>

Serhii Melnyk
<https://orcid.org/0000-0002-5514-5819>



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

Since soybeans are a self-pollinating crop with a cross-pollination rate of less than one percent, breeders face a narrowing genetic base. Consequently, they rely on a limited number of selected genotypes as parental forms [3].

Breeders conduct various types of crosses between varieties or gene pool lines to alter the frequency of genes in the breeding population by promoting gene recombination. Proper management of the crossing scheme and breeding population is essential for achieving more genetically productive material [4].

A significant number of breeding programmes are operating in European countries with the aim of creating high-yielding soybean varieties to meet the needs of the rapidly growing market for protein raw materials. One of the key challenges for these programmes is the low morphological variability and limited or absent pedigree information of the source material, which makes the selection of genetically distant parental forms for hybridisation significantly more difficult [5]. Furthermore, relying solely on morphological characteristics can considerably slow down the breeding process, since a full vegetation cycle is usually necessary for evaluation. The genetic basis of modern soybean varieties can be broadened by examining molecular characteristics using DNA markers, which are more informative, stable and reliable than the morphological markers traditionally employed [5]. Recent studies have also shown that DNA markers are effective in predicting phenotype based on genotype using artificial intelligence tools [6].

Although SNP (Single Nucleotide Polymorphism) markers, particularly KASP (Competitive allele specific PCR), are currently among the most popular for breeding purposes, SSR analysis remains an effective and reliable method for assessing genetic diversity, determining hybrid formulas and identifying varieties.

Simple sequence repeats (SSRs) are an effective tool for assessing genetic diversity and determining the relatedness of genotypes. These markers have an advantage over other types of molecular markers in genetic research due to the high reproducibility of results. Using them does not require significant initial financial investment and ensures high genotyping efficiency due to the small amount of DNA required. Furthermore, the genotyping process using SSR markers can be fully or partially automated, significantly increasing the productivity and reliability of the analysis [7].

Numerous studies have investigated soybean genetic diversity using SSR markers. These studies have demonstrated the effectiveness of assessing genetic relationships, determining the origin of breeding material and identifying economically valuable traits [8–11].

The key criterion for the effectiveness of a breeding method is the degree of genetic variation. Breeders therefore strive to maximise genetic dispersion in the early stages of the breeding process by selecting genetically distant parental forms. In subsequent stages, they use selection methods that minimise the probability of the same genotype being included in subsequent generations. To objectively assess the effectiveness of these methods, it is advisable to use molecular markers, particularly SSR markers, to evaluate the genetic diversity preserved within populations bred using different methods [4].

The research aimed to determine the degree of genetic diversity in soybean breeding material, and to select an effective SSR marker system for assessing hybridisation.

Materials and methods

The research was conducted in 2024 and 2025. Fifteen soybean breeding samples from the Ukrainian Scientific Institute of Plant Breeding (Kyiv, Ukraine) were studied: four parental forms and 11 hybrid combinations. Hybridisation was carried out at the Ukrainian Scientific Institute of Plant Breeding using the reciprocal crossing method, and molecular genetic analysis was performed at the Ukrainian Institute for Plant Variety Examination (Kyiv, Ukraine).

DNA was extracted from 25 mg of soybean leaf material in two replicates using the CTAB method [13]. The genetic diversity of the soybean breeding material was studied using ten SSR markers recommended by the protocol for determining the molecular characteristics of new soybean varieties using microsatellites during examination for distinctness, uniformity and stability in Italy (see Table 1).

The reaction mixture (volume 10 µl) contained: 50 ng of DNA, 1.5×PCR buffer (10 mM Tris-HCl, pH 9.0; 50 mM KCl; 0.01% Triton X-100; 1.8 mM MgCl₂); 200 µM deoxynucleotide triphosphates (dNTPs), 0.50 µM of each primer, and 1 unit of Taq polymerase. PCR was performed on a SureCycle G8800A thermocycler (Agilent, USA) under the following temperature and time parameters: initial denaturation 94 °C for 2 min, Touchdown mode (10 cycles): denaturation 94 °C for 45 s; primer hybridization – from 60 °C to 50 °C, 45 s; elongation – 72 °C,

Table 1

Characteristics and nucleotide sequences of primers used in the study

No.	SSR	Primer sequence 5'→3'	Chromosome	Motif	Expected allele size, bp
1	Satt152	F* – CGCTATTCCTATCACAACAC R** – GGGTTGTCAGTGTGTTTC	03	(ATA) ₂₁	215–242
2	AW277661	F – GGTGCAATTTCTTGTTCAG R – AGTAAGACCCCGAAAGAAAG	04	(TAT) ₂₃	209–227
3	Satt545	F – AGGAATCTTCATCAGGACAA R – GGAAACACAAAGGAGTTGAA	05	(TTA) ₂₄	190–205
4	Satt277	F – GCGGGTTACTATTACTGCTG R – ACTACCACGCTTCAGTTGAT	06	(TTA) ₁₃	169–238
5	Satt680	F – GGGATATCGTGAGCATAGTT R – CCGATTTTGGTTTCTCA	07	(ATT) ₄₈	349–400
6	Satt177	F – CGTTTCATTCCCATGCCAATA R – CCCGCATCTTTTCAACCAC	08	3bp	106–115
7	Satt349	F – AACGACCAACAACAGCTAAT R – TGCTTAACAAGTGCTCGAA	09	(AAT) ₁₀	195–213
8	Satt691	F – AAGATAAAAAGTAGATTGAAAGAA R – AACTCCACACCACACTACA	15	(ATT) ₁₇	177–207
9	Satt115	F – GGTTCGTTTTTATTGATG R – ACGACGAAATTGATGATAA	18	(TAT) ₁₈	132–153
10	Satt229	F – CACACCTGCTAAGGGAATAA R – CAACTACACTAGCATTGCATCT	19	(AAT) ₂₂	295–298

*F – forward primer; **R – reverse primer.

45 s; normal mode (35 cycles): denaturation – 94 °C, 1 min; primer hybridization – 55 °C, 1 min; elongation – 72 °C, 1 min; final elongation – 72 °C, 7 min.

The PCR products were visualised by electrophoresis in a 2% agarose gel in 0.5× TBE (Tris-borate buffer), using the standard method with ethidium bromide. Electrophoresis was performed for 1.5 hours at a field strength of 5 V/cm. The size of the obtained fragments was determined relative to the molecular weight marker using the TotalLab Tl120 computer program (trial version).

Statistical data processing

The presence or absence of a specific allele in the soybean breeding material samples was marked as 1 or 0 based on the obtained data. The samples were then grouped into clusters using the unweighted pair group method with arithmetic averages. Principal component analysis was applied using the XLSTAT computer program (trial version) to determine the variability of the soybean breeding material samples by SSR markers [16, 17].

Research results

PCR analysis of 15 soybean breeding samples using 10 SSR markers identified one to three alleles for each marker. Seven of the ten SSR markers used in the study were found to be polymorphic, enabling the identification of hybrid combinations resulting from the crossing of four parental forms. The allele frequencies obtained in the hybrid combinations ranged from 0.18 to 0.86 (see Table 2).

Table 2

Characteristics of the alleles identified in 11 hybrid combinations of the studied soybean samples

No.	SSR	Number of alleles, pcs.	Allele size, bp	Allele frequency
1	Satt152	1	230	1.00
2	AW277661	3	213–233	0.32–0.36
3	Satt545	2	180–207	0.14–0.86
4	Satt277	2	167–235	0.14–0.86
5	Satt680	2	376–400	0.18–0.82
6	Satt177	2	122–145	0.36–0.64
7	Satt349	2	200–215	0.18–0.82
8	Satt691	2	183–207	0.50
9	Satt115	1	155	1.00
10	Satt229	1	292	1.00

The obtained data show that the SSR markers Satt152, Satt115 and Satt229 identified alleles of the same size in the soybean samples' parental forms. This makes it impossible to use them to determine the effectiveness of hybridization, as evidenced by the frequency of alleles found in hybrid combinations – 1.00. Polymorphism was detected in at least two parental forms for the other seven SSR markers, which made it possible to identify heterozygotes in the obtained hybrid combinations (Figs. 1–2).

Based on PCR results using Satt349 SSR primers, it was determined that parental forms No. 1, No. 15 and No. 17 contain a 215 bp allele, while parental form No. 11 contains a 200 bp allele. Therefore, in the hybrid combinations resulting from crossing parental forms No. 1 and No. 11, two alleles measuring 200 and 215 bp were identified. In other hybrid combinations of the studied soybean samples, only one 215 bp allele was identified.

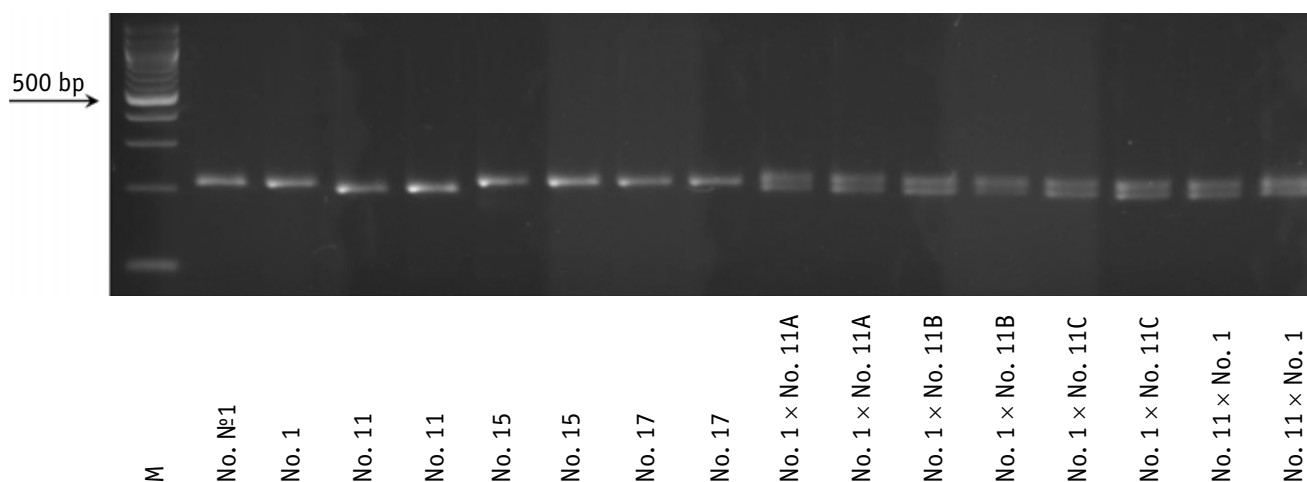


Fig. 1. Electrophoregram of soybean breeding material samples using the Satt349 marker: M – molecular weight marker 100 bp DNA Ladder (ThermoFisher Scientific, USA); No. 1, No. 11, No. 15, and No. 17 – parental forms of soybean breeding samples; No. 1 × No. 11A, No. 1 × No. 11B, No. 1 × No. 11C, and No. 11 × No. 1 – hybrid combinations

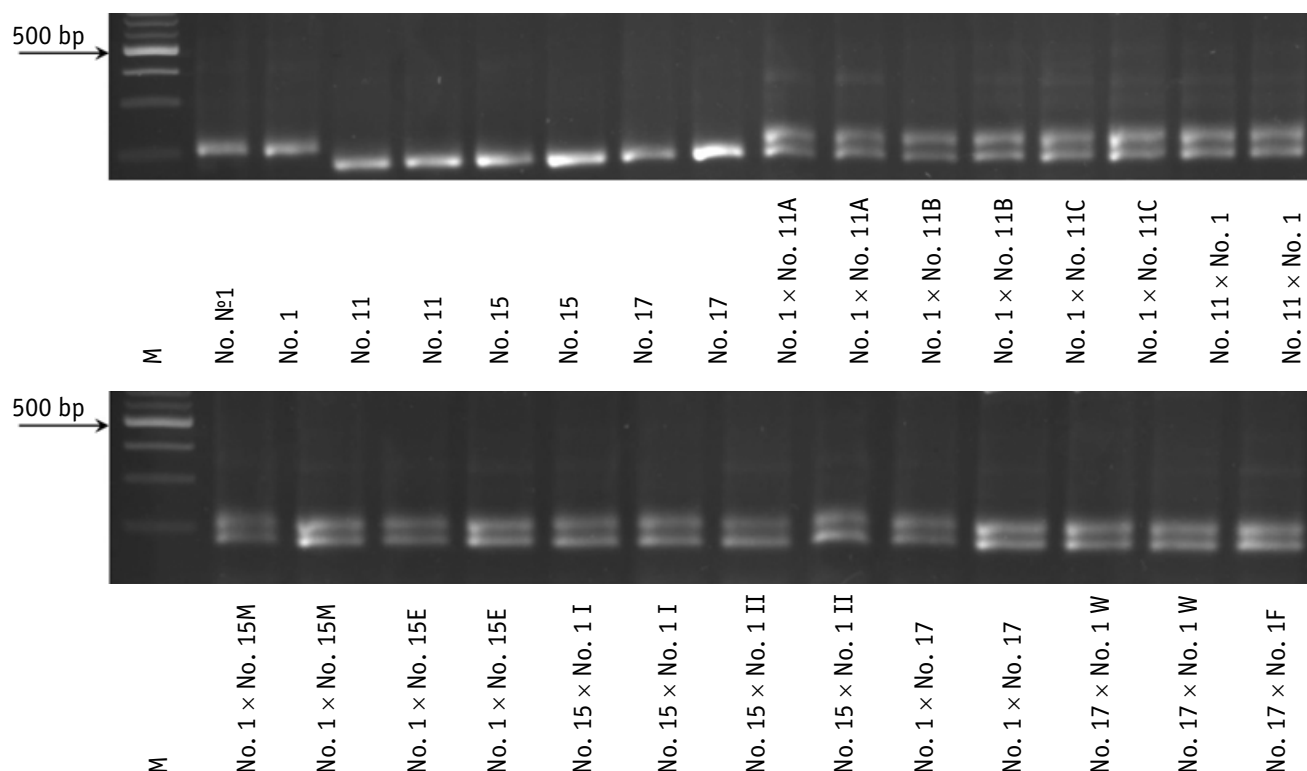


Fig. 2. Electrophoregram of soybean breeding material samples using the Satt691 marker: M – molecular weight marker 100 bp DNA Ladder (ThermoFisher Scientific, USA); No. 1, No. 11, No. 15, and No. 17 – parental forms of soybean breeding samples; No. 1 × No. 11A, No. 1 × No. 11B, No. 1 × No. 11C, No. 11 × No. 1, No. 1 × No. 15M, No. 1 × No. 15E, No. 15 × No. 1I, No. 15 × No. 1II, No. 1 × No. 17, No. 17 × No. 1W, and No. 17 × No. 1F – hybrid combinations

Hybrid combinations obtained by crossing parental forms No. 1 and No. 11, No. 1 and No. 15, and No. 1 and No. 17, and using the Satt691 marker, demonstrated the presence of 183 and 207 bp alleles.

The analysis revealed heterozygous forms for all hybrid combinations that contained the two alleles identified in the parental forms by the Satt691 marker. The effectiveness of SSR markers in assessing hybridisation between parental

forms has been confirmed by other scientists. Thus, the authors identified polymorphic SSR loci in the parental lines and forms that enable the effectiveness of hybridisation to be assessed, significantly accelerating the breeding process [3, 18, 19]. Therefore, when using SSR markers to evaluate hybrid combinations, it is important to select markers that are characterised by a high level of polymorphism to enable accurate differentiation of alleles inherited from each parent.

It was revealed that the genotypes were divided into two cluster groups and one separate cluster according to Jacquard's similarity coefficients of the studied soybean breeding samples (Fig. 3).

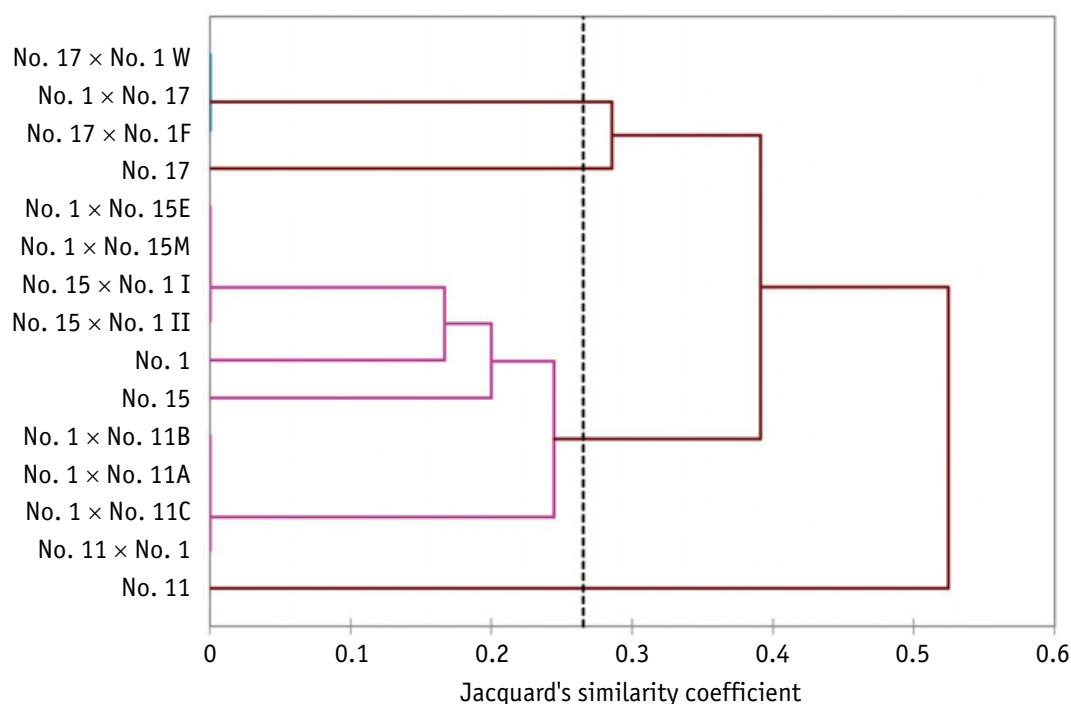


Fig. 3. Dendrogram of relationships between soybean breeding material samples based on 10 SSR markers (2024–2025)

The first cluster group consisted of genotypes obtained from the hybridisation of parental forms No. 1 and No. 17, as well as parental form No. 17 itself. The second cluster group included parental forms No. 1 and No. 15, their hybrid combinations and those resulting from crossing No. 1 with No. 11. Based on the alleles determined by 10 SSR markers, it should be noted that parental form No. 11 is distributed in a separate cluster.

According to Jacquard, the obtained values of similarity coefficients indicate that parental forms No. 1 and No. 15 are the most genetically similar, with a coefficient of 0.33. According to the 10 SSR markers studied, the most distinct parental forms are No. 11 and No. 17, with a similarity coefficient of 0.75. Parental forms No. 1 and No. 11 showed a fairly high level of difference, as evidenced by a Jacquard similarity coefficient of 0.67.

SSR markers are widely used to assess genetic diversity in the study of the soybean gene pool. According to the results of study [20], 14 polymorphic SSR markers were identified to assess 29 soybean genotypes of different origins. These formed two main cluster groups and four subgroups based on the obtained alleles. The authors demonstrated that the genotypes were distributed according to their origin and the similarity of the parental forms used in the

breeding programme. Our research also showed that the 15 soybean breeding samples formed cluster groups according to the genetic profile of the parental forms used to create hybrid combinations. The genetic diversity of the soybean breeding samples was studied based on SSR markers [11]. Jacquard similarity coefficients, obtained based on 367 alleles from 56 soybean genotypes, showed a level of genetic similarity ranging from 0.29 to 0.95 between genotypes. In our studies, the similarity coefficients ranged from 0 to 0.75. The zero Jacquard similarity coefficients obtained in our studies indicate the absence of polymorphism for three SSR markers in the soybean parental forms. Close genetic links (0.17–0.27) may indicate high similarity between parental forms and low marker polymorphism. However, the data obtained indicates that genotypes from two different cluster groups can be used as potential candidates for hybridisation to enhance the heterosis effect.

The study [21] demonstrates the effectiveness of using SSR markers to evaluate the hybridisation results of soybean parental forms. Thanks to the codominant properties of SSR markers, the authors were able to identify hybrid forms based on 11 cross combinations. Our work also shows that the difference between the sizes of identified alleles for seven SSR markers in parental genotypes allowed us to

identify hybrid forms of the studied soybean breeding samples.

Principal component analysis was used to study the dataset's multidimensional relationships, reflecting the proportion of genetic variation based on similarity indices for the studied SSR markers. To study the proportion of genetic variation reflected in the dataset, a principal component analysis based on similarity indices for the SSR markers was performed. The results showed that five of the six components had a weight greater than 1.0, together explaining 96.838% of the variability in the genotypes studied (see Table 3).

Table 3

The significance of the main components of soybean breeding material samples according to SSR markers

Principal components (PC)	Weight of principal component	Variability, %	Cumulative dispersion, %
PC1	5.803	38.687	38.687
PC2	4.115	27.432	66.120
PC3	1.953	13.020	79.140
PC4	1.526	10.173	89.313
PC5	1.129	7.526	96.838
PC6	0.474	3.162	100.000

Using 10 SSR markers, it has been established that PC1 and PC2 determine 38.687% and 27.432%, respectively, of the variability of soybean breeding material samples. PC1 is associated with the presence of the following alleles: 233 bp for the AW277661 marker; 180 bp for the Satt545 marker; and 167 bp for the Satt277 marker. Meanwhile, PC2 is associated with the presence of the following alleles: 227 bp for AW277661, 207 bp for Satt691, 215 bp for Satt349, and 376 bp for Satt680 (see Table 4).

According to the obtained data, the greatest variability among soybean breeding material samples is associated with the following alleles: AW277661, Satt691, Satt349, Satt680, Satt545 and Satt277. The values of the principal component eigenvectors for the Satt115, Satt229 and Satt152 markers are zero, which indicates an absence of polymorphism for these markers among the studied samples.

The results of the PCA enabled us to identify two distinct groups: Group I and Group II, as well as two separate genotypes, No. 11 and No. 17, which were used as parental forms during hy-

Table 4

Principal component eigenvectors for soybean breeding material samples based on SSR markers

SSR	Alleles, bp	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6
AW277661	213	-0.315	-0.100	0.422	0.053	-0.123	-0.168
	227	-0.022	0.473	-0.005	0.122	0.114	-0.294
	233	0.356	-0.119	0.188	0.292	0.059	-0.078
Satt177	122	-0.350	0.057	-0.038	-0.239	0.388	0.170
	145	0.163	0.295	0.375	-0.133	-0.186	0.556
Satt691	183	-0.031	-0.103	0.261	0.066	0.839	0.184
	207	0.000	0.427	0.217	0.176	-0.125	0.439
Satt349	200	-0.315	-0.100	0.422	0.053	-0.123	-0.168
	215	0.191	0.361	0.157	-0.299	0.102	-0.346
Satt680	376	0.191	0.361	0.157	-0.299	0.102	-0.346
	400	-0.315	-0.100	0.422	0.053	-0.123	-0.168
Satt115	155	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Satt229	292	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Satt152	230	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Satt545	180	0.356	-0.119	0.188	0.292	0.059	-0.078
	207	-0.221	0.283	-0.163	0.464	0.053	-0.055
Satt277	167	0.356	-0.119	0.188	0.292	0.059	-0.078
	235	-0.221	0.283	-0.163	0.464	0.053	-0.055

*Red indicates principal component eigenvectors with absolute values greater than 0.300.

bridisation (see Fig. 4). Group I comprised samples of breeding material resulting from the hybridisation of parental forms No. 1, No. 11 and No. 15 in various combinations. Group II consisted exclusively of samples resulting from various combinations of the hybridisation of parental forms No. 1 and No. 17.

The results of the PCA are comparable with the cluster analysis data. The latter showed the difference between the parental forms No. 11 and No. 17. It also allowed us to identify two cluster

groups formed by hybrid combinations of the parental forms No. 1, No. 11 and No. 15. There was a separate group formed by the hybridisation of the parental forms No. 1 and No. 17.

The study [22] presents the results of an analysis of soybean samples from various origins, conducted using SSR markers. The authors identified patterns in the distribution of the samples according to their origin, as determined by principal component analysis. This was also confirmed by the genetic distances

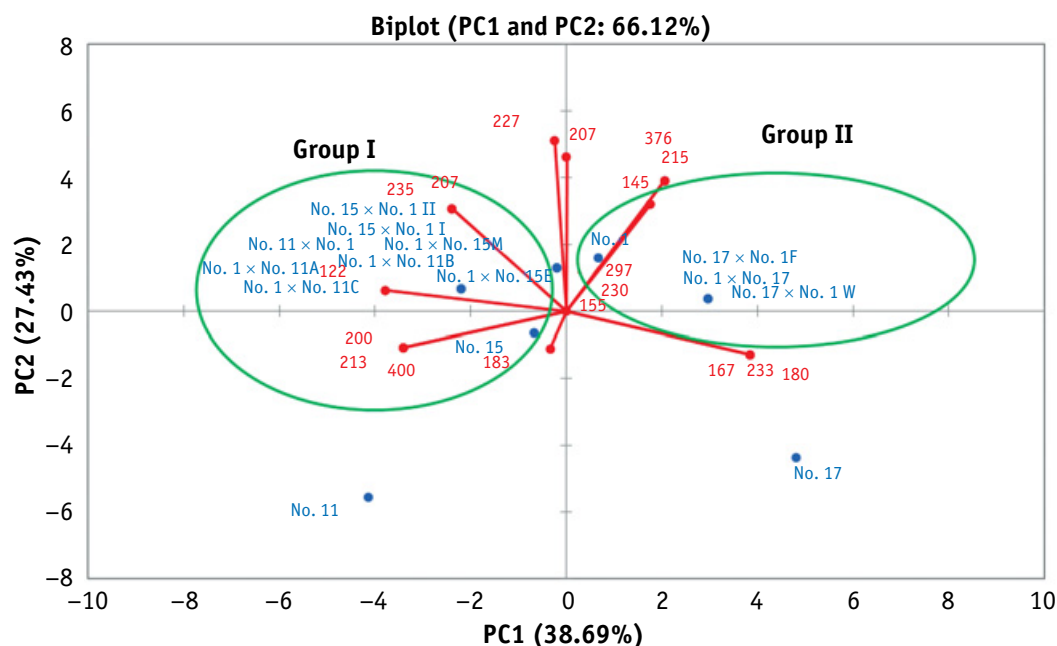


Fig. 4. Results of the PCA of soybean breeding material samples (2024–2025)

between the samples, according to which they were distributed into corresponding cluster groups. In our study, the soybean genotypes examined also formed two groups based on the results of the PCA and the genetic distances obtained by Jacquart, indicating their genetic differences. According to the results obtained [3], the soybean genotypes under study were divided into three groups based on the alleles identified by SSR markers. The authors demonstrated that 28.9% of the variability in the soybean samples studied using SSR markers was explained by the first two principal components. In our study, PC1 and PC2 explained 96.838% of the variability in the genotypes, indicating the high informativeness of the selected molecular markers and the significant effectiveness of the analysis in reflecting genetic differentiation between samples. The results obtained from clustering and PCA are consistent with each other. This contributes to a deeper understanding of the genetic structure of the breeding material, which is important for improving the efficiency with which selection, refinement and cross-planning are carried out in future breeding programmes. The optimal approach is to carry out crosses between representatives of different clusters or groups to expand and maintain genetic diversity.

Thus, the main components revealing 96.838% of the variability in the studied genotypes enabled six markers to be identified for evaluating the effectiveness of hybridisation in the studied soybean breeding samples: AW277661, Satt691, Satt349, Satt680, Satt545 and Satt277. Additionally, based on the absolute values of the

eigenvectors of the other principal components and the allele frequencies identified by the Satt177 marker (0.36–0.64), this marker is also promising for determining hybridisation efficiency.

Conclusions

The research showed that seven out of ten SSR markers were polymorphic, enabling the effective identification of hybrid soybean combinations obtained by crossing four parental forms. The polymorphism detected for most of the markers (AW277661, Satt691, Satt349, Satt680, Satt545, Satt277 and Satt177) indicates their high level of informativeness and suitability for evaluating hybridisation. These markers have been found to be useful for establishing heterozygosity in hybrid combinations, providing reliable confirmation of successful crossings. The results confirm the feasibility of using SSR markers to control hybridity and assess genetic relatedness in soybean breeding material.

The results of PCA and genotype clustering were consistent, indicating the analysis's high accuracy and stability. Principal components 1 and 2 together explain 96.838% of the variability, demonstrating the effectiveness of the selected SSR markers in reflecting genetic differentiation between the samples under study. The formation of two main cluster groups and two separate genotypes (No. 11 and No. 17) demonstrates the clear genetic structure of the material under study. Therefore, to increase the effect of heterosis and expand genetic diversity, it is advisable to cross representatives of

the different clusters, ensuring the effectiveness of future breeding programmes.

References

- Wang, X., Qi, Y., Sun, G., Zhang, S., Li, W., & Wang, Y. (2024). Improving Soybean Breeding Efficiency Using Marker-Assisted Selection. *Molecular Plant Breeding*, 15(5), 259–268. <https://doi.org/10.5376/mpb.2024.15.0025>
- Didur, I. M., & Holovanyuk, A. B. (2025). Status and prospects of soybean production in Ukraine. *Agrarian Innovations*, 30, 193–196. <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2025.30.27> [In Ukrainian]
- Clever, M., Phinehas, T., Mcebisi, M., Shorai, D., Isaac, O. D., Tonny, O., Hellen, K., & Patrick, R. (2020). Genetic diversity analysis among soybean genotypes using SSR markers in Uganda. *African Journal of Biotechnology*, 19(7), 439–448. <https://doi.org/10.5897/ajb2020.17152>
- Khosla, G., Gill, B. S., Sirari, A., & Singh, P. (2022). Assessment of efficiency of breeding methods using molecular markers in soybean. *Genetika*, 54(1), 265–274. <https://doi.org/10.2298/gensr2201265k>
- Žulj Mihaljević, M., Šarčević, H., Lovrić, A., Andrijačić, Z., Sudarić, A., Jukić, G., & Pejić, I. (2020). Genetic diversity of European commercial soybean [*Glycine max* (L.) Merr.] germplasm revealed by SSR markers. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 67(6), 1587–1600. <https://doi.org/10.1007/s10722-020-00934-3>
- Singh, A. K., Jones, S. E., Van der Laan, L., Ayanlade, T. T., Raigne, J., Saleem, N., Joshi, S., Arshad, M. A., ZareMehrdi, H., Rairdin, A., Di Salvo, J., Elango, D., De Azevedo Peixoto, L., Jubery, T. Z., Krishnamurthy, A., Singh, A., Sarkar, S., & Ganapathysubramanian, B. (2025). Use of artificial intelligence in soybean breeding and production. *Advances in Agronomy*, 190, 199–273. <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2024.11.003>
- Kujane, K., Sedibe, M. M., & Mofokeng, A. (2019). Genetic diversity analysis of soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) genotypes making use of SSR markers. *Australian Journal of Crop Science*, 13(7), 1113–1119. <https://doi.org/10.21475/ajcs.19.13.07.p1638>
- Hwang, T.-Y., Gwak, B. S., Sung, J., & Kim, H.-S. (2020). Genetic Diversity Patterns and Discrimination of 172 Korean Soybean (*Glycine max* (L.) Merrill) Varieties Based on SSR Analysis. *Agriculture*, 10(3), Article 77. <https://doi.org/10.3390/agriculture10030077>
- Carpentieri-Pipolo, V., Barreto, T. P., Silva, D. A. da, Abdelnoor, R. V., Marin, S. R., & Degraasi, G. (2021). Soybean Improvement for Lipoxigenase-free by Simple Sequence Repeat (SSR) Markers Selection. *Journal of Botanical Research*, 3(1), 23–31. <https://doi.org/10.30564/jrb.v3i1.2818>
- Thakur, R., Kumari, V., Gupta, S., Chahota, R. K., Isobe, S., Shirasawa, K., Vangala, R., Bisht, A., & Kumar, N. (2025). Elucidating Morpho-Molecular Diversity in Soybean Germplasm Using SSR Markers. *Plant Molecular Biology Reporter*, 43(3), 1551–1565. <https://doi.org/10.1007/s11105-025-01569-3>
- Achina, T., Amoako, F. A., Amoah, S., Karikari, B., Acheampong, S., Quain, M. D., & Salifu, S. P. (2025). Molecular characterization of soybean accessions using SSR markers and unveiling the genetic diversity. *Molecular Biology Reports*, 52(1), Article 563. <https://doi.org/10.1007/s11033-025-10652-7>
- Khan, M. W., Shaheen, A., Zhang, X., Zhang, J., Dewir, Y. H., & Magyar-Tábori, K. (2024). Generation and Assessment of Soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) Hybrids for High-Efficiency Agrobacterium-Mediated Transformation. *Life*, 14(12), Article 1649. <https://doi.org/10.3390/life14121649>
- Gupta, N. (2019). DNA extraction and polymerase chain reaction. *Journal of Cytology*, 36(2), 116–117. https://doi.org/10.4103/JOC.JOC_110_18
- Protocollo per la realizzazione della caratterizzazione molecolare con marcatori microsatelliti di nuove varietà di soia. (2017). *Gazzetta Ufficiale Della Repubblica Italiana*, 50, 36–40. Retrieved April 21, 2025 from <https://www.gazzettaufficiale.it/eli/id/2017/04/24/17G00063/sg>
- Prysiazniuk, L. M., Hryniv, S. M., Melnyk, S. I., Shytkova, Yu. V., Dikhtiar, I. O., & Tahanstova, M. M. (2023). *Molecular genetic analysis methods for assessing plant varieties for DUS and variety identification: Guidelines*. TVORY. <https://doi.org/10.21498/978-617-552-337-7> [In Ukrainian]
- Wierzcchoń, S., & Kłopotek, M. (2018). Modern Algorithms of Cluster Analysis. In *Studies in Big Data*. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-69308-8>
- Bugaud, C., Maraval, I., & Meghar, K. (2022). RTBfoods Manual - Part 3 - Tutorial: Statistical Analyses (PCA and multiple regression) to visualise the sensory analysis data and relate it to the instrumental data. *Biophysical characterization of quality traits, WP2. RTBfoods Project; CIRAD*. <https://doi.org/10.18167/AGRITROP/00710>
- Patel, V., Tripathi, M. K., Shrivastava, R. K., Tiwari, S., Chauhan, S., Tripathi, N., Pandya, R. K., Parihar, P., Khandelwal, V., & Satya-vathi, C. T. (2023). Detection of True Hybrids in Pearl Millet Cross Combinations by Employing SSR Molecular Markers. *International Journal of Environment and Climate Change*, 13(10), 2366–2377. <https://doi.org/10.9734/ijec/2023/v13i102901>
- Adefiranye, A. O., Ogunkanmi, L. A., Adeyemo, O. A., Shonde Olatunde, T. E., Paliwal, R., Abberton, M. T., & Oyatomi, O. A. (2024). Analysis of Parent and F₁ Progeny Verification in African Yam Bean (*Sphenostylis stenocarpa* Hochst. Ex. A.Rich. Harms) Using Cowpea SSR Markers. *Crops*, 4(4), 480–490. <https://doi.org/10.3390/crops4040034>
- Kumar, S. P. J., Susmita, C., Sripathy, K. V., Agarwal, D. K., Pal, G., Singh, A. N., Kumar, S., Rai, A. K., & Simal-Gandara, J. (2021). Molecular characterization and genetic diversity studies of Indian soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) cultivars using SSR markers. *Molecular Biology Reports*, 49(3), 2129–2140. <https://doi.org/10.1007/s11033-021-07030-4>
- Li, F., Liu, X., Wu, S., Luo, Q., & Yu, B. (2019). Hybrid identification for *Glycine max* and *Glycine soja* with SSR markers and analysis of salt tolerance. *PeerJ*, 7, Article e6483. <https://doi.org/10.7717/peerj.6483>
- Rani, R., Raza, G., Tung, M. H., Rizwan, M., Ashfaq, H., Shime-lis, H., Razzaq, M. K., & Arif, M. (2023). Genetic diversity and population structure analysis in cultivated soybean (*Glycine max* [L.] Merr.) using SSR and EST-SSR markers. *PLOS ONE*, 18(5), Article e0286099. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0286099>

УДК 633.853.52: 575.222.2: 577.213.3

Присяжнюк Л. М.^{1*}, Парій М. Ф.², Ілюченко А. О.¹, Козлова С. О.¹, Шляхтун І. С.¹, Король Л. В.¹, Мельник С. І.¹ Аналіз селекційного матеріалу сої культурної (*Glycine max* L.) з використанням SSR маркерів. *Plant Varieties Studying and Protection*. 2025. Т. 21, № 3. С. 112–120. <https://doi.org/10.21498/2518-1017.21.3.2025.339310>

¹Український інститут експертизи сортів рослин, вул. Горіхуватський шлях, 15, м. Київ, 03041, Україна, *e-mail: prysiazhniuk_l@ukr.net

²Всеукраїнський науковий інститут селекції, вул. Васильківська, 32, м. Київ, 03022, Україна

Мета. Визначити ступінь генетичного різноманіття селекційного матеріалу сої та дібрати ефективну систему SSR маркерів для оцінювання гібридизації. **Методи.** Селекційні (добір, реципрокні схрещування), молекулярні (ПЛР, електрофорез в агарозному гелі), статистичні (ієрархічна кластеризація, аналіз головних компонент).

Результати. За результатами проведеного ПЛР аналізу 15 зразків селекційного матеріалу сої за 10 SSR маркерами ідентифіковано від одного до трьох алелів на локус. З них сім маркерів (AW277661, Satt691, Satt349, Satt680, Satt545, Satt277 і Satt177) виявилися поліморфними та продемонстрували здатність розрізняти батьківські форми й гібридні комбінації. У маркерів Satt152, Satt115 і Satt229 встановлено відсутність поліморфізму (частота алелів – 1,00). Це унеможливило їх застосування для оцінювання ефективності схрещувань. У гібридних комбінаціях, отриманих від батьківських форм № 1 × № 11, № 1 × № 15 та № 1 × № 17, за маркерами Satt349 і Satt691 ідентифіковано по два алелі, що підтверджує наявність гетерозиготності. За коефіцієнтами подібності Жаккарда в діапазоні 0–0,75 досліджувані зразки сформували дві основні кластерні групи та окремий кластер батьківської форми № 11. Одержані результати кластеризації та аналізу головних компонент (ГК) узгоджуються

між собою. Перші дві компоненти (ГК1 – 38,687%, ГК2 – 27,432%) пояснюють 96,838% варіабельності вивчених генотипів. Найвищу варіабельність виявлено для маркерів AW277661, Satt691, Satt349, Satt680, Satt545 і Satt277, що свідчить про їхню значну інформативність у відображенні генетичних відмінностей між зразками.

Висновки. Отримані результати підтверджують ефективність використання SSR маркерів для ідентифікації гібридних комбінацій сої та оцінювання генетичної подібності між батьківськими формами. Визначено, що сім поліморфних маркерів можуть бути рекомендовані для контролю ефективності гібридизації. Узгодженість результатів кластеризації та аналізу головних компонент свідчить про достовірність отриманої структури генетичних взаємозв'язків. З метою посилення ефекту гетерозису та розширення генетичної бази селекційних програм доцільним є здійснення схрещувань між представниками різних кластерних груп. Застосування комплексу інформативних SSR маркерів дає змогу підвищити точність добору батьківських компонентів і прискорити селекційний процес у програмі створення високопродуктивних сортів сої.

Ключові слова: коефіцієнти подібності; головні компоненти; ДНК-аналіз; алель; ефективність гібридизації.

Надійшла / Received 11.08.2025
Погоджено до друку / Accepted 02.09.2025

Карпологічні особливості рослин різних сортів рижю посівного *Camelina sativa* (L.) Crantz з генофонду Національного ботанічного саду імені М. М. Гришка НАН України

Д. Б. Рахметов, О. П. Бондарчук*, С. О. Рахметова

Національний ботанічний сад імені М. М. Гришка НАН України, вул. Садово-Ботанічна, 1, м. Київ, 01103, Україна,
*e-mail: bondbiolog@gmail.com

Мета. Провести макро- та мікоморфологічний аналіз і визначити морфометричні показники рослин різних сортів рижю посівного *Camelina sativa* (L.) Crantz, мобілізованих та створених у Національному ботанічному саду імені М. М. Гришка НАН України (НБС), для встановлення їхньої селекційної цінності як джерела генетичного різноманіття. **Методи.** У процесі досліджень використовували інтродукційні та селекційно-генетичні зразки *C. sativa*, відібрані на базі НБС та ДСВ ІФРГ НАН України «Глеваха». Морфологічний опис плодів і насіння проводили із застосуванням біометричних і порівняльних методів та цифрової фіксації в різних проєкціях відповідно до усталеної морфологічної термінології. Морфометричні показники визначали за допомогою вимірювальних інструментів (електронного цифрового штангенциркуля «Gepetis», вимірювальної стрічки Xíao mǐ Duka SD). Масу 1000 насінин оцінювали згідно з міжнародними стандартами в десятиразовій повторності. Обробку експериментальних даних здійснювали в середовищі Microsoft Excel (2019), розраховуючи базові описові статистичні параметри. **Результати.** За результатами морфолого-біологічного аналізу 35 різних сортів *C. sativa* з колекційного фонду НБС встановлено значну варіабельність морфометричних показників плодів і насіння. Вперше здійснено комплексне вивчення карпологічних характеристик дослідних рослин (лінійних розмірів плодів, маси 1000 насінин, форми та площі поперечного перерізу), що дало змогу класифікувати генотипи за типом насіння (дрібно-, середньо- та крупнонасінні). Найліпші морфометричні показники зафіксовано в сортів 'Руно', 'Ранок' і форм ЕОРЖЯФ-1 та ЕОРЖЯФ-2. Отримані дані можуть мати практичне значення для створення високопродуктивних культиварів рижю посівного як перспективної олійної культури, адаптованої до умов України. **Висновки.** Проведене карпологічне дослідження дало змогу ідентифікувати сорти *C. sativa* з високим морфолого-біологічним потенціалом. Зокрема, 'Ранок', 'Руно', а також форми ЕОРЖЯФ-1 та ЕОРЖЯФ-2 мали суттєву перевагу над іншими генотипами за мікро- й макроморфологічними особливостями та морфометричними показниками плодів і насіння. Виділено три групи рослин за крупністю плоду, критерієм встановлення якої є площа поперечного перерізу. Отримані результати можуть стати підґрунтям для подальших селекційних досліджень, мета яких – створення конкурентоспроможних сортів із високою насінневою продуктивністю. Це сприятиме розширенню спектра альтернативних олійних культур в Україні.

Ключові слова: *Camelina sativa*; карпологічні особливості; олійні культури; генотипи рослин; мікро- та макроморфологічні особливості; адаптивний потенціал.

Вступ

Україна є одним із гарантів глобальної продовольчої безпеки, а також посідає провідні позиції в Європі та світі за обсягами виробництва й експорту олії та олійної продукції.

Нині у нашій, а також значній частині європейських держав серед найважливіших олійних культур виділяють ріпак. Для його

вирощування використовують 10–14% ріллі [1], утім він є досить виснажливим для ґрунтів. У країнах з вираженим континентальним кліматом (зокрема й в Україні) рівень щорічного виробництва ріпаку залишається нестабільним, що спричинено низькою морозостійкістю. В умовах Центральної України його високі врожаї можна отримати раз на два-три роки. До того ж олія цієї культури не найліпша для використання в харчових цілях через її склад за вмістом ненасичених жирних кислот. Тому актуальним є впровадження у сільськогосподарське виробництво нетрадиційних і нових високопродуктивних олійних рослин, здатних не тільки конкурувати з ріпаком, але й переважати його за важливими характеристиками.

Dzhamal Rakhmetov
<https://orcid.org/0000-0001-7260-3263>

Oleksandr Bondarchuk
<https://orcid.org/0000-0001-6367-9063>

Svitlana Rakhmetova
<https://orcid.org/0000-0002-0357-2106>



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

Рижий посівний [*Camelina sativa* (L.) Crantz], насіння якого є джерелом цінної олії, вирощують як культурну рослину з 4000 року до н. е. Його поширення на територію Південної і Центральної Скандинавії та Фінляндії відбулося приблизно у 1800 році до н. е., про що свідчать знайдені й датовані цим періодом рештки насіння та стручків [2]. Із XVI ст. рижий почали активно культивувати в районах Середземномор'я та в Середній Європі; також практикували посіви в Середній Азії [3]. У Північній і Східній Європі (Франція, Бельгія) та на Балканах *C. sativa* вирощували і споживали як олійну культуру до 1930–40-х рр., доки на зміну не прийшли доступніші та високоврожайні ріпак і соняшник. Наприклад, в індустріальну епоху у Швеції попит на олію рижю настільки впав, що до 1929 року довелося повністю припинити її виробництво. Наразі *C. sativa* широко культивується в Канаді та США, рідше – в Китаї, а також на півночі та сході Європи, зокрема в Ірландії, Фінляндії, Німеччині, Австрії, Україні, Польщі, Словенії та Італії [4–11].

На теренах України рижий початково розглядали переважно як бур'ян у посівах. Утім у другій половині XIX ст. його було введено в широку культуру. Від початку й до середини XX ст. *C. sativa* успішно вирощувався й залишався традиційною олійною рослиною на територіях сучасних Полтавської, Чернігівської, Київської та Херсонської областей [3, 11–14].

Батьківськими регіонами рижю посівного вважають Північну Європу та Південно-Східну Азію. Україну нині визначають як осередок генетичного різноманіття та ймовірний центр походження *C. sativa* [15]. Адже в його зразках із цієї території фіксують посилені поліморфізм окремих органів, що вказує на значний ступінь генетичної варіації [9]. Це відбувається на тлі іншого обмеженого генетичного різноманіття, хоча сучасна зародкова плазма містить достатню фенотипову варіативність для забезпечення агрономічного прогресу [16]. Доведено, що врожайність насіння пов'язана з генотипом рослини [17], а кількісний уміст олії є сильною спадковою ознакою [18].

Карпологічні характеристики (морфологія плодів і насіння) є важливим джерелом інформації для селекційної практики. Вони слугують індикаторами агрономічно значущих властивостей, таких як схожість, енергія проростання, вирівняність посівів і початкові темпи росту [18–20]. Продемонстровано, що маса насіння прямо пов'язана зі ймовірністю проростання та силою росту сійок, що робить цю ознаку цінним предиктором у селекції [21]. Карпологічні дослідження також не-

обхідні для колекційної роботи. Варіація морфометрії насіння може бути проміжною ланкою для оцінювання генетичного різноманіття, що дає змогу оптимізувати формування та підтримку генбанків, коли молекулярні маркери недоступні [22]. Подібні підходи поєднують морфологічні та молекулярні дані для більш ефективного управління селекційними ресурсами.

Інтеграція карпології з біохімічними та фізіологічними дослідженнями дає змогу будувати фенотипові моделі та виявляти ознаки, пов'язані зі схожістю й енергією проростання [19, 20]. Для культур, де важлива контрольована дормантність, це уможливорює точність добору генотипів.

Нині значну увагу приділяють плодовим та овочевим культурам, у яких морфологія плодів визначає товарну якість, однорідність і споживчі вподобання. Автоматизована морфометрія відкриває перспективи високопродуктивного фенотипування та поєднання з QTL-аналізом і геномною селекцією [23, 24].

У сучасних оглядах підкреслено важливість опису карпологічних особливостей рослин, завдяки якому можна забезпечити порівнянність даних між культурами [25]. У поєднанні з маркер-асистованим і геномним добором це стане важливим підґрунтям для прискорення селекційного прогресу [26, 27].

Отже, карпологічні дослідження є не лише інструментом систематики чи ботанічної характеристики, а й безпосередньо впливають на успішність сучасної селекційної практики.

Новітній аналіз внутрішньовидових карпологічних особливостей рослин роду *Camelina* або відсутній, або відображає лише взаємозв'язок між окремими показниками (морфометрією) та кількісним і якісним умістом олії [28]. Трапляються результати вивчення внутрішньовидових варіацій плодів і насіння інших представників родини *Brassicaceae* як важливих маркерних ознак для ідентифікації виду, а також адаптації організму до умов довкілля впродовж еволюційного розвитку [29, 30].

За результатами літературного скринінгу можна зробити висновок про необхідність вивчення карпології рослин *C. sativa* залежно від генотипових особливостей. Адже отримані дані є вагомими для майбутніх селекційних досліджень із метою створення високопродуктивних сортів, форм і гібридів та їхнього подальшого впровадження в агропробництво як цінної олійної культури. У розрізі цього питання в НБС імені М. М. Гришка НАН України сформовано генотипову колекцію рижю (приблизно 35 зразків) [31], що

сприяє збереженню різноманітності рослин *ex situ* та виведенню їхніх нових форм і сортів із підвищеними якісними та кількісними характеристиками фітосировини для забезпечення потреб різних сфер господарювання.

Мета досліджень – провести макро- та мікроморфологічний аналіз і визначити морфометричні показники рослин різних сортів рижію посівного *Camelina sativa* (L.) Crantz, мобілізованих та створених у Національному ботанічному саду імені М. М. Гришка НАН України (НБС), для встановлення їхньої селекційної цінності як джерела генетичного різноманіття.

Матеріали та методика досліджень

Польові та лабораторні дослідження проводили впродовж 2023–2024 рр. на території експериментальної бази Національного ботанічного саду імені М. М. Гришка НАН України (НБС) та Дослідного сільськогосподарського виробництва Інституту фізіології рослин і генетики НАН України (ДСВ ІФРГ НАН України «Глеваха»).

Польові досліді в чотириразовому повторенні закладали відповідно до чинних методик [32]. Розмір посівних ділянок становив 35–40 м², їхня облікова площа – 25–30 м². Розміщення варіантів за повтореннями рендомізоване.

Для морфологічного опису особливостей будови плодів та насіння здійснювали вимірювання й візуальне оцінювання, застосовуючи загальноприйнятну морфологічну термінологію за V. Bojňanský, A. Fargašová [33] та С. М. Зиман [34]. Також послуговувалися біометричним і порівняльним методами визначення зовнішніх і внутрішніх ознак, водночас проводили фотофіксацію в проекції за довжиною, шириною та в поперечному розрізі, використовуючи електричний USB-мікроскоп SIGETA Expert 10-300x 5.0 Mpx і цифрову фотокамеру Canon 400 D. Лінійні розміри фіксували електронним цифровим штангенциркулем «Generic» та вимірювальною стрічкою Xiaomi Duka SD.

Масу 1000 насінин оцінювали на електронних аналітичних вагах AXIS ANG 200C у десятиразовій повторності згідно з міжнародними правилами аналізу насіння [35].

Статистичну обробку отриманих даних виконували за допомогою програми Microsoft Excel 2010 (пакет «Аналіз даних»).

Результати досліджень

Простежити гетерогенність ознак різних генотипів, а також отримати додаткову інформацію для визначення стійкості рослин

проти несприятливих чинників довкілля можливо, здійснивши для будь-якого виду, роду чи навіть родини морфолого-біологічний аналіз особливостей плодів і насіння. Їхні розміри, маса та кількість можуть бути як критеріями оцінювання врожайності, так і свідчити про здатність до самовідновлення за тих чи інших умов інтродукції. Тому вивчення зазначених показників є важливим фактором у комплексі інших досліджень. З огляду на це було проаналізовано морфологічні особливості плодів і насіння відмітних генотипів *C. sativa*, інтродукованих із різних екологічних центрів, а також відібраних форм і сортів, виведених на базі відділу культурної флори НБС.

Плід у рослин рижію – це обернено яйцеподібний стручок світлого забарвлення із жовтуватим відтінком, сформований із двох плодолистків, між якими утворюється плівчаста поздовжня перетинка матового кольору (рис. 1).

Детальний аналіз плодів рослин, зокрема розмірів та кількості насінин в одній із двох частин стручка, дав змогу виявити низку відмінностей і розподілити інтродуценти на такі групи: крупнонасінні – ф. 1, сортозразок 'Північна красуня', ф. ЕОРЖЯФ-1, ф. ЕОРЖЯФ-3 та ф. ЕОРЖЯФ-5; із середньою крупністю насінин – ф. 2, ф. 3, ф. ЕОРЖЯФЧ, ф. ЕОРЖЯФ-2, 'Колондайт', 'Євро-12', 'Міраж' і 'Перемога'; дрібнонасінні – ф. ЕОРЖЯФ-4 та ф. ЕОРЖЯФД. Варто зазначити, що переважна більшість генотипів характеризувалася значною чисельністю насінин у стручку, а рослини ф. 1 та 'Євро-12' сформували малонасінні плоди апікальної частини стебла (рис. 2).

S. Kiani et al. [39] зазначають, що розмір і форма плодів та насіння рижію мало залежать від впливу мутацій, спровокованих створеними людиною канцерогенними речовинами, що свідчить про стабільність цих показників, закріплених упродовж еволюції. Отже, мінливість вказаних ознак у проведеному дослідженні, найімовірніше, спричинена низьким рівнем вологозабезпечення та високою температурою повітря в період зав'язування насіння.

Як порівняти з морфологічними особливостями (менш гетерогенними, тому на фото показано найтипівіші морфотипи), морфометричні показники залежно від генотипу характеризувалися більшою варіабельністю (рис. 3. А–В). Так, довжина плоду становила від 7,2 до 9,0 мм. Її максимальні значення продемонстрували сорти 'Руно', 'Перемога' та 'Євро-12', мінімальні – ф. ЕОРЖЯФ-3, р. дрібноплідний та ф. 4-ТФР. Загалом, за цим по-



Рис. 1. Морфологія плодів рослин *C. sativa* залежно від генотипових особливостей:

I – базальна, II – латеральна, III – апікальна частина стебла; 1 – ф. 1, 2 – ф. 2, 3 – ф. 3, 4 – ‘Північна красуня’, 5 – ф. ЕОРЖЯФ-4, 6 – ф. ЕОРЖЯФ-1, 7 – ф. ЕОРЖЯФ-2, 8 – ф. ЕОРЖЯФ-3, 9 – ф. ЕОРЖЯФ-4, 10 – ф. ЕОРЖЯФ-5, 11 – ф. ЕОРЖЯФД, 12 – ‘Колондайк’, 13 – ‘Євро-12’, 14 – ‘Міраж’, 15 – ‘Перемога’

казником виділено дві групи: короткоплідні (від 7,1 до 8,0 мм) – дрібноплідний, ф. ЕОРЖЯФ-5, ф. ЕОРЖЯФ-3, ‘Колондайк’, ф. 1-ТФР, ф. 2-ТФР, ф. 3-ТФР, ф. 4-ТФР і ф. 6-ТФР; довгоплідні (від 8,1 до 9,0 мм) – ф. 1, ф. 2, ф. 3, ф. ЕОРЖЯФД, ф. ЕОРЖЯФ-4, ф. ЕОРЖЯФ-2, ф. ЕОРЖЯФ-1, ‘Ранок’, ‘Руно’, ‘Сунесон’, ‘Міраж’, ‘Перемога’, ‘Євро-12’, ‘Північна красуня’, ф. 5-ТФР та ф. 7-ТФР.

Ширина стручка різних генотипів ризію змінювалася від 3,2 до 4,5 мм. Найбільшою вона була в ‘Руно’ та ф. 1, а найменшою – у ф. 3-ТФР та ф. ЕОРЖЯФ-3. Товщина варіюва-

ла в межах 3,4–4,2 мм. Її максимальні значення виявлено у ф. 3-ТФР та ‘Руно’, мінімальні – у ф. 7-ТФР та ‘Сунесон’. Найдовший носик плоду сформували рослини ф. 3-ТФР та ‘Ранку’ (по 2,1 см), а найкоротший – ‘Перемоги’ (1 см) та ‘Міражу’ (1,3 см).

Зважаючи на незначне співвідношення ширини та товщини плоду, було здійснено узагальнений розподіл генотипів за площею їхнього поперечного перерізу: мікроплощинна (від 3,0 до 3,5 мм) – дрібноплідний, ф. ЕОРЖЯФ-3, ф. 7-ТФР; мезоплощинна (від 3,6 до 4,0 мм) – ф. 2, ф. 3, ф. ЕОРЖЯФ-5, ф. ЕОР-

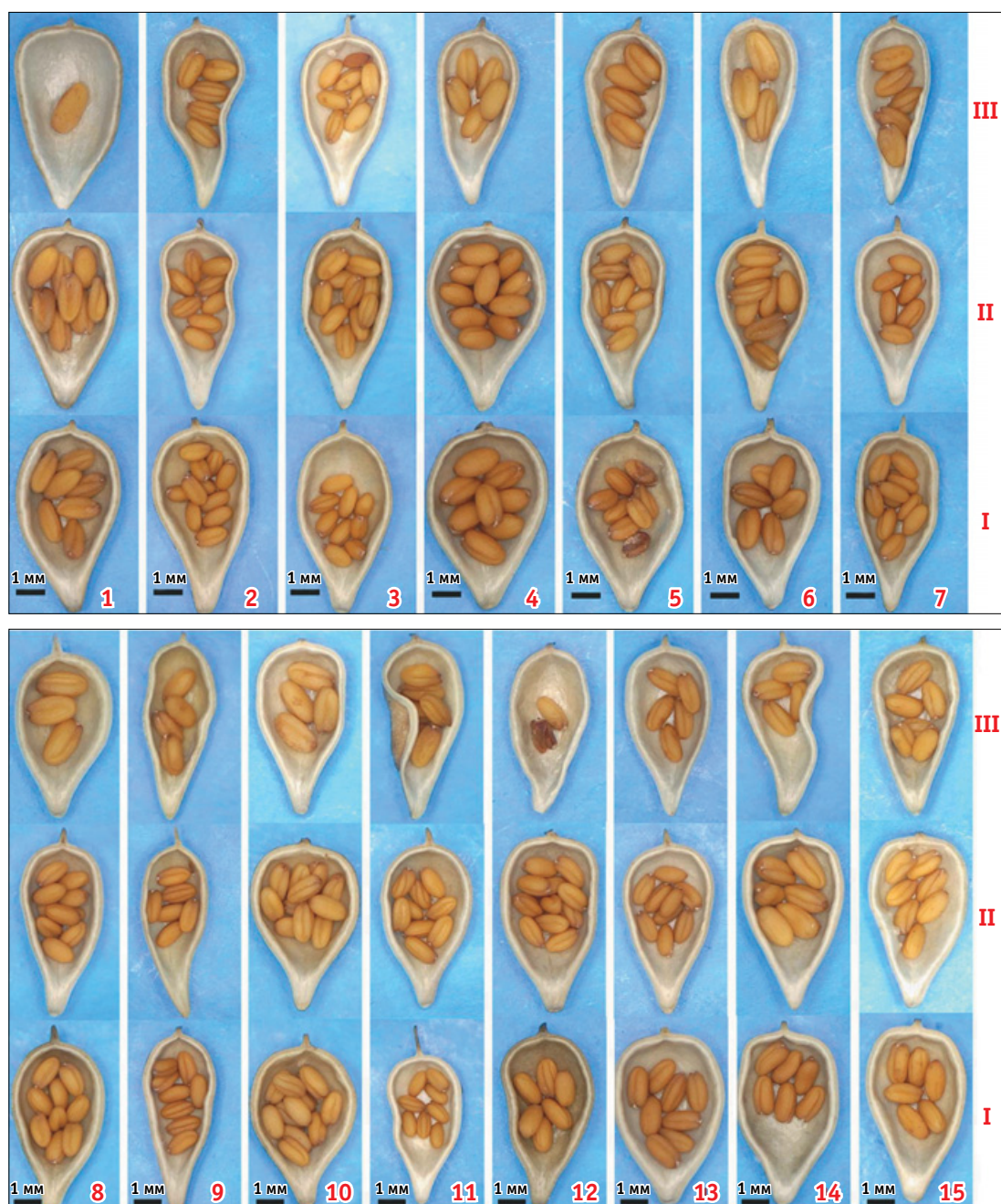


Рис. 2. Кількість насіння в частині стручка рослин *C. sativa* залежно від генотипових особливостей та ярусу розміщення: I – базальна, II – латеральна, III – апікальна частина стебла; 1 – ф. 1, 2 – ф. 2, 3 – ф. 3, 4 – ‘Північна красуня’, 5 – ф. ЕОРЖЯФ-4, 6 – ф. ЕОРЖЯФ-1, 7 – ф. ЕОРЖЯФ-2, 8 – ф. ЕОРЖЯФ-3, 9 – ф. ЕОРЖЯФ-4, 10 – ф. ЕОРЖЯФ-5, 11 – ф. ЕОРЖЯФД, 12 – ‘Колондайк’, 13 – ‘Євро-12’, 14 – ‘Міраж’, 15 – ‘Перемога’

ЖЯФ-3, ф. ЕОРЖЯФ-2, ф. ЕОРЖЯФ-1, ‘Ранок’, ‘Сунесон’, ‘Міраж’, ‘Колондайк’, ф. 2-ТФР, ф. 3-ТФР, ф. 4-ТФР, ф. 5-ТФР, ф. 6-ТФР; макроплощинна ($\geq 4,1$ мм) – ф. 1, ф. ЕОРЖЯФД, ЕОРЖЯФ-4, ‘Руно’, ‘Перемога’, ‘Євро-12’, сорт-зразок ‘Північна красуня’, ф. 1-ТФР.

Насіння рижію посівного відрізняється за формою. У рослин ф. 2 (яра форма) вона досить часто округла (рис. 4), а в решти – еліпсоподібна. Насінна ніжка щільно притиснута до насінини, вирівняна, або її верхівка відведена в бік.

Згідно з літературними даними [40, 41], *C. sativa* належить до дрібнонасінневої групи. Залежно від сортових і формових особливостей, а також умов вирощування маса 1000 насінин варіює в межах 0,6–2,2 г. У цьому дослідженні (для рослин із колекційного фонду НБС) вона становить 0,74–2,2 г. Найбільші її значення зафіксовано в ‘Руно’ та ф. ЕОРЖЯФ-2, а найменші – у ‘Сунесон’ і ф. 3 (рис. 5).

Зважаючи на значну сортову різницю, виділено такі групи: з найменшою масою 1000 насінин (від 0,71 до 1,10 г) – ф. 1, ф. 2, ф. 3,

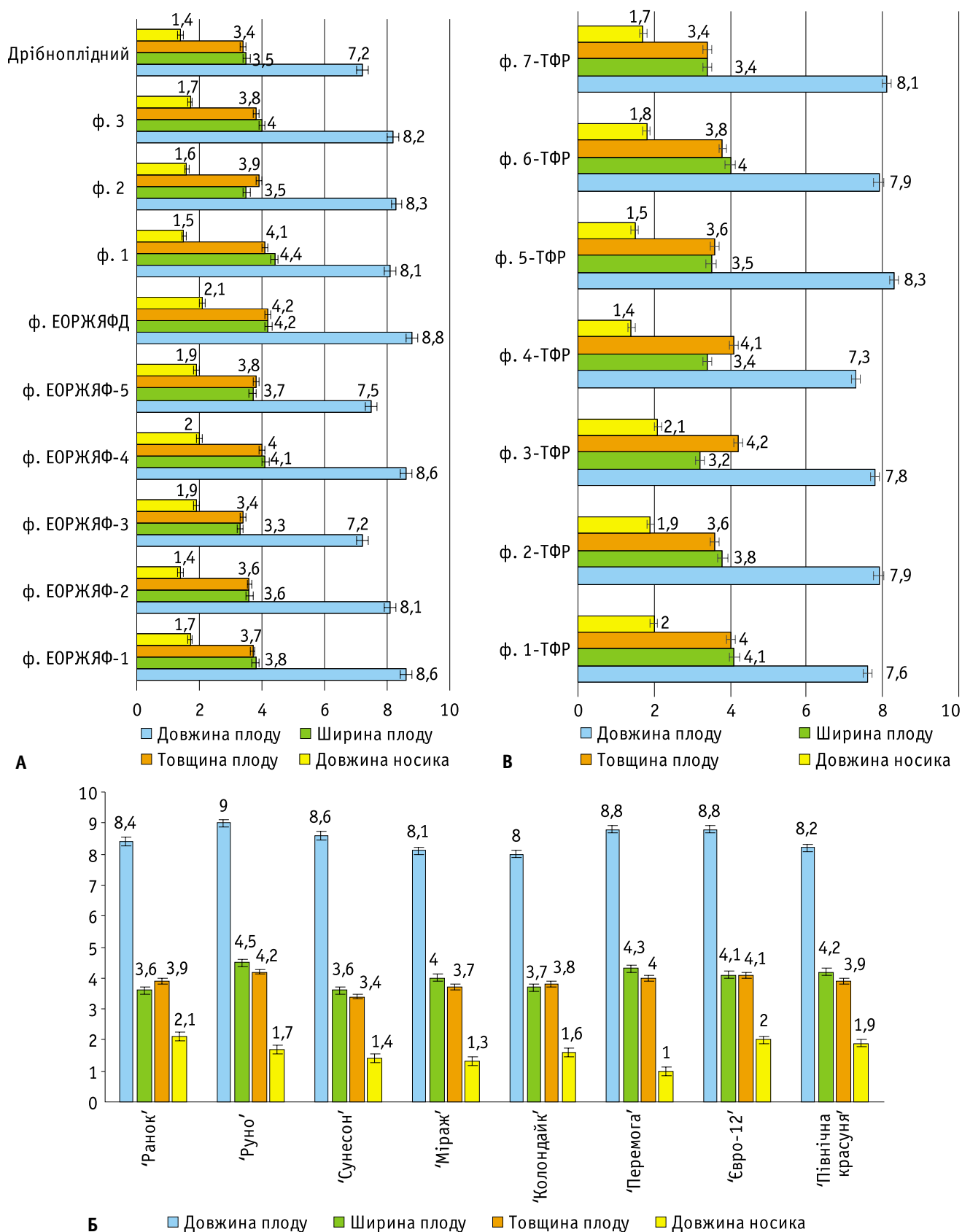


Рис. 3. Морфометричні показники плодів різних генотипів *C. sativa* ярого, мм (АБВ)

дрібноплідний, ф. 1-ТФР, ф. 2-ТФР, ф. 3-ТФР, ф. 4-ТФР, ф. 5-ТФР, ф. 6-ТФР, ф. 7-ТФР, ф. ЕОРЖЯФД, ф. ЕОРЖЯФ-3, ф. ЕОРЖЯФ-4, 'Сунесон', ф. ЕОРЖЯФ-1, 'Міраж' та 'Колондайк'; із середньою (від 1,20 до 2,0 г) – ф. ЕОРЖЯФ-5, 'Ранок', 'Євро-12', 'Північна красуня'



Рис. 4. Морфологічні особливості насінини рослин *C. sativa* залежно від генотипів:

1 – дрібнонасінний (яра форма), 2 – крупнонасінний (яра форма), 3 – с. з. 'Євро-12' (озима форма), 4 – с. з. 'Богемський' (озима форма), 5 – с. з. 'Перемога' (озима форма), 6 – 'Євро-12' (яра форма), 7 – ф. 1-ТФР (яра форма), 8 – ф. 2-ТФР (яра форма), 9 – ф. 3-ТФР (яра форма), 10 – ф. 4-ТФР (яра форма), 11 – ф. 5-ТФР (яра форма), 12 – ф. 6-ТФР (яра форма), 13 – ф. 7-ТФР (яра форма), 14 – 'Колондайк' (яра форма), 15 – 'Міраж' (яра форма), 16 – 'Перемога' (яра форма), 17 – с. з. 'Північна красуня' (яра форма), 18 – ф. 1 (яра форма), 19 – ф. 2 (яра форма), 20 – ф. 3 (яра форма), 21 – ф. ЕОРЖЯФ-1 (яра форма), 22 – ф. ЕОРЖЯФ-2 (яра форма), 23 – ф. ЕОРЖЯФ-3 (яра форма), 24 – ф. ЕОРЖЯФ-4 (яра форма), 25 – ф. ЕОРЖЯФ-5 (яра форма), 26 – ф. ЕОРЖЯФД (яра форма), 27 – ф. ЕОРЖЯФЧ (яра форма)

та 'Перемога'; з великою масою 1000 насінин (понад 2,0 г) – ф. ЕОРЖЯФ-2 та 'Руно'.

Для узагальнення морфометричних показників різних генотипів *C. sativa* створено зве-

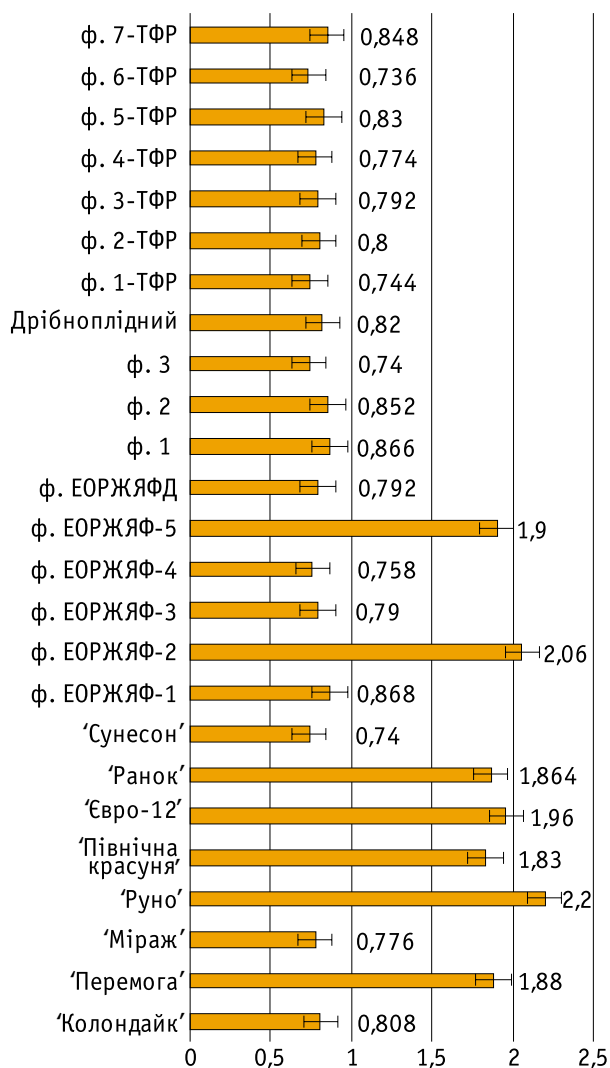
дену таблицю (табл. 1). Це дало змогу чітко виділити групи з потенційною селекційною цінністю за довжиною, шириною, товщиною плодів і масою 1000 насінин.

Таблиця 1

Узагальнена морфометрична характеристика плодів і насіння деяких генотипів *C. sativa*

Форма / сорт	Плід, мм			Маса 1000 насінин, г	Група за розміром насіння	Поперечна площа плоду	Примітки
	a	b	s				
'Руно'	8,9	4,5	4,2	2,2	крупнонасінна	макроплощинна	найбільша маса насіння
ЕОРЖЯФ-2	8,6	4,1	3,8	2,1	крупнонасінна	макроплощинна	високий потенціал продуктивності
'Перемога'	8,7	4,2	4,1	1,7	середньонасінна	макроплощинна	потенційно адаптивний сорт
'Північна красуня'	8,8	4,3	4,0	1,6	середньонасінна	макроплощинна	висока наповненість плодів
'Євро-12'	8,4	3,9	3,7	1,5	середньонасінна	мезоплощинна	збалансовані показники
2-ТФР	7,5	3,6	3,7	1,0	дрібнонасінна	мезоплощинна	типовий представник ярого рижію
ЕОРЖЯФ-3	7,3	3,3	3,5	1,0	дрібнонасінна	мікроплощинна	найменші плоди
'Сунесон'	8,2	3,5	3,6	0,8	дрібнонасінна	мікроплощинна	низька маса насіння

Примітка. а – довжина, b – ширина, s – товщина.

Рис. 5. Маса 1000 насінин різних генотипів *C. sativa*, г

За площиною поперечного перерізу виокремлено макро-, мезо- та мікроплощинні рослини; за крупністю насіння – крупно-, середньо- та дрібнонасіні. Найвищими ці показники виявились у сорту ‘Руно’ та форми ЕОРЖЯФ-2, що підтверджує доцільність їх використання в подальших селекційних програмах.

Висновки

Карпологічний аналіз досліджуваних генотипів у період технічної стиглості дав змогу виокремити три групи за крупністю плоду (критерій визначення – площа поперечного перерізу): макроплощинні, мезоплощинні та мікроплощинні. За мікро- й макроморфологічними особливостями та морфометричними показниками плодів і насіння рослин *Camelina sativa* залежно від генотипових особливостей (лінійних розмірів, маси 1000 насінин) встановлено суттєву перевагу сортів ‘Ранок’ і ‘Руно’, а та-

кож форм ЕОРЖЯФ-1 та ЕОРЖЯФ-2, що сприятиме їх використанню в подальших селекційних дослідженнях.

References

1. Parkhomets, M. K., Uniat, L. M., Chorna, N. P., & Hradovyi, V. V. (2023). Organizational-economic directions of efficient rapeseed production and processing for biodiesel in Ukraine. *Innovative Economy*, 3, 16–29. [In Ukrainian]
2. Berti, M., Gesch, R., Eynck, C., Anderson, J., & Cermak, S. (2016). Camelina uses, genetics, genomics, production, and management. *Industrial Crops and Products*, 94, 690–710. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.09.034>
3. Reva, M. L., & Reva, N. N. (1976). *Wild edible plants of Ukraine*. Naukova Dumka. [In Ukrainian]
4. Gillespie, G., Brennan, L., & Burke, J. (n. d.). *Camelina: Food and crop potential*. Teagasc.ie <https://teagasc.ie/wp-content/uploads/2025/05/Camelina-Food-and-crop-product-potential.pdf>
5. Russo, R. (2011–2012). *Biochemical characterization of flour from seeds of Camelina sativa L. (Crantz) after chemical extraction of oil* [Doctoral dissertation, Università degli Studi di Milano]. https://air.unimi.it/bitstream/2434/217472/2/phd_unimi_R08840.pdf
6. Jarour, E. (n. d.). Genome origin and evolution of an important crop, *Camelina sativa*, and its relatives uncovered by Czech scientists. CEITEC. <https://www.ceitec.eu/genome-origin-and-evolution-of-an-important-crop-camelina-sativa-and-its-relatives-uncovered-by-czech-scientists/t10213>
7. Government of Canada. (n. d.). *Camelina oil: Novel food information – Camelina oil*. Canada.ca <https://www.canada.ca/en/health-canada/services/food-nutrition/genetically-modified-foods-other-novel-foods/approved-products/camelina-oil-novel-food-information.html>
8. Piravi-vanak, Z., Azadmard-Damirchi, S., Kahrizi, D., Mooraki, N., Ercisli, S., Savage, G. P., Rostami Ahmadvandi, H., & Martinez, F. (2022). Physicochemical properties of oil extracted from camelina (*Camelina sativa*) seeds as a new source of vegetable oil in different regions of Iran. *Journal of Molecular Liquids*, 345, Article 117043. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2021.117043>
9. Riaz, R., Ahmed, I., Sizmaz, O., & Ahsan, U. (2022). Use of *Camelina sativa* and By-Products in Diets for Dairy Cows: A Review. *Animals*, 12(9), Article 1082. <https://doi.org/10.3390/ani12091082>
10. Artiukh, L. F. (2018). Traditional culture. Nutrition and food. In V. A. Smolii (Ed.), *Encyclopedia of the history of Ukraine: Ukraine – Ukrainians* (Book 1). Naukova Dumka. [In Ukrainian]
11. Blume, R. Ya. (2022). Current state and perspectives of false flax (*Camelina sativa*) cultivation in Ukraine. *Factors in Experimental Evolution of Organisms*, 31, 28–34. <https://doi.org/10.7124/FEE0.v31.1480>
12. Lisova, T. O. (2021). *Pharmacognostic study of species of the genus Camelina (Camelina Crantz)* [Unpublished doctoral dissertation]. Zaporizhzhia State Medical University.
13. Komarova, I. B., & Rozhkovan, V. V. (2020). *Spring camelina: Breeding, seed production, cultivation, and use*. Ahrarna Nauka. [In Ukrainian]
14. Rakhmetov, D., Bondarchuk, O., & Kovtun-Vodianytska, S. (2024). Prospects for introduction, breeding, and use of a high-yielding oil plant *Camelina sativa* in M. M. Gryshko National Botanical Garden of NAS of Ukraine. In *Objects of the Nature Reserve Fund of Ukraine: Current Status and Ways to Ensure Their Effective Operation* (pp. 255–262). M. M. Gryshko National Botanical Garden, NAS of Ukraine. [In Ukrainian]
15. Ghamkhar, K., Croser, J., Aryamanesh, N., Campbell, M., Kon'kova, N., & Francis, C. (2010). Camelina (*Camelina sativa* (L.) Crantz) as an alternative oilseed: molecular and ecogeographic analyses. *Genome*, 53(7), 558–567. <https://doi.org/10.1139/g10-034>
16. Zubr, J., & Matthäus, B. (2002). Effect of growth conditions on fatty acids and tocopherols in *Camelina sativa* oil. *Industrial*

- Crops and Products*, 15(2), 155–162. [https://doi.org/10.1016/S0926-6690\(01\)00106-6](https://doi.org/10.1016/S0926-6690(01)00106-6)
17. Gehringer, A., Friedt, W., Lühs, W., & Snowden, R. J. (2006). Genetic mapping of agronomic traits in false flax (*Camelina sativa* subsp. *sativa*). *Genome*, 49(12), 1555–1563. <https://doi.org/10.1139/g06-117>
 18. Vollmann, J., Damboeck, A., Eckl, A., Schrems, H., & Ruckebauer, P. (1996). Improvement of *Camelina sativa*, an underexploited oilseed. In *Progress in new crops* (Vol. 1, pp. 357–362). ASHS Press.
 19. de Souza, L. A. (2022). Fruit and seed evolution in angiosperms. *International Journal of Science and Technology Research Archive*, 3(2), 133–153. <https://doi.org/10.53771/ijstra.2022.3.2.0136>
 20. Aliiev, E. B., & Vedmedieva, K. V. (2024). *Quantitative phenotyping of sunflower genotypes*. LIRA. [In Ukrainian]
 21. McGinty, E. M., Craine, E. B., Miller, N. D., Ocana-Gallegos, C., Spalding, E. P., Murphy, K. M., & Hauvermale, A. L. (2023). Evaluating relationships between seed morphological traits and seed dormancy in *Chenopodium quinoa* Willd. *Frontiers in Plant Science*, 14, Article 1161165. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1161165>
 22. Taranenko, Yu. M. (2017). *Features of growing planting material of Scots pine with improved hereditary properties in the Left-Bank Forest-Steppe of Ukraine* [Unpublished doctoral dissertation]. Ukrainian order “Sign of Honour” Research Institute of Forestry and Forest Melioration named after G. M. Vysotsky.
 23. Di Santo, L. N., Polgar, M., Nies, S., Hodgkiss, P., Canning, C. A., Wright, J. W., & Hamilton, J. A. (2021). Seed morphological traits as a tool to quantify variation maintained in *ex situ* collections: a case study in *Pinus torreyana*. *AoB PLANTS*, 13(5), plab058. <https://doi.org/10.1093/aobpla/plab058>
 24. Zingaretti, L. M., Monfort, A., & Pérez-Enciso, M. (2021). Automatic fruit morphology phenome and genetic analysis: An application in the octoploid strawberry. *Plant Phenomics*, 2021, Article 9812910. <https://doi.org/10.34133/2021/9812910>
 25. Cockerton, H. M., Karlström, A., Johnson, A. W., Li, B., Stavridou, E., Hopson, K. J., Whitehouse, A. B., & Harrison, R. J. (2021). Genomic Informed Breeding Strategies for Strawberry Yield and Fruit Quality Traits. *Frontiers in Plant Science*, 12, Article 724847. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.724847>
 26. Carta, A., Vandeloof, F., Ramírez-Barahona, S., Chen, S.-C., Dickie, J., Steinbrecher, T., Thanos, C. A., Moles, A. T., Leubner-Metzger, G., & Mattana, E. (2024). The seed morphospace, a new contribution towards the multidimensional study of angiosperm sexual reproductive biology. *Annals of Botany*, 134(5), 701–710. <https://doi.org/10.1093/aob/mcae099>
 27. De Mori, G., & Cipriani, G. (2023). Marker-Assisted Selection in Breeding for Fruit Trait Improvement: A Review. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(10), Article 8984. <https://doi.org/10.3390/ijms24108984>
 28. Sinha, D., Maurya, A. K., Abdi, G., Majeed, M., Agarwal, R., Mukherjee, R., Ganguly, S., Aziz, R., Bhatia, M., Majgaonkar, A., Seal, S., Das, M., Banerjee, S., Chowdhury, S., Adeyemi, S. B., & Chen, J.-T. (2023). Integrated Genomic Selection for Accelerating Breeding Programs of Climate-Smart Cereals. *Genes*, 14(7), Article 1484. <https://doi.org/10.3390/genes14071484>
 29. Montero-Muñoz, I., Mostaza-Colado, D., Capuano, A., & Mauri Ablanque, P. V. (2023). Seed and Straw Characterization of Nine New Varieties of *Camelina sativa* (L.) Crantz. *Land*, 12(2), Article 328. <https://doi.org/10.3390/land12020328>
 30. Ilyinska, A. P. (2016). The range of morphological characters of *Brassicaceae* s.l.: Fruit and seeds. *Ukrainian Botanical Journal*, 73(3), 219–233. <https://ukrbotj.co.ua/archive/73/3/219>
 31. Al-Sammari, T. A., Ismaeel, Z. A., & Aliwy, S. A. (2025). Micro-morphological study for pollens and seeds for five species belonging to Brassicaceae family in Iraq. *Iraqi Journal of Agricultural Sciences*, 56(3), 1122–1128. <http://dx.doi.org/10.36103/5wr54b81>
 32. Rakhmetov, D. B., Kovtun-Vodanytska, S. M., & Korablova, O. A. (2020). *Collection fund of energy, aromatic and other useful plants of M. M. Gryshko NBG of NAS of Ukraine*. FOP Palyvoda V. D. [In Ukrainian]
 33. Mishchenko, Y. H., Prasol, V. I., Davydenko, G. A., Masyk, I. M., Ermantraut, E. R., & Gudzy, V. P. (2024). *Methodology of scientific research in agronomy*. Sumy National Agrarian University. [In Ukrainian]
 34. Bojňanský, V., & Fargašová, A. (2007). *Atlas of seeds and fruits of Central and East-European flora (The Carpathian Mountains Region)*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-1-4020-5362-7>
 35. Zyman, S. M., Mosyakin, S. L., & Hrodzynskyi, D. M. (2012). *Illustrated guide to morphology of flowering plants* (2nd ed., rev. & enl.). Fitosotsiotsentr. [In Ukrainian]
 36. Volkodav, V. V., Kalenska, S. M., Novytska, N. V., & Beldi, N. M. (2011). *International rules for seed testing*. National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine. [In Ukrainian]
 37. Kiani, S., Kahrizi, D., Varmira, K., & Kassaei, S. M. (2023). The effect of ethyl methylsulfonate on germination and morphological traits of camelina as a medicinal plant. *Journal of Medicinal Plants and By-Products*, 12(3), 225–231. <https://doi.org/10.22092/jmpb.2022.355966.1398>
 38. Vollmann, J., Moritz, T., Kargl, C., Baumgartner, S., & Wagen-tristl, H. (2007). Agronomic evaluation of *Camelina* genotypes selected for seed quality characteristics. *Industrial Crops and Products*, 26(3), 270–277. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ind-crop.2007.03.017>
 39. Obour, A. K., Sintim, H. Y., Obeng, E., & Jeliakov, D. V. (2015). Oilseed camelina (*Camelina sativa* L. Crantz): Production systems, prospects and challenges in the USA Great Plains. *Advances in Plants & Agriculture Research*, 2(2), Article 00043. <http://dx.doi.org/10.15406/apar.2015.02.00043>

UDC 633.85:581.147.2:631.527(477.51)

Rakhmetov, D. B., Bondarchuk, O. P.*, & Rakhmetova, S. O. (2025). Carpological features of *Camelina sativa* (L.) Crantz plants of the gene pool of the M. M. Gryshko National Botanical Garden of the NAS of Ukraine. *Plant Varieties Studying and Protection*, 21(3), 121–130. <https://doi.org/10.21498/2518-1017.21.3.2025.339313>

*M. M. Gryshko National Botanical Garden, NAS of Ukraine, 1 Sadovo-Botanichna St., Kyiv, 01103, Ukraine, *e-mail: bondbiolog@gmail.com*

Purpose. To conduct macro- and micromorphological analysis and determine morphometric indicators of different genotypes of *Camelina sativa* (L.) Crantz plants mobilized and created at the M. M. Gryshko National Botanical Garden of the NAS of Ukraine, in order to assess their breeding value as a source of genetic diversity for further agronomic research in Ukraine. **Methods.** During the research, genetic samples of *C. sativa* were introduced and selected based on the M. M. Gryshko National Botanical Garden of the NAS of Ukraine and the Hlevakha Regional Research Center of the Institute

of Genetic Resources of the NAS of Ukraine. The morphological characteristics of the fruits and seeds were determined using biometric and comparative methods, as well as digital recording in various projections, in accordance with the established morphological terminology. Morphometric indicators were determined using measuring instruments (a generic electronic digital calliper and a Xiaomi Duka SD measuring tape). The weight of 1000 seeds was assessed in accordance with international standards in ten repetitions. The experimental data were processed in Microsoft Excel (2019) to cal-

culate the basic descriptive statistical parameters. **Results.** A morphological and biological analysis of 35 *C. sativa* plant genotypes from the M. M. Gryshko National Botanical Garden of the NAS of Ukraine collection fund revealed significant variability in the morphometric indicators of fruits and seeds depending on the genotype. A comprehensive analysis of the carpological characteristics of the samples was carried out for the first time, including the linear dimensions of the fruits, the weight of 1000 seeds, the shape, and the cross-sectional area. This allowed the genotypes to be classified by seed type (small, medium, and large). The best results were obtained with the 'Runo' and 'Ranok' varieties, as well as the EORZhYAF-1 and EORZhYAF-2 forms. The obtained data are of practical importance for creating high-yielding varieties of red mustard as a promising oilseed crop adapted to Ukrainian conditions. This study confirms the feasibility of further introducing *C. sativa* into agricultural production to

strengthen food and biological security. **Conclusions.** The conducted carpological study allowed to identify genotypes of *C. sativa* with high morphological and biological potential. Three groups of plants were distinguished by the size of the fruit, which is determined by the area of its cross-section (macroplanar, mesoplanar and microplanar). According to micro- and macromorphological features, morphometric indicators of fruits and seeds, a significant advantage of the varieties 'Ranok' and 'Runo', as well as the forms EORZhYAF-1 and EORZhYAF-2, was established. The obtained results are a solid basis for using them in further breeding studies to create competitive varieties with high seed productivity. This will contribute to expanding the spectrum of alternative oilseed crops in Ukraine.

Keywords: *Camelina sativa*; carpological features; oilseed crops; plant genotypes; micro- and macromorphological features; adaptive potential.

Надійшла / Received 31.07.2025
Погоджено до друку / Accepted 05.09.2025

Уміст проліну та активність лектинів у різних сортів сої в репродуктивних фазах розвитку

О. О. Молодченкова*, В. І. Січкара, Г. Д. Лаврова, Л. Я. Безкровна, Я. С. Фанін

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

Мета. Дослідити вміст вільного проліну та активність лектинів у рослинах сої (*Glycine max* L.) різних сортів протягом найбільш чутливих до дефіциту вологи фаз – початку й повного цвітіння та формування й наливу бобів. **Методи.** Об'єктом досліджень слугували листки двох верхніх ярусів рослин 17 сортів сої вітчизняної та іноземної селекції. Уміст вільного проліну визначали спектрофотометричним методом, активність лектинів – методом гемаглютинації трипсинізованих еритроцитів крові. Статистичний аналіз результатів досліджень проводили за допомогою програми Libre Office Calc (GNU Lesser General Public License v3). **Результати.** Скринінг сортів сої на вміст проліну та активність лектинів у листках рослин дав змогу виявити сортові відмінності в репродуктивних фазах розвитку за цими показниками. Вони були достовірно більшими у стадії формування й наливу бобів, як порівняти з початком і повним цвітінням. Встановлено високий коефіцієнт кореляції ($r = 0,72$ за $P = 0,05$) між кількістю вологи та активністю лектинів у фазі формування й наливу бобів. **Висновки.** Виявлено зміни вмісту проліну й активності лектинів упродовж трьох фаз розвитку рослин із найбільшими їхніми значеннями у стадії формування й наливу бобів. Це свідчить про активацію адаптивних реакцій сої за несприятливих умов вирощування, зокрема посухи. Отримані результати дають змогу рекомендувати показники активності лектинів і вмісту проліну в листках рослин у фазі формування й наливу бобів як додаткові критерії для дослідження адаптаційного потенціалу сортів сої.

Ключові слова: соя; лектини; вільний пролін; адаптаційний потенціал.

Вступ

Соя [*Glycine max* (L.) Merr.] відіграє ключову роль у глобальній продовольчій безпеці, адже є джерелом рослинного білка, олії та біологічно активних речовин. Соевий білок за амінокислотним складом набагато збалансованіший, ніж велика кількість тваринних білків [1].

Глобальні зміни клімату, які останніми роками спостерігаються у світі, зокрема й в Україні, вимагають якісно нових підходів до

створення сортів сільськогосподарських культур. Одним із найважливіших завдань сучасної селекції сої є виведення культиварів із підвищеними адаптивними властивостями, здатних формувати стабільні врожаї високоякісного насіння за екстремальних умов вирощування. Серед таких на Півдні України найрозповсюдженішим нині є метеокомплекс «Посуха південна», який поєднує водний дефіцит із підвищеною температурою [2]. Чутливість сої до нестачі вологи пов'язана зі стадією її росту. Короткочасний і помірний дефіцит за початкових фаз розвитку зазвичай не впливає на продуктивність та якість продукції [3], а от під час подальшої вегетації соя більш вразлива до впливу посухи [4]. Від початку цвітіння через інтенсивний розвиток зеленої маси та збільшення поверхні випаровування стрімко зростає споживання води. Її недостатня кількість протягом стадій цвітіння, утворення та наливу бобів різко знижує продуктивність сої.

Olga Molodchenkova
<https://orcid.org/0000-0003-2511-0866>

Viacheslav Sichkar
<https://orcid.org/0000-0003-0581-5068>

Halyna Lavrova
<https://orcid.org/0000-0002-3086-6572>

Lidiia Bezkravna
<https://orcid.org/0000-0003-2227-1541>

Yaroslav Fanin
<https://orcid.org/0000-0003-3129-7583>



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

Також ця культура негативно реагує на повітряну посуху, особливо в період цвітіння та утворення бобів, коли через дуже низьку вологість повітря не формуються нові та скидаються наявні квітки і плоди [5].

Реакція рослин сільськогосподарських культур на несприятливі умови вирощування, зокрема посуху та підвищену температуру, включає взаємодію між різноманітними молекулярними та фізіолого-біохімічними процесами. Розуміння механізмів впливу негативних чинників довкілля на метаболізм рослин важливе для зменшення наслідків їхньої дії, а також для поліпшення якості врожаю. За несприятливих факторів разом із синтезом стресових білків посилюється й синтез тих, що присутні в нормальних умовах, наприклад, лектину [6]. Про це свідчать дані щодо суттєвого накопичення вказаного білка в коренях проростків пшениці за впливу осмотичного шоку та посухи, в культурі клітин – за теплового шоку, в зернівках – у процесі проростання за дефіциту вологи, загартування до холоду та через дію біотичних чинників [7]. Згідно з наведеною інформацією, лектин зі специфічністю до N-ацетилгалактозаміну можна розглядати як учасника неспецифічних пристосувально-захисних реакцій рослин, оскільки його вміст у *Dolichos biflorus* (родина бобових) зростає за теплового стресу [8].

Однією з важливих адаптивних реакцій рослин є накопичення низькомолекулярних поліфункціональних протекторів. До таких сполук належить пролін, що виконує осморегуляторну, протекторну, антиоксидантну, енергетичну та інші функції в клітині, сприяючи підтриманню клітинного гомеостазу. Вважається, що ця амінокислота також реалізує шаперонну та сигнально-регуляторну функції в рослинах [9]. Продемонстровано подвійну роль проліну як у видаленні активних форм кисню (АФК), так і в передачі сигналів, що можна пояснити його участю в розвитку рослин та захистові їх від стресу [10]. Згідно з [11, 12], максимальний вміст вільного проліну для сої за посухи та засолення становив від 0,05 до 0,5% на суху речовину, що у 2–20 разів вище, ніж за оптимальних умов (контролю).

Результати цього дослідження, проведеного в камерах штучного клімату (контрольовані умови), показали, що після періоду водного дефіциту вміст вільного проліну в деяких сортів сої збільшувався в 5,6–7,8 раза. Якщо в контрольному варіанті він у середньому для дев'яти сортів становив 69 мг%, то після посухи зростає до 320 мг% [13].

Не виключено, що адаптивна роль лектинів і проліну в різні періоди розвитку рослин

неоднакова. Тому мета дослідження полягала у визначенні вмісту вологи, вільного проліну та активності лектинів у листках двох верхніх ярусів рослин різних сортів сої в найбільш уразливі до дефіциту вологи фази вегетації – початку та повного цвітіння, формування й наливу бобів.

Матеріали та методика досліджень

Об'єктом досліджень слугували листки двох верхніх ярусів рослин сортів сої української та іноземної селекції у трьох найбільш уразливих до дефіциту вологи фазах вегетації – початку та повного цвітіння й формування та наливу бобів. Аналізували такі культиви: 'Аметист' (Красноградська дослідна станція Інституту зернового господарства НААН), 'Медея', 'Знахідка', 'Валюта' (Інститут сільського господарства Степу НААН), 'Романтика' (Інститут рослинництва ім. В. Я. Юр'єва НААН), 'Спринт' (Інститут олійних культур НААН), 'Вільшанка' (ННЦ «Інститут землеробства НААН»), 'Кент' («SAATBAU LINZ eGen», Австрія), 'Танаїс' (ТОВ «Науково-дослідний інститут сої», «Семенсес Прогрейн Інк.»), 'КиВін' (Інститут кормів НААН, ННЦ «Інститут землеробства НААН»), 'Білявка' (Приватне підприємство «Наукова селекційно-насінницька фірма "Соевий вік"»), 'Терек' (ТОВ «Прогрейн Евразія», Канада), 'Альтаїр', 'Фарватер', 'Сяйво', 'Мельпомена', 'Ятрань' (Селекційно-генетичний інститут – Національний центр насіннєзнавства та сортовивчення НААН). Усі вони створені для вирощування у відмітних екологічних умовах, а тому характеризуються неоднаковою тривалістю вегетаційного періоду. Також у них різняться відношення до температурного режиму, врожайність за оптимальних умов, адаптаційний потенціал і рівень посухостійкості [14–16].

Дослідження проводили впродовж 2018–2024 рр. на полях державної установи «Центр наукових досліджень сільськогосподарських культур "Дачна"» Селекційно-генетичного інституту – Національного центру насіннєзнавства та сортовивчення, розташованої на території південної частини Причорноморської низовини, у степовій зоні Одеської області. Рельєф – майже ідеальна рівнина. Ґрунтовий покрив – південні середньогумусні важкосуглинкові чорноземи на лесових відкладах. Товщина гумусового шару становила 40–50 см, вміст гумусу – 3,5–4,5%. Сума поглинутих основ була на рівні 40–45 мг-екв на 100 г ґрунту. Кількість доступних форм елементів живлення (мг-екв на 100 г ґрунту): азоту – 3–4, P_2O_5 – 10–15, K_2O – 20–30. Реакція

ґрунтового розчину нейтральна або слабко-лужна (рН сольової витяжки 6,0–7,2).

Листки сої для дослідження відбирали з 20 рослин кожного сорту, культивованого на посівах розсадника екологічного сорто випробування. На дослідних ділянках площею 12 м² за допомогою селекційної сівалки висівали 900 насінин трьома рядками з міжряддями 45 см. Повторність для вивчення кожного сорту чотириразова. Перед сівбою вносили суміш ґрунтових гербіцидів: прометрин із розрахунку 3 л/га та кломазин у концентрації 150 мг/га. У фазі одного-трьох трійчастих листків посіви обробляли баковою сумішшю страхових гербіцидів Базагран (діюча речовина – бентазон, 480 г/л) з розрахунку 1,5 л/га та Хармоні (тифенсульфурон-метил, 750 г/кг) з розрахунку 8 г/га. Протягом вегетації здійснювали міжрядний обробіток ґрунту.

Зона, де проводили дослідження, за метеорологічними умовами належить до Степу [гідротермічний коефіцієнт (ГТК) – 0,7–1,0] та сухого Степу (ГТК – 0,4–0,7). В окремі посушливі роки ГТК опускався навіть нижче за 0,4. 2024 рік характеризувався одним із найбільших дефіцитів вологи. ГТК дорівнював 0,26, що відповідає зоні напівпустелі та пустелі.

Уміст вологи визначали термостатно-ваговим методом. На основі гемаглютинації еритроцитів крові білих щурів оцінювали активність лектинів [17]. Для їх виділення 0,3 г рослинного матеріалу розтирали з піском до гомогенного стану в 0,9 мл розчину «А», який містив 20 мМ калій-фосфатний буфер (рН 7,4), 0,05 мМ фенілметилсульфонілфторид (ФМСО), 0,5 мМ дитіотрейтол (ДТТ), 10 мМ етилендіамінтетраоцтову кислоту (ЕДТА) та 0,36 М сахарозу. Гомогенат центрифугували протягом 10 хв за 10000 g. Отриманий гомогенат фільтрували через два шари бавовняної тканини. Осад на тканинному фільтрі, що містив клітинні стінки, тричі промивали 20 мМ калій-фосфатним буфером (рН 7,4), потім ресуспендували в 0,9 мл того самого буфера та центрифугували за 10 000 g. Надосадової рідини позбувалися, а з осаду (клітинні стінки) екстрагували лектини розчином «Б», який містив 20 мМ калій-фосфатний буфер (рН 7,4), 0,05 мМ ФМСО, 0,5 мМ ДТТ, 10 мМ ЕДТА, 0,36 М сахарозу та 0,05 %-й Тритон Х-100, настоюючи протягом чотирьох годин і постійно помішуючи за температури +40 °С. Після цього екстракт центрифугували впродовж 30 хв за 20 000 g, осад відкидали, а в надосадовій рідині визначали активність лектинів – величину, зворотну до мінімальної концентрації білка, за якої відбувається аглютинація еритроцитів 1/(мкг білка/мл). Уміст білка встановлювали методом Лоурі [18].

Кількість проліну визначали колориметричним методом, застосовуючи нінгідрин [19]. Наважку рослинного матеріалу гомогенізували в дистильованій воді, після чого гомогенат одразу кип'ятили на водній бані протягом 10 хв. Проби охолоджували, екстракт фільтрували. У реакційних пробірках змішували по 1 мл екстракту, льодяної оцтової кислоти та нінгідринового реактиву. Закриті ковпачками з фольги пробірки нагрівали на киплячій водянній бані впродовж 1 год. Оптичну густину встановлювали за довжини хвилі 520 нм. Як стандарт використовували L-пролін.

Досліди проводили у триразовій біологічній та аналітичній повторності. Статистичний аналіз результатів досліджень виконували за допомогою програми Libre Office Calc (GNU Lesser General Public License v3).

Результати досліджень

Установлено, що впродовж фази початку цвітіння вміст вільного проліну в досліджуваних сортах сої варіював від 0,019 до 0,03%. Найвищі його показники продемонстрували 'Знахідка' та 'Кивін'. Активність лектинів змінювалася в межах 1,54–9,08 (мкг/мл)⁻¹ та була максимальною в культивару 'Фарватер'. Кількість вологи становила 51,85–88,67%. Найбільше її накопичив сорт 'Аметист'.

У фазі цвітіння, як порівняти з початком цвітіння, усереднені показники за сортами знизилися: вмісту проліну – в 1,9 раза, активності лектинів і кількості вологи – на 13 і 3,4% відповідно. Найбільше проліну синтезувалося в листках культивару 'Спринт'. Також він відзначився максимальною активністю лектинів.

У фазі формування та наливу бобів спостерігали зменшення середнього рівня вологи в листках на 3,9 і 0,5%, порівнюючи з початком та повним цвітінням відповідно. Інші показники, навпаки, були достовірно більшими, ніж у попередніх стадіях (відмінності між середніми показниками вмісту вільного проліну та активності лектинів є достовірними за $P < 0,05$) (табл.). Зокрема, підвищений уміст проліну виявлено в сортів 'Медея', 'Спринт', 'Альтаір' та 'Ятрань', а значну лектинову активність – у 'Романтики', 'Вільшанки' й 'Знахідки'. У наших попередніх дослідженнях [14] ці культивари характеризувалися підвищеною врожайністю як у посушливі, так і в більш сприятливі роки.

Метаболічною реакцією рослин на вплив стресових факторів є накопичення проліну. Збільшення його вмісту в листках усіх сортів, що вивчали в цьому дослідженні, відбувалося у фазі формування й наливу бобів. Зазначений показник розглядають як осмотичний

Таблица

Сорт	Фаза розвитку рослин								
	Початок цвітіння			Повне цвітіння			Формування і налиив бобів		
	Уміст вологи, %	Уміст проліну, %	Активність лектинів, (мкг/мл) ⁻¹	Уміст вологи, %	Уміст проліну, %	Активність лектинів, (мкг/мл) ⁻¹	Уміст вологи, %	Уміст проліну, %	Активність лектинів, (мкг/мл) ⁻¹
‘Аметист’	88,67 ± 2,2	0,025 ± 0,003	4,04 ± 0,05	75,70 ± 2,1	0,017 ± 0,001	3,36 ± 0,03	74,20 ± 3,2	0,077 ± 0,005	10,69 ± 0,11
‘Медя’	51,85 ± 1,6	0,028 ± 0,005	2,42 ± 0,01	72,50 ± 2,0	0,021 ± 0,002	2,48 ± 0,02	73,43 ± 2,4	0,106 ± 0,008	12,60 ± 0,12
‘Романтика’	79,15 ± 2,5	0,025 ± 0,002	6,84 ± 0,04	73,10 ± 1,3	0,016 ± 0,001	3,39 ± 0,05	75,42 ± 2,8	0,099 ± 0,007	18,63 ± 0,14
‘Спринт’	77,11 ± 3,8	0,027 ± 0,004	5,78 ± 0,05	73,30 ± 2,2	0,027 ± 0,003	11,12 ± 0,09	72,80 ± 1,7	0,107 ± 0,013	14,06 ± 0,13
‘Альгаір’	77,33 ± 2,5	0,027 ± 0,006	5,59 ± 0,03	71,05 ± 1,5	0,019 ± 0,002	1,49 ± 0,01	72,45 ± 2,3	0,130 ± 0,007	14,71 ± 0,11
‘Фарватер’	75,69 ± 3,4	0,027 ± 0,002	9,08 ± 0,06	71,49 ± 1,6	0,017 ± 0,003	6,38 ± 0,05	70,45 ± 2,5	0,100 ± 0,009	14,39 ± 0,09
‘Сяйво’	76,24 ± 1,6	0,021 ± 0,004	5,59 ± 0,04	69,52 ± 1,1	0,016 ± 0,002	3,14 ± 0,04	72,67 ± 2,1	0,102 ± 0,011	10,79 ± 0,05
‘Знахідка’	77,45 ± 2,5	0,030 ± 0,006	3,37 ± 0,02	71,60 ± 2,2	0,012 ± 0,001	5,22 ± 0,05	75,54 ± 3,1	0,073 ± 0,003	24,55 ± 0,15
‘Мельпомена’	76,53 ± 1,4	0,025 ± 0,004	1,54 ± 0,01	71,30 ± 1,8	0,010 ± 0,002	4,85 ± 0,03	72,45 ± 2,5	0,059 ± 0,002	10,42 ± 0,04
‘Валюта’	73,62 ± 2,5	0,025 ± 0,002	4,15 ± 0,02	69,90 ± 1,7	0,023 ± 0,003	9,76 ± 0,09	76,45 ± 3,2	0,082 ± 0,005	15,35 ± 0,16
‘Вільшанка’	78,09 ± 3,8	0,023 ± 0,003	4,82 ± 0,03	74,13 ± 2,1	0,017 ± 0,002	1,52 ± 0,01	72,67 ± 2,2	0,066 ± 0,005	23,58 ± 0,15
‘Ятрань’	56,06 ± 1,7	0,019 ± 0,001	4,08 ± 0,02	74,00 ± 2,2	0,020 ± 0,001	2,46 ± 0,03	70,45 ± 1,5	0,110 ± 0,008	11,72 ± 0,06
‘Кент’	76,11 ± 3,6	0,025 ± 0,005	3,21 ± 0,02	72,00 ± 1,5	0,017 ± 0,002	5,55 ± 0,07	69,33 ± 1,4	0,062 ± 0,004	4,31 ± 0,02
‘Танаїс’	75,16 ± 3,5	0,030 ± 0,006	5,31 ± 0,04	71,40 ± 1,6	0,018 ± 0,003	1,64 ± 0,01	68,45 ± 1,2	0,072 ± 0,006	15,04 ± 0,11
‘Терек’	77,24 ± 4,6	0,020 ± 0,001	3,29 ± 0,02	72,60 ± 2,0	0,013 ± 0,002	1,38 ± 0,02	67,56 ± 1,6	0,079 ± 0,008	5,54 ± 0,05
‘Кивін’	75,13 ± 2,4	0,030 ± 0,003	6,19 ± 0,05	70,29 ± 1,9	0,017 ± 0,003	3,55 ± 0,03	67,43 ± 1,5	0,070 ± 0,005	3,72 ± 0,02
‘Білявка’	75,60 ± 1,6	0,028 ± 0,005	3,25 ± 0,02	70,10 ± 1,6	0,021 ± 0,002	1,34 ± 0,01	65,87 ± 1,4	0,051 ± 0,003	2,01 ± 0,01
max	88,67 ± 4,7	0,030	9,08	75,70	0,027	11,12	76,45	0,130	24,55
min	51,85	0,019	1,54	69,52	0,010	1,34	65,87	0,051	2,01
V, %	11,29	13,11	39,54	2,33	23,01	71,28	4,32	25,49	50,88
Δ	74,52 ± 2,0	0,026 ± 0,0008	4,62 ± 0,44	71,99 ± 0,41	0,017 ± 0,0009	4,04 ± 0,69	71,62 ± 0,75	0,085 ± 0,005	12,47 ± 1,54

регулятор, що зменшує спричинені несприятливими умовами негативні ефекти в рослин. Накопичення проліну також сприяє підвищенню резистентності клітин завдяки збільшенню осмотичного потенціалу. Ця амінокислота синтезується з глутамату та орнітину, тому за дефіциту води вона утворюється, найімовірніше, переважно з глутамату [9].

У фазі формування та наливу бобів, як порівняти зі стадіями початку та повного цвітіння, в усіх досліджених сортів спостерігали підвищення активності лектинів. Між цим показником та вмістом води в листках на вказаному етапі розвитку встановлено високий коефіцієнт кореляції ($r = 0,72$ за $P = 0,05$). Зміна активності лектинів може відбуватися через індукування їхніх нових ізоформ, накопичення яких сприяє підтриманню метаболізму клітини на оптимальному рівні. Також вона, як і зміна вмісту проліну, можливо пов'язана з активізацією адаптивних реакцій рослин за дії посухи та гіпертермії, якими характеризувалися умови цього року.

Підвищення стійкості рослин проти складних екологічних ситуацій відбувається завдяки активації багатьма захисними системами численних стресових реакцій. Робота з їхнього вивчення полягає передусім у встановленні способів сигналізації стресу та послідовних молекулярних, фізіологічних і біохімічних реакцій, що виникають за стресових факторів [20]. Виявлено, що в реакції рослин сої на негативні чинники довкілля бере участь значна кількість білків, зокрема й лектини. Вважається, що в основі їхніх захисних функцій лежить передавання сигналів ззовні в середину клітини або органел, що пов'язано з іонними потоками, викликаними зміною проникності мембран внаслідок взаємодії мембранних лектинів із певними глікокон'югатами [21]. Зміна активності та вуглеводної специфічності лектинів може слугувати сигналом для запуску інших захисних реакцій і формування мультикомпонентної біохімічної відповіді на несприятливі умови вирощування. Важливу роль в адаптивних реакціях рослин відіграють їхні антиоксидантні системи, низькомолекулярні поліфункціональні протектори, до яких належить і пролін. Так, у листках сої через вплив посухи підвищувалася активність глутатіонредуктази та глутатіонпероксидази, супероксиддисмутази й пероксидази [22]. Збільшення вмісту проліну в рослинах досліджуваної культури та гороху спостерігали за умов водного дефіциту [11–13, 23, 24]. Останній разом із гіпертермією спричинили також підвищення активності лектинів у посухостійких гено-

типів кукурудзи, що встановлено нашими попередніми дослідженнями [25].

Отримані у цій роботі результати продемонстрували зміни вивчених показників протягом трьох фаз розвитку рослин із найбільшими їхніми значеннями в період формування та наливу бобів. Це свідчить про активацію адаптивних реакцій сої за несприятливих умов вирощування, зокрема посухи. Як додаткові експресні методи дослідження адаптаційного потенціалу сортів цієї культури можна розглядати установлені між ними відмінності за вмістом проліну та активністю лектинів у вказаних фазах розвитку, особливо під час формування та наливу бобів.

Висновки

Визначено вміст води й проліну, а також активність лектинів у листках двох верхніх ярусів рослин сої впродовж трьох найбільш уразливих до дефіциту води репродуктивних фаз вегетації. Так, у фазі формування й наливу бобів, як порівняти з двома попередніми – початком і повним цвітінням, зафіксовано достовірно більші показники вмісту проліну з їхніми максимальними значеннями в сортів 'Медея', 'Альтаір', 'Спринт' і 'Ятрань' та активності лектинів. Остання була найвищою у культиварів 'Знахідка', 'Альтаір', 'Спринт', 'Вільшанка', 'Танаїс' і 'Валюта'. Також у цій стадії встановлено високий коефіцієнт кореляції ($r = 0,72$ за $P = 0,05$) між кількістю води та активністю лектинів. Отримані результати дають змогу рекомендувати показники вмісту проліну та активності лектинів у листках рослин у фазі формування й наливу бобів як додаткові критерії адаптаційного потенціалу сортів сої.

References

1. Zhao, J., Wang, Y., Zhao, M., Rodriguez, D., de Voil, P., Tan, Z., & Chu, Q. (2025). Anticipated changes in soybean drought stress and yield stability under future climates in Northeast China. *Npj Sustainable Agriculture*, 3(1). <https://doi.org/10.1038/s44264-025-00053-5>
2. Pysarenko, V. M., Pysarenko, P. V., Pysarenko, V. V., Gorb, O. O., & Chaika, T. O. (2019). Droughts in the context of climate changes in Ukraine. *Bulletin of Poltava State Agrarian Academy*, 1, 134–146 [In Ukrainian]
3. Vaghar, M. S., Sayfzadeh, S., Zakerin, H. R., Kobraee, S., & Valadabadi, S. A. (2020). Foliar application of iron, zinc, and manganese nano-chelates improves physiological indicators and soybean yield under water deficit stress. *Journal of Plant Nutrition*, 43(18), 2740–2756. <https://doi.org/10.1080/01904167.2020.1793180>
4. Zhang, Y., Zhang, H., Fu, J., Du, Y., Qu, J., Song, Y., & Wang, P. (2021). The *GmXTH1* gene improves drought stress resistance of soybean seedlings. *Molecular Breeding*, 42(1). <https://doi.org/10.1007/s11032-021-01258-5>
5. Belyavskaya, L. G., Belyavsky, Y. V., & Dianova, A. A. (2018). Assessment of ecological stability and plasticity of soybean varieties. *Leguminous and Cereal Crops*, 4, 42–49. <https://doi.org/10.24411/2309-348X-2018-11048>
6. Osman, M. E. M., Osman, R. S. H., Gharthey-Kwansah, G., & Konozy, E. H. E. (2023). Plant Lectins: Implications in Tolerance and

- Resistance. In *Annual Plant Reviews online* (pp. 31–55). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781119312994.apr0804>
7. Molodchenkova, O. O., & Ryshchakova, O. V. (2019). Participation of lectins in the formation of plant protective reaction of cereals. *New stages of development of modern science in Ukraine and EU countries* (pp. 205–230). Baltija Publishing.
 8. Spadaro-Tank, J. P., & Etzler, M. E. (1988). Heat shock enhances the synthesis of a lectin-related protein in *Dolichos biflorus* cell suspension cultures. *Plant Physiology*, 88(4), 1131–1135. <https://doi.org/10.1104/pp.88.4.1131>
 9. Kaur, G., & Asthir, B. (2015). Proline: a key player in plant abiotic stress tolerance. *Biologia Plantarum*, 59(4), 609–619. <https://doi.org/10.1007/s10535-015-0549-3>
 10. Renzetti, M., Funck, D., & Trovato, M. (2024). Proline and ROS: A Unified Mechanism in Plant Development and Stress Response? *Plants*, 14(1), Article 2. <https://doi.org/10.3390/plants14010002>
 11. Hossain, M. M., Liu, X., Qi, X., Lam, H.-M., & Zhang, J. (2014). Differences between soybean genotypes in physiological response to sequential soil drying and rewetting. *The Crop Journal*, 2(6), 366–380. <https://doi.org/10.1016/j.cj.2014.08.001>
 12. Sarkar, K., Mannan, M., Haque, M., & Ahmed, J. (2016). Physiological Basis of Water Stress Tolerance in Soybean. *Bangladesh Agronomy Journal*, 18(2), 71–78. <https://doi.org/10.3329/baj.v18i2.28908>
 13. Sichkar, V. I., Lyashok, A. K., & Musych, V. M. (2001). Physiological response of soybean varieties to drought and elevated temperature. *Physiology and Biochemistry of Cultivated Plants*, 33(6), 497–503. [In Ukrainian]
 14. Sichkar, V., Ganzhelo, O., & Lavrova, G. (2013). Increasing adaptability under the drought is the main direction of modern soybean breeding in the South of Ukraine. *Journal of Lviv National Agrarian University. Agronomy*, 17(2), 187–195. [In Ukrainian]
 15. Mursakaev, E. S., Lavrova, G. D., Ganzhelo, O. I., & Bushulian, O. V. (2018). Estimation of parameters of environmental stability and plasticity of soybean varieties in the southern Steppe of Ukraine. *Bulletin of the Center for Science Provision of Agribusiness in the Kharkiv region*, 24, 173–180. [In Ukrainian]
 16. Sichkar, V., & Lavrova, H. (2024). Breeding pulses to improve adaptive traits under conditions of general warming. *Proceeding VIII International Scientific Conference "Genetics, Physiology and Plant Breeding"* (pp. 201–207). Chisinau, Republic of Moldova. <https://doi.org/10.53040/gppb8.2024.34>
 17. Lutsyk, M. F., Panasyuk, E. N., & Lutsyk, A. D. (1981). *Lectins*. Vyshcha Shkola.
 18. Lowry, O. H., Rozebrough, N. I., Farr, F. L., & Randall, R. J. (1951). Protein measurement with the Folin phenol reagent. *Journal of Biological Chemistry*, 193(1), 265–275.
 19. Bates, L. S., Walden, R. P., & Tear, G. D. (1973). Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and Soil*, 39, 205–210. <https://doi.org/10.1007/BF00018060>
 20. Rasheed, A., Mahmood, A., Maqbool, R., Albaqami, M., Sher, A., Sattar, A., Bakhsh, G., Nawaz, M., Hassan, M. U., Al-Yahyai, R., Aamer, M., Li, H., & Wu, Z. (2022). Key insights to develop drought-resilient soybean: A review. *Journal of King Saud University - Science*, 34(5), Article 102089. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2022.102089>
 21. Naithani, S., Komath, S. S., Nonomura, A., & Govindjee, G. (2021). Plant lectins and their many roles: Carbohydrate-binding and beyond. *Journal of Plant Physiology*, 266, Article 153531. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2021.153531>
 22. Zhou, Q., Song, S., Wang, X., Yan, C., Ma, C., & Dong, S. (2022). Effects of drought stress on flowering soybean physiology under different soil conditions. *Plant, Soil and Environment*, 68(10), 487–498. <https://doi.org/10.17221/237/2022-pse>
 23. Tian, Y., Li, X., Zhou, X., Qu, Z., Wang, X., & Dong, S. (2023). Effects of drought Stress on SOD activity and pro content in different parts of soybean leaves. *Legume Research*, 46(8), 995–1000. <https://doi.org/10.18805/lrf-750>
 24. Masheva, V., Spasova-Apostolova, V., Aziz, S., & Tomlekova, N. (2022). Variations in proline accumulation and relative water content under water stress characterize bean mutant lines (*P. vulgaris* L.). *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 28(3), 430–436.
 25. Ryshchakova, O. V., Molodchenkova, O. O., & Petrov, S. A. (2020). Biochemical adaptive plant response of corn lines with different drought tolerance. *Journal of Integrated OMICS*, 10(1), 26–30. <https://doi.org/10.5584/jiomics.v10i1.309>

UDC 577.1

Molodchenkova, O. O.*, **Sichkar, V. I.**, **Lavrova, H. D.**, **Bezdrovna, L. Ya.**, & **Fanin, Ya. S.** (2025). Proline content and lectin activity in different soybean varieties during reproductive phases of development. *Plant Varieties Studying and Protection*, 21(3), 131–136. <https://doi.org/10.21498/2518-1017.21.3.2025.339314>

*Plant Breeding and Genetics Institute – National Center of Seed and Cultivar Investigation, 3 Ovidiopska Doroha St., Odesa, 65036, Ukraine, *e-mail: olgamolod@ukr.net*

Purpose. To investigate the content of free proline and lectin activity in soybean (*Glycine max* L.) of different varieties during the phases when they are most sensitive to moisture: the beginning and full flowering, and the formation and filling of beans. **Methods.** The research focused on the leaves from the two upper nodes of plants of 17 soybean varieties of domestic and foreign breeding. Free proline content was determined using a spectrophotometric method and lectin activity was determined using haemagglutination of trypsinised blood erythrocytes. The research results were statistically analysed using LibreOffice Calc (GNU Lesser General Public Licence v3). **Results.** Screening soybean varieties for proline content and lectin activity in plant leaves revealed varietal differences in reproductive phase development according to these indicators. These were significantly higher during the

bean formation and filling stage than at the beginning and full flowering stage. A high correlation coefficient ($r = 0.72$ at $P = 0.05$) was found between moisture content and lectin activity during the bean formation and filling phase. **Conclusions.** Changes in proline content and lectin activity were observed during the three phases of plant development. The highest values were recorded during the formation and filling stages of bean development. This suggests that soybeans activate adaptive responses under unfavourable growing conditions, particularly drought. The results obtained allow us to recommend measuring lectin activity and proline content in plant leaves during the formation and filling stages of beans as an additional way of studying the adaptive potential of soybean varieties.

Keywords: soybean; lectins; free proline; adaptive potential.

Надійшла / Received 28.07.2025
Погоджено до друку / Accepted 29.08.2025

Peculiarities of the metabolism of fruit vines *Actinidia arguta* (Siebold & Zucc.) Planch. ex Miq. and *Schizandra chinensis* (Turcz.) Baill. in mixed and mono-planting growth

N. V. Skrypchenko, V. F. Levon, T. B. Venediktova*, V. P. Knysch

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

Purpose. A comparative study of the interaction between *A. arguta* and *S. chinensis* plants in mono- and mixed plantings was carried out. This study examined the pigment complex of the plants and the accumulation of flavonols and proline in their vegetative organs. The aim was to optimise the technology for growing these promising fruit plants and realise their productive potential. This research was conducted at the M. M. Gryshko National Botanical Garden of the National Academy of Sciences of Ukraine (Kyiv). **Methods.** The quantitative content of pigments, flavonols and proline was determined using the spectrophotometric method with a Zalimp KF 77 spectrophotometer (Poland), in accordance with the relevant procedures. Plants that had grown for 40 years in grey forest soil (pH 6.5–7.0) were analysed. **Results.** Analysis of the experimental data revealed significant differences in flavonol content and accumulation dynamics between the studied species in mono- and mixed plantings during the growing season. Leaves of actinidia in mono-plantings had higher levels of these compounds than plants in mixed plantings. The accumulation of proline in actinidia leaves in combined plantings with magnolia vine was lower throughout the entire research period compared to mono-species plantings. Leaves of magnolia vines in monoculture accumulated 20% less proline than plants growing alongside actinidia. Mixed plantings were found to result in a 1.6-fold higher accumulation of chlorophyll in *A. arguta* compared to mono-species plantings. **Conclusions.** *A. arguta* plants grown alongside *S. chinensis* plants exhibit improved growth compared to those grown in mono-cultures. *S. chinensis* is an autotolerant plant for which mono-species plantings are preferable. The proline and flavonoid content of vine leaves, as well as their pigment complex, can serve as an indicator of the plants' physiological state and competitiveness in garden cenoses.

Keywords: allelopathy; biochemical indicators; secondary metabolites; photosynthetic pigments.

Introduction

Modern fruit plantations often rely on mono-culture orchards with closely spaced plants. This practice typically results in soil fatigue and a decline in the stability and productivity of orchard ecosystems. In order to counteract the detrimental effects of monoculture in fruit plantations, it is crucial to increase species diversity. According to the concept of ecological horticulture, the primary principle for developing orchard ecosystems is to optimise their structure by creating mixed, multicomponent plantations, thereby shifting from monoculture to polyculture. Ecosystems with greater species diversity tend to be more efficient, stable, productive and resilient than those with fewer species [2, 3].

At the current stage of horticulture development, the issue of introducing rare fruit plants into cultivation and developing effective cultivation technologies to improve the structure of garden phytocenoses and green horticulture in general remains important. Therefore, research into the interaction between perennial plants in mixed plantings and their subsequent effects is particularly relevant.

Experiments focusing on the joint cultivation of non-traditional and rare fruit crops are of particular interest. Specifically, these include the deciduous vines of *Actinidia arguta* (Siebold et Zucc.) Planch. ex Miq. and *Schisandra chinensis* (Turcz.) Baill. – magnolia vine. These plants produce fruits that are rich in biologically active substances and can be eaten fresh. They are also widely used in the production of various products. Despite their high nutritional and medicinal value, there is currently insufficient scientific information regarding their cultivation.

In order to introduce these new species into horticulture on a large scale, it is vital to assess their adaptive capabilities, study the conditions

Nadiia Skrypchenko
<https://orcid.org/0000-0002-1233-9920>

Volodymyr Levon
<https://orcid.org/0000-0003-2652-9984>

Tatiana Venediktova
<https://orcid.org/0000-0002-7419-0703>



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

and factors that affect their growth and development, and investigate their mechanisms of resistance to adverse environmental conditions. Furthermore, it is essential to understand their allelopathic properties, which influence species compatibility in mixed plantings, in order to create production plantations.

Previous research on the allelopathic activity of fruit vines suggests that *Actinidia* and *Schisandra* (Chinese magnolia vine) are auto-intolerant crops. This means that the substances they secrete, such as leaf exudates, root diffusates, fallen leaves, shoots, flowers and fruits, contain compounds that inhibit the germination of their own seeds and the growth of various test plant seedlings [4].

An examination of the phytotoxicity of soil beneath *A. arguta* and *S. chinensis* after long-term monoculture growth revealed interesting results. Soil from under *A. arguta* plants did not exhibit any phytotoxic effects on the test plants, whereas soil from under *S. chinensis* plants showed high levels of phytotoxicity [5].

There is substantial evidence that each organism within a phytocoenosis has the ability to produce various metabolic products that affect the surrounding environment. These products can be toxic, beneficial or neutral for nearby plants. As they grow and develop, plants create an allelopathic sphere around themselves, leading to allelopathic interactions within plant communities [6, 7]. Allelochemicals, which can be primary or secondary metabolites, are produced by plants during growth and are influenced by environmental conditions.

It is essential to study the mutual influence of plants as an environmental factor, particularly the way in which allelochemicals enter the environment and affect nearby plants [8]. When plants are exposed to adverse conditions, they experience stress, which can manifest at genetic, metabolic, morphological and physiological levels [9]. This stress can affect the health and development of plants, leading to changes in photosynthetic activity, increased levels of the amino acid proline and the accumulation of phenolic compounds [10]. These changes indicate the degree to which plants can resist various negative factors.

This study focuses on the biochemical characteristics of plants grown in monocultures and mixed plantings. The aim of this research is to reveal the patterns of interaction between different plant species, with the potential to optimise cultivation techniques and enhance fruiting in the future.

Specifically, the research compares the interactions between *A. arguta* and *S. chinensis* in

garden ecosystems under mono- and mixed planting conditions. It also assesses the aftereffects of these interactions by examining the plants' pigment complexes and measuring flavonol and proline accumulation in the leaves of perennial species.

Materials and Methods

The study was conducted in the collection areas of the M. M. Gryshko National Botanical Garden of the National Academy of Sciences of Ukraine (NBG) using standard scientific fruit-growing methods [11]. The subjects of the study were the twenty-year-old perennial vines *A. arguta* 'Sentiabrskaja' and *S. chinensis* 'Sado-vyi-1'. The vines were planted in rows 2 metres apart with 3 metres between each row.

Samples were collected in June, August and early October 2022. The experimental variants included:

- I) a mixed planting of 50% actinidia and 50% Chinese magnolia vine;
- II) a mono-planting of 100% actinidia;
- III) a mono-planting of 100% Chinese magnolia vine;
- IV) a magnolia vine planted after previously grown actinidia;
- V) a Chinese magnolia vine planted after a Chinese magnolia vine that previously grew in this plantation.

To analyse the flavonols, 0.5 g of dried, crushed raw materials was placed in a flask. Next, 3 ml of 80% ethanol was added and the mixture was heated in a water bath for 45 minutes. Once heating was complete, the flask was left to cool to room temperature. The resulting suspension was filtered through a paper filter into a 100 ml volumetric flask. The solution was adjusted to a final volume of 100 ml with more 80% alcohol, resulting in solution A.

Two millilitres of solution A were transferred to a 25-millilitre volumetric flask. Then, 1 ml of a 2% aluminium chloride solution in 95% ethanol was added and the volume was made up to 25 ml with 95% alcohol. After waiting for 20 minutes, the optical density of the solution was measured using a Zalimp KF 77 spectrophotometer (Poland) at a wavelength of 390 nm, using a cuvette with a 10 mm light path length. For the control, a mixture of aluminium chloride and acetic acid solutions was used [12].

The concentration of flavonols, denoted as C_{flav} , in terms of rutin in dried raw materials is calculated using the following formula:

$$C_{flav} = (R \times D \times K \times A) / m,$$

In this formula:

R represents the tangent of the slope of the calibration graph showing the relationship be-

tween the optical density of the test solution and the flavonol concentration (with a value of 0.1062); D is the measured optical density; K is the conversion factor for dried weight (1 in this case); A is the volume of the sample; and m is the sample weight in grams.

The quantitative content of proline was determined using the method described in reference [13]. First, 0.5 g of plant material was homogenised in 10 ml of a 3% sulfosalicylic acid solution and the resulting mixture was filtered through double filter paper. In a test tube, 2 ml of the filtrate was reacted with 2 ml of acidic ninhydrin and 2 ml of ice-cold acetic acid for one hour at 100 °C. The reaction was stopped by placing the test tube in an ice bath and then combining the reaction mixture with 4 ml of toluene for 20 seconds. The resulting coloured toluene solution was separated from the aqueous phase and analysed using a spectrophotometer at a wavelength of 520 nm, with toluene serving as the control.

The proline concentration (Cpr, $\mu\text{mol/g}$ wet weight) was determined using a standard curve and calculated according to the following formula:

$$Cpr = (D \times K \times V) / m$$

where: D is the optical density of the solution, K is the calibration curve coefficient (217.49), V is the extract volume in millilitres and m is the sample weight in grams.

Experiments were performed with three biological and three technical replicates for each variant. The resulting data were processed using variational statistical methods. The results are presented as the mean $\pm$ standard error ($M \pm SE$). The significance of the differences in means was assessed using a Student's t -test. A level of statistical significance of $p < 0.05$ was considered significant. Statistical data processing was performed using the IBM SPSS Statistics package (version 27.0.1).

The content of photosynthetic pigments was determined by spectrophotometry. The pigment complex was studied in the first decade of June, which is the period of most intensive shoot growth. Carotenoids were measured at $\lambda = 440.5$ nm, a at $\lambda = 665$ nm, and chlorophyll b at $\lambda = 649$ nm. Pigment extracts from leaves were prepared in 96% alcohol for the measurement. Measurements for each pigment extraction were carried out in tenfold replicates. The concentrations of chlorophylls a and b (mg/L) in the extract were calculated using the Vernon formula. The Vettstein formula was used to determine the carotenoid concentration (mg/L) in the total pigment extract [14]. The pigment content (A , mg/g of wet weight) in the extract was determined using the following formula:

$$A = C \times V / (P \times 1000),$$

where: C – pigment concentration (mg/L); V – extract volume (mL); P – plant material weight (g).

Results and Discussion

Phenolic compounds are among the most important classes of allelochemical due to their widespread presence in the plant kingdom and their diverse effects on key physiological and biochemical processes, such as respiration, photosynthesis, growth and development [15]. They play a crucial role in chemical interactions between plants and are among the allelopathic substances found in fruit crops. The accumulation of flavonoids is considered an indicator of non-specific plant resistance to stress. Analysis of experimental data revealed significant differences in flavonol content and accumulation dynamics between the studied plant species under various cultivation conditions. At the beginning of the growing season (in the first or second decade of June), flavonol content in plant leaves is at its maximum, corresponding to growth and metabolic processes. Interestingly, leaves of *Actinidia* grown in mono-plantings exhibited higher levels of flavonoids than those grown in mixed plantings. Conversely, the opposite trend was observed with magnolia vines, where the flavonol content was higher in leaves growing under joint conditions.

A decrease in flavonols was observed in the leaves of both *A. arguta* and *S. chinensis* across all experimental variants. This decline lasted until mid- to late August, after which these compounds accumulated actively in the leaf mass of the plants, a trend that continued until November. This accumulation is likely related to the plants' excretory functions, the cessation of metabolic activity and their preparation for winter. Furthermore, comparing the average flavonol content with weather conditions reveals that the highest levels of these compounds were present in the leaves during pronounced moisture deficits in June, when daytime temperatures reached 30 °C. This suggests that an increase in flavonol content is a plant's response to drought as a stress factor. Conversely, an increase in flavonol content in the leaves of *S. chinensis* (under mono-planting conditions) was only observed at the end of the dry period. This may suggest that *A. arguta* is more adaptable than *S. chinensis* in response to stress caused by high temperatures and drought.

One of the primary non-specific responses of plant cells to stress factors is an increase in the amino acid proline. During the study, it was ob-

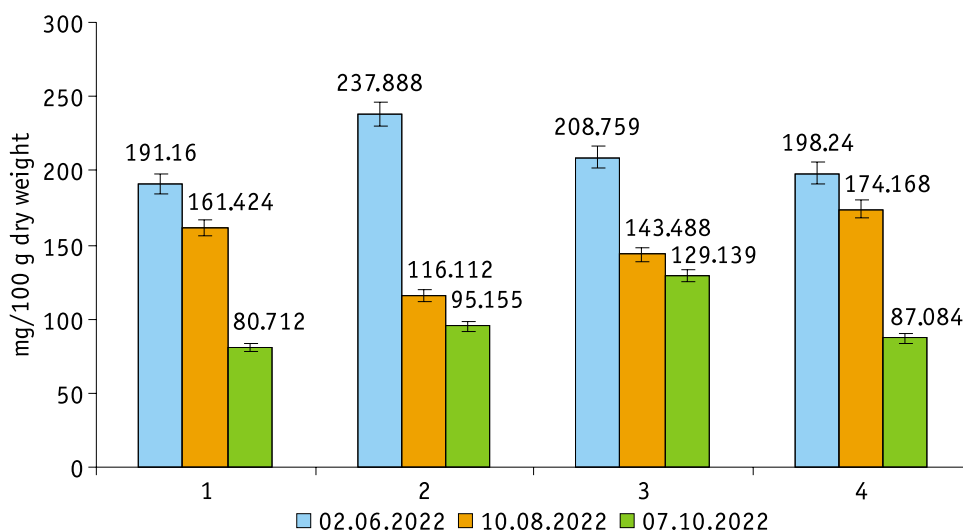


Figure 1. The flavonol content in the leaves of *A. arguta* and *S. chinensis* during the growing season, comparing mono- and mixed plantings.

The groups are as follows: 1 – Actinidia in mixed planting (I); 2 – Actinidia in mono-planting (II); 3 – Magnolia vine in mixed planting (I); 4 – Magnolia vine in mono-planting (III)

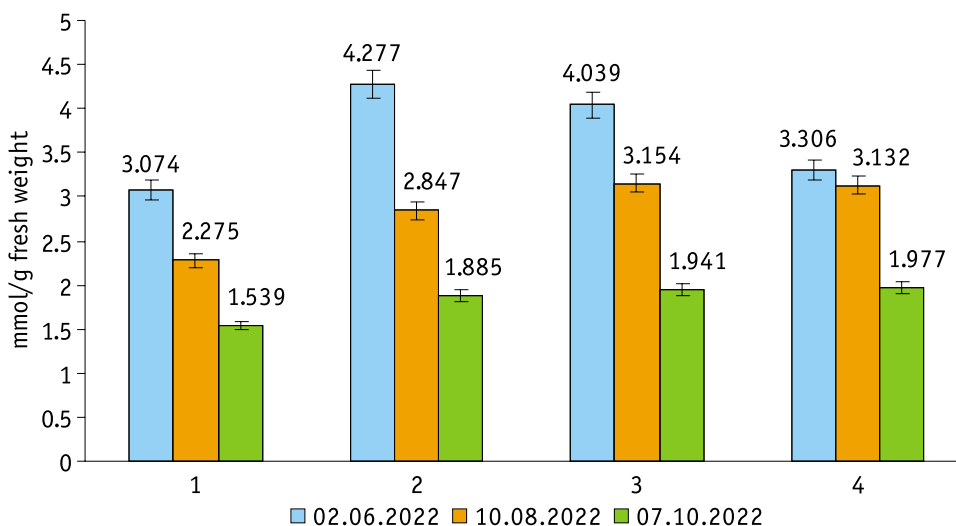


Figure 2. Proline content in the leaves of *A. arguta* and *S. chinensis* during the growing season was measured in both mono- and mixed plantings.

The study included the following setups: 1 – Actinidia mixed planting (I); 2 – Actinidia mono-planting (II); 3 – planting (II) Magnolia vine mixed planting (I); 4 – Magnolia vine mono-planting (III)

served that the accumulation of proline in the leaves of actinidia was lower in mixed plantings with magnolia vine than in monoculture. Conversely, the amount of proline accumulated in the leaves of magnolia vines grown in monoculture was 20% lower than in vines growing alongside actinidia. This suggests that magnolia vine enjoys more favourable growing conditions in monoculture.

The photosynthetic activity of plants is a key factor in determining the productivity of garden agroecosystems. It is well established that the photosynthetic apparatus of plants responds to various agronomic practices by undergoing specific changes. These changes can include alterations in total chlorophyll content, the ratio of

chlorophyll *a* to chlorophyll *b* and carotenoid levels. Carotenoids are pigments that protect the photosynthetic apparatus from photooxidation caused by adverse environmental conditions [17]. Research on pigment accumulation dynamics has shown that mixed plantings have a higher chlorophyll content than mono-species plantings (see Fig. 3a, b). Notably, the chlorophyll *b* content of *A. arguta* leaves was found to be 59% higher in mixed plantings than in mono-species plantings.

Research has shown that the total amount of chlorophyll *a* and *b* in the leaves of *A. arguta* in single-species plantings is 5.75 mg/g of raw plant weight. In mixed plantings, this figure increases by 20% to 6.90 mg/g. In magnolia vines,

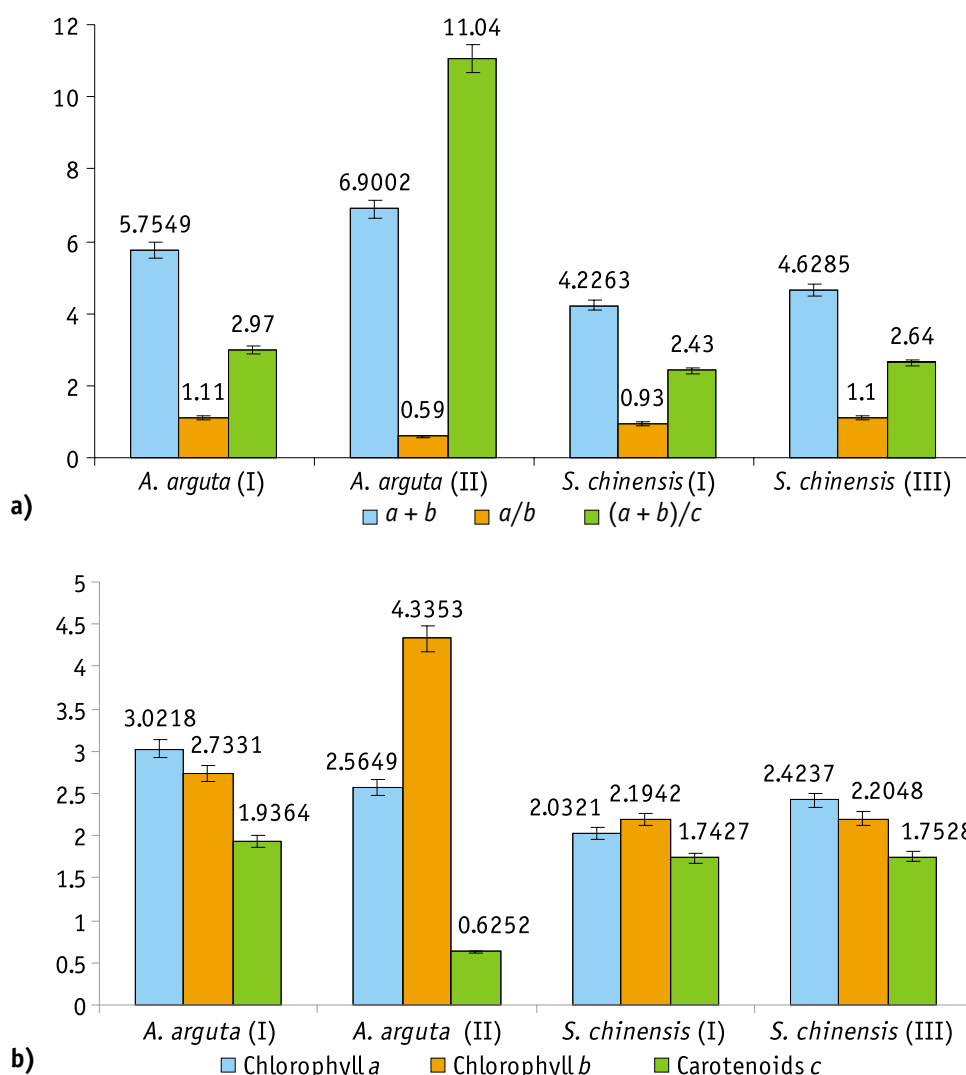


Figure 3. The content of photosynthetic pigments in the leaves of *A. arguta* and *S. chinensis* (measured in mg/g of raw weight) is presented along with their ratios in mono- and mixed plantings: *A. arguta*: (I) Mixed planting, (II) Mono planting; *S. chinensis*: (I) Mixed planting, (III) Mono planting

the sum of chlorophyll *a* and *b* in single-species plantings is 4.22 mg/g, whereas in mixed plantings it is 4.63 mg/g. The ratio of chlorophyll *a* to chlorophyll *b* in *A. arguta* is 1.11 in a single-species planting and drops to 0.59 in a mixed planting. In contrast, the ratio for *S. chinensis* is 0.93 in a single-species planting and increases to 1.10 in a mixed planting. *A. arguta* has slightly higher levels of chlorophyll *a* than *S. chinensis*. As chlorophyll *a* is more efficient in the photosynthesis process of converting carbon dioxide and water into organic substances, *A. arguta* is considered a more productive crop than *S. chinensis* in terms of biomass. The amount of chlorophyll *b* in *A. arguta* plants increases significantly (by 1.6 times) in mixed plantings compared to mono-species plantings. Conversely, the amount of chlorophyll *a* in *S. chinensis* leaves in mixed plantings increases by 20%, while the chlorophyll *b* content does not differ

significantly between mixed and mono-species plantings. In summary, although the ratio of chlorophyll *a* to chlorophyll *b* decreases, the leaves of *A. arguta* in mixed plantings have a higher overall chlorophyll content.

Maintaining carotenoid levels supports photosynthesis during stressful conditions. Carotenoids protect plant cells from increased reactive oxygen species and stabilise chloroplast membranes [18]. Additionally, changes in the chlorophyll-to-carotenoid ratio indicate the restructuring of light-harvesting complexes in photosystems and the enhanced role of carotenoids as supplementary light-gatherers in the blue-violet region of the solar spectrum. In *A. arguta*, the ratio of total chlorophyll to total carotenoids in the leaves ranges from 2.97 to 11.04, whereas in *S. chinensis* it ranges from 2.43 to 2.64. The highest ratio (11.04) is observed in *A. arguta* leaves in mixed planting conditions,

whereas *S. chinensis* reaches a maximum ratio of only 2.64.

The data obtained are consistent with the results of an experiment conducted by Japanese scientists which demonstrated that tomato plants (*Solanum lycopersicum*) thrive when grown alongside members of the *Lamiaceae* family. This mixed planting enhances growth through changes in secondary metabolite and amino acid content. Specifically, root exudates from *Lamiaceae* improve soil properties and positively influence its microbiota [19]. Studies suggest that *A. arguta* is a dominant species compared to *S. chinensis*. Dominant species typically experience strong intraspecific competition and tend to thrive better when grown alongside other plant species. In such scenarios, intraspecific competition is often replaced by weaker interspecific competition [20].

Like all plants, fruit crops absorb essential mineral nutrients and organic compounds during their life cycles. They also actively release various metabolites into their environment. These metabolic products can accumulate in the soil, creating a unique biochemical environment that influences the growth of both related and unrelated plant species [16]. A study evaluating the effects on *S. chinensis* plants of Actinidia (*A. arguta*) and magnolia vine plants that had been growing for over 40 years and were subsequently removed showed interesting results. The leaves of *S. chinensis* accumulated higher amounts of the stress-related compound proline than those of plants that were planted afterwards. This suggests that *S. chinensis* may have a degree of self-tolerance and indicates the strong allelopathic activity of Actinidia root secretions.

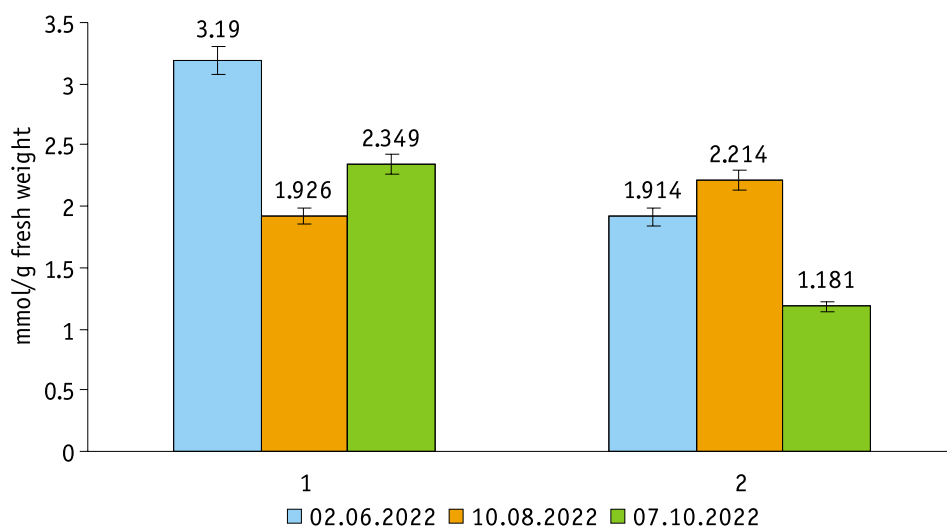


Figure 4. Proline content in the leaves of *S. chinensis* during the growing season:
1 – magnolia vine after actinidia (IV); 2 – magnolia vine after another magnolia vine (V)

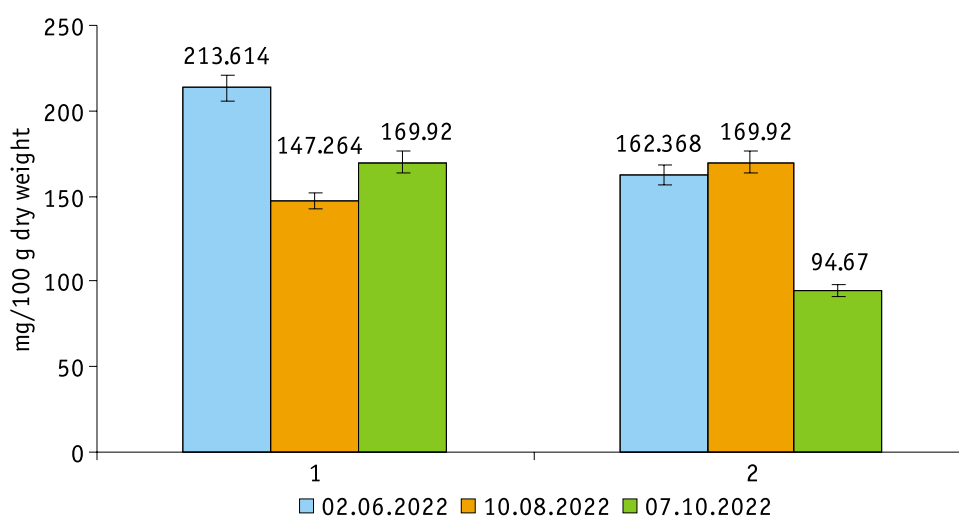


Figure 5. Flavonol content in the leaves of *S. chinensis* during the growing season:
1 – magnolia vine following actinidia (IV); 2 – magnolia vine following another magnolia vine (V)

The discrepancy in research outcomes concerning the tolerance of experimental plants, as compared to prior findings [4], could be attributed to the extended growth period of the predecessor plants and the uncontrolled conditions under which the studied plants were cultivated within the garden ecosystem. Throughout the growing season, the accumulation of flavonols in the leaves of *S. chinensis* following the magnolia vine was lower than in plants grown after actinidia (Fig. 5).

By the end of the growing season in October, the flavonol content of magnolia vine plants that had previously grown in the same area had decreased significantly. This is in contrast to magnolia vine plants, which were planted after actinidia and do not exhibit this decrease. Waste products from the previously grown actinidia plants suppress the growth of *S. chinensis*.

Conclusions

Interplanting *A. arguta* with *S. chinensis* has a positive impact on the productivity and stress resistance of Actinidia vines. Compared to plants grown in isolation, the growth of *A. arguta* improves when it is grown alongside *S. chinensis* due to alterations in the content of secondary metabolites and the pigment system. The levels of proline and flavonoids in the leaves of these vines, along with their pigment composition, can serve as biochemical indicators of the plants' physiological state and competitiveness in mono- and mixed plantings. Furthermore, *S. chinensis* is a self-tolerant species and mono-species plantings are more beneficial for it.

References

- Moroz, P. A. (1990). *Allelopathy in fruit orchards*. Naukova Dumka. [In Ukrainian]
- Lohbeck, M., Bongers, F., Martinez-Ramos, M., & Poorter, L. (2016). The importance of biodiversity and dominance for multiple ecosystem functions in a human-modified tropical landscape. *Ecology*, 97(10), 2772–2779. <https://doi.org/10.1002/ecy.1499>
- Jing, L., Zhao, M., Li, P., & Xu, X. (2017). A convolutional neural network based feature learning and fault diagnosis method for the condition monitoring of gearbox. *Measurement*, 111, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2017.07.017>
- Osyypova, I. Yu., & Moroz, P. A. (2001). Allelopathic properties of new fruit cultures. *Plant Introduction*, 1–2, 98–109. <https://doi.org/10.5281/zenodo.3334624> [In Ukrainian]
- Skrypchenko, N. V., Dziuba, O. I., & Horbenko, N. Ye. (2020). Assessment of soil fatigue under long-term cultivation of woody fruit lianas. *Scientific Bulletin of UNFU*, 30(3), 36–40. <https://doi.org/10.36930/40300306>
- Dragoeva, A. P., Nanova, Z. D., & Kalcheva, V. P. (2010). Allelopathic activity of micropropagated *Hyssopus officinalis* L., *Lamiaceae*, water infusions. *Revista Brasileira de Farmacognosia*, 20(4), 513–518. <https://doi.org/10.1590/S0102-695X2010000400009>
- Hussain, M. I., Danish, S., Sánchez-Moreiras, A. M., Vicente, Ó., Jabran, K., Chaudhry, U. K., Branca, F., & Reigosa, M. J. (2021). Unraveling sorghum allelopathy in agriculture: Concepts and implications. *Plants*, 10(9), Article 1791. <https://doi.org/10.3390/plants10091795>
- Wei, Z., Ying, H., Guo, X., Zhuang, M., Cui, Z., & Zhang, F. (2020). Substitution of mineral fertilizer with organic fertilizer in maize systems: A meta-analysis of reduced nitrogen and carbon emissions. *Agronomy*, 10(8), Article 1149. <https://doi.org/10.3390/agronomy10081149>
- Lazar, T. (2003). Taiz, L. and Zeiger, E. Plant physiology. 3rd edn. *Annals of Botany*, 91(6), 750–751. <https://doi.org/10.1093/aob/mcg079>
- Pérez-Bueno, M., Pineda, M., & Barón Ayala, M. (2019). Phenotyping plant responses to biotic stress by chlorophyll fluorescence imaging. *Frontiers in Plant Science*, 10, Article 1135. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01135>
- Kondratenko, P. V., & Bublyk, M. O. (1996). *Methods of conducting field experiments with fruit crops*. Agrarna Nauka. [In Ukrainian]
- Nurlinda, N., Handayani, V., & Rasyid, F. A. (2021). Spectrophotometric determination of total flavonoid content in *Biancaea sappan* (*Caesalpinia sappan* L.) leaves. *Jurnal Fitofarmaka Indonesia*, 8(3), 1–4. <https://doi.org/10.33096/jffi.v8i3.712>
- Bates, L. S., Waldren, R. P., & Teare, I. D. (1973). Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and Soil*, 39(1), 205–207. <https://doi.org/10.1007/BF00018060>
- Chakchyr, B. A., & Alekseeva, H. M. (2002). Photometric methods of analysis: Methodological guidelines.
- Blum, U., Shafer, S. R., & Lehman, M. E. (1999). Evidence for inhibitory allelopathic interactions involving phenolic acids in field soils: Concepts vs. experimental model. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 18(5), 637–693. <https://doi.org/10.1080/07352689991309441>
- Grodzinskiy, A. M. (1981). About the new concept of allelopathy. In *Chemical Interaction of Plants* (pp. 3–18). Naukova Dumka.
- Kochubei, S. M., Shevchenko, V. V., Bondarenko, O. Yu., & Panas, Y. D. (2013). Dynamics of changes in the functional activity of the photosynthetic apparatus of pea plants caused by high-temperature stress. *Reports of the National Academy of Sciences of Ukraine*, 6, 152–156. [In Ukrainian]
- Shadchyna, T. M., Huliaiev, B. I., & Kirizii, D. A. (2006). *Regulation of photosynthesis and plant productivity: Physiological and ecological aspects*. Fitosotsiotsentr. [In Ukrainian]
- Ahmad, P. (2014). *Oxidative damage to plants: Antioxidant networks and signaling*. Academic Press.
- Peter, A. J. (2001). The replacement series. *Journal of Ecology*, 88(3), 371–385. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2745.2000.00470.x>

УДК 581.192:[582.688.4+582.678.2]

Скрипченко Н. В., Левон В. Ф., Венедиктова Т. Б., Книш В. П. Особливості метаболізму плодових лоз *Actinidia arguta* (Siebold & Zucc.) Planch. ex Miq. і *Schizandra chinensis* (Turcz.) Baill. в умовах змішаного та монокультурного вирощування. *Plant Varieties Studying and Protection*. 2025. Т. 21, № 3. С. 137–144. <https://doi.org/10.21498/2518-1017.21.3.2025.339315>

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

Мета. Вивчити взаємодію між плодовими лозами *A. arguta* 'Сентябрьская' та *S. chinensis* 'Садовий' у моно- та змішаних насадженнях, дослідивши пігментний комплекс рослин та особливості накопичення флавонолів і проліну у вегетативних органах. **Методи.** Дослідження проводили в Національному ботанічному саду імені М. М. Гришка Національної академії наук України (м. Київ). Кількісний уміст пігментів, флавонолів і проліну визначали методом спектрометрії, послуговуючись відповідними методиками. **Результати.** Аналіз одержаних експериментальних даних показав значні відмінності між досліджуваними видами в моно- та змішаних насадженнях як за вмістом флавонолів у період вегетації, так і за динамікою їх накопичення. Рослини актинідії більшою кількістю цих сполук відрізнялися в одновидових насадженнях, порівнюючи із сумісними. Вміст проліну в листках *A. arguta* за умови росту разом із *S. chinensis* був нижчим, ніж у монокультурі, впро-

довж усього періоду досліджень. На 20% меншим накопиченням вказаної амінокислоти характеризувалися й листки лимонника в одновидових насадженнях, як порівняти зі змішаними. Якщо плодові лози *A. arguta* росли разом із *S. chinensis*, то накопичували в 1,6 раза більше хлорофілу, ніж у монокультурі. **Висновки.** Вегетативні органи рослин *A. arguta* у змішаних із *S. chinensis* насадженнях, як порівняти з однокультурними, вирізняються вищими показниками фотосинтезу та нижчим умістом проліну й флавоноїдів. Лимонник характеризується аутоolerантністю, тому для нього прийнятнішим є монокультурне вирощування. Особливості пігментного комплексу, показники вмісту проліну та флавоноїдів у тканинах можуть слугувати біохімічними індикаторами стану рослин та їхньої сумісності у змішаних насадженнях.

Ключові слова: алелопатія; біохімічні індикатори; вторинні метаболіти; фотосинтетичні пігменти.

Надійшла / Received 10.08.2025
Погоджено до друку / Accepted 29.08.2025

Продуктивність деяких сортів верби прутоподібної протягом третього трирічного циклу вирощування

Л. Г. Зелінська^{1,2}, Я. Д. Фучило^{2*}

¹ Білоцерківський національний аграрний університет, Соборна площа, 8/1, м. Біла Церква, Київська обл., 09117, Україна

² Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН, вул. Клінічна, 25, м. Київ, 03110, Україна,
*e-mail: fuchylo_yar@ukr.net

Мета. Установити біометричні показники рослин та продуктивність біомаси енергетичних плантацій верби прутоподібної після третього трирічного циклу вирощування на вилугуваних чорноземах Правобережного Лісостепу за різних схем садіння та норм внесення азотних добрив. **Методи.** Насадження сортів 'Tora' й 'Тернопільська' були створені на дослідному полі Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН (ІБКіЦБ) навесні 2015 року дворядними кулісами. Густота садіння живців становила 12, 15 та 18 тис. шт./га, відстань між рядами – 0,75 м, а між кулісами – 1,50 та 2,50 м. Аміакову селітру (34,5% д. р. азоту) в нормі 100 та 200 кг/га вносили навесні перед початком другого і третього трирічного циклів. На частині площі (контрольний варіант) добрива не використовували. Третій цикл вирощування тривав із березня 2022-го до листопада 2024 року. Встановлювали кількість пагонів, їхню середню висоту, діаметр, а також урожайність трирічної енергетичної біомаси. **Результати.** Урожайність протягом першого трирічного циклу вирощування (2015–2017 рр., без використання добрив) становила 25,1–34,7 т/га ('Tora') та 16,0–27,9 т/га ('Тернопільська'). Впродовж другого циклу її показники були вищими – 65,3 т/га ('Tora') та 55,6 т/га ('Тернопільська'). Внесення 100 і 200 кг/га аміакової селітри сприяло збільшенню врожаїв до 68,1 і 74,1 т/га ('Tora') та 59,3 і 64,9 т/га ('Тернопільська') відповідно. Результати досліджень, проведених у третьому циклі вирощування, показали значний вплив застосованої схеми садіння на густоту енергетичних плантацій. Так, за ширини міжрядь 1,50 м кількість пагонів сорту 'Tora' становила 121,2–178,1 тис. шт./га, а за 2,50 м – 63,1–134,8 тис. шт./га. У верби 'Тернопільська' ці показники були на рівні 59,6–191,4 тис. шт./га та 55,8–149,8 тис. шт./га відповідно. Таку саму залежність спостерігали й за врожайністю. У сорту 'Tora' вона становила 43,1–54,3 т/га за ширини міжрядь 1,50 м та 36,8–50,8 т/га – за 2,50 м; у 'Тернопільської' – 37,5–49,3 та 28,8–39,2 т/га відповідно. Врожайність була найнижчою – 36,8–48,2 т/га ('Tora') та 28,8–42,1 т/га ('Тернопільська') – у варіанті без використання добрив і зростала до 38,2–50,2 т/га ('Tora') та 30,5–45,3 т/га ('Тернопільська') за внесення у ґрунт 100 кг/га аміакової селітри (N₃₅). Збільшення норми вдвічі (N₇₀) сприяло підвищенню врожаю сухої біомаси до 42,6–54,3 т/га ('Tora') та 33,6–47,4 т/га ('Тернопільська'). **Висновки.** Найвищі біометричні показники рослин та продуктивність енергетичної біомаси (54,3 т/га) протягом третього трирічного циклу спостерігали в сорту 'Tora' за відстані між кулісами 1,5 м, густоти садіння живців 15 тис. шт./га та внесення 200 кг/га аміакової селітри (N₃₅). Максимальну продуктивність плантацій верби 'Тернопільська' (49,3 т/га) зафіксовано за тієї самої технології вирощування, але за густоти насаджень 12 тис. шт./га. Загалом проаналізовані показники після третього циклу виявилися нижчими, як порівняти з другим.

Ключові слова: біоенергетика; плантація; верба; сорт; біомаса; технології вирощування; врожайність.

Вступ

Україна значною мірою залежить від імпорту викопних енергоносіїв. Тому будь-які

проблеми із забезпеченням ними негативно впливають на економіку та суспільство загалом [1, 2]. Для розв'язання питань енергетичної стабільності у нашій державі вже не перший рік ведуть активний пошук альтернативних поновлюваних джерел енергії. Одним із найперспективніших напрямів є біоенергетика, яка базується на використанні енергії біомаси, переважно рослинної. Її вирощуван-

Liudmyla Zelinska
<https://orcid.org/0009-0000-1800-5262>
Yaroslav Fuchylo
<https://orcid.org/0009-0002-2669-5176>



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

ня не спричиняє серйозних екологічних проблем, до того ж рослини виділяють значну кількість кисню в атмосферу [3].

Верба – одна з головних енергетичних культур, що набула значного поширення в Європі, Північній Америці та Україні [4, 5]. Її плантації створюють переважно на непридатних для ведення ефективного сільського господарства землях [2, 3, 6]. Ґрунтові умови, а також потенційні можливості культивування на таких площах суттєво різняться між собою. Зокрема, відносно багаті сірі лісові ґрунти є придатнішими для вирощування енергетичної біомаси верби, ніж зв'язно-піщані [7]. Однак навіть їх для отримання позитивних результатів необхідно підживлювати комплексними мінеральними добривами [8], передусім азотними. Деякі українські дослідники вказують, що одноразове внесення аміакової селітри у нормі 70 кг/га діючої речовини на світло-сірих лісових легкосуглинкових ґрунтах сприяє збільшенню приросту біомаси верби за трирічний період на 33–58% [9], а на вилугуваних чорноземах – до 64,7% [10]. Вчені рекомендують застосовувати азотні добрива навесні перед початком відростання пагонів.

Використовуючи мінеральні азотні добрива, необхідно зважати на співвідношення нітратного та нітритного азоту. Оптимальним для вирощування вербової біомаси є таке: 50% NO_3^- до 50% NH_4^+ . Високий уміст нітрату (87,5%) спричиняє зниження приросту [11].

З погляду екології доцільнішим є внесення органічних азотовмісних добрив. Вони, як порівняти з мінеральними, чинять повільнішу, але більш тривалу дію на ріст верби, що було встановлено шведськими дослідниками [12]. Важливим для довкілля варіантом удобрення може бути використання осаду стічних вод [13] або доочищення уже оброблених міських стічних вод видаленням із них вербовими плантаціями азоту, фосфору та інших забруднювачів [14, 15]. Перспективним є також застосування комбінованих добрив, зокрема високою продуктивністю біомаси характеризуються ґрунти, збагачені лігніном, мінеральними добривами та інокульовані мікрофітою [16].

Періодичність заготівлі енергетичної біомаси на плантаціях верби становить переважно два-чотири роки [3, 5]. Найчастішим є трирічний цикл [17, 18]. В окремих дослідженнях періодичність була комбінованою: третя та восьма ротації – чотирирічні, а решта – трирічні [19]. У певних умовах продуктивнішими можуть бути дворічні цикли заготівлі [7].

У переважній більшості наведених вище публікацій досліджували форми та гібриди верби прутopodobної (*Salix viminalis* L.). Вказаний вид, завдяки інтенсивному росту й накопиченню великих обсягів біомаси, набув значного поширення в насадженнях різного типу, зокрема – на енергетичних плантаціях. Цьому сприяв також кількостотрічний досвід його культивування з метою отримання матеріалу для виготовлення плетених виробів [4].

Нині на основі *S. viminalis* створено велику кількість сортів, які суттєво відрізняються між собою за екологічними, морфологічними, фенологічними й іншими ознаками та мають неоднакову інтенсивність зростання й накопичення біомаси в тих чи інших регіонах України.

Мета досліджень – установити біометричні показники рослин та продуктивність біомаси енергетичних плантацій верби прутopodobної після третього трирічного циклу вирощування на вилугуваних чорноземах Правобережного Лісостепу за різних схем садіння та норм внесення азотних добрив.

Матеріали та методика дослідження

Дослідження виконували на дослідному полі Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН (с. Ксаверівка Друга, Білоцерківський р-н, Київська обл.) упродовж третьої трирічної ротації (2022–2024 рр.) енергетичних плантацій сортів 'Tora' й 'Тернопільська'. Перший з них – гібрид верби Шверіна (*Salix Schwerinii* E.Wolf) з вербою прутopodobною (*S. viminalis*), одержаний у Швеції [20], а другий – сорт верби прутopodobної, виведений в Україні та внесений до Державного реєстру сортів у 2003 році (А. с. № 04194).

Насадження було створено навесні 2015 року однорічними живцями, закладеними дворядними кулісами. Відстань між рядами в кулісі становила 0,75 м, а між кулісами – 1,50 та 2,50 м за варіантів густоти 12, 15 та 18 тис. шт./га.

Ґрунт – типовий глибокий малогумусний середньосуглинковий грубопилуватий чорнозем із кислотністю ($\text{pH}_{\text{водне}}$) 6,5, вмістом гумусу 3,05%, лужногідролізованого азоту (за Корнфільдом) – 0,176 г/кг, рухомого фосфору (за Чириковим) – 0,189, рухомого калію – 0,113 г/кг ґрунту. Його обробіток проводили восени 2014 року на глибину 16–18 см. Передсадивне розпушування виконували навесні, до ручного висаджування живців. Добрива у процесі створення насаджень не використовували. Надалі, навесні 2018 та 2021 рр., тобто перед початком кожного наступного три-

річного циклу, коли ще відсутня надземна частина рослин, вносили аміакову селітру (34,5% д. р. азоту) в нормі 100 і 200 кг/га. Контроль – без добрив. Площа дослідної ділянки становила 100 м², облікової – 50 м². Розміщення ділянок – рендомізоване, повторність – триразова.

До початку досліджень у насадженнях було проведено дві заготівлі трирічної біомаси в осінньо-зимові періоди 2017–2018 та 2018–2020 рр.

Температура повітря упродовж третього трирічного циклу вирощування енергетичної

біомаси (2021–2023 рр.) була значно вищою, ніж середня багаторічна (табл. 1). Так, її у середненні значення за 2021 рік становили 8,7 °С, за 2022-й – 10,4 °С, а за 2023-й – 10,2 °С, тобто переважали норму на 16,0–38,7%, а у вегетаційний період (квітень – вересень) – на 4,2–16,1%. Водночас третій цикл вирощування характеризувався нижчою, як порівняти з середньою багаторічною, кількістю опадів протягом вегетації. Якщо їхня сума у 2021 р. в регіоні досліджень переважала норму на 3,4%, то у 2022 та 2023 рр. становила відповідно 89,6 і 92,9% від неї, або 471,2 та 488,8 мм.

Таблиця 1

Погодні умови регіону досліджень протягом третього трирічного циклу вирощування енергетичних плантацій верби прутоподібної

Місяць	Кількість опадів, мм				Температура повітря, °С			
	2021	2022	2023	Середні багаторічні	2021	2022	2023	Середні багаторічні
Січень	56,6	35,3	13,8	36	-2,5	-0,7	0,1	-5,9
Лютий	47,6	8,6	24,5	33	-4,6	2,3	-0,7	-4,4
Березень	20,0	9,4	27,3	29	1,8	3,0	4,7	0,3
Квітень	36,8	72,8	101,3	40	7,4	9,4	8,7	8,4
Травень	132,0	23,9	5,4	55	13,9	14,6	14,8	14,9
Червень	46,3	34,5	20,8	63	19,9	21,4	19,0	17,8
Липень	74,0	38,7	105,6	61	23,0	22,1	20,6	19,0
Серпень	54,0	69,2	8,1	39	19,8	24,5	22,6	18,4
Вересень	16,6	68,3	15,6	45	12,7	13,9	18,0	13,8
Жовтень	2,7	29,0	47,0	37	7,2	10,5	11,3	7,8
Листопад	18,0	18,8	75,5	41	3,4	4,5	3,3	2,0
Грудень	39,2	62,7	43,9	47	-0,4	-1,5	-0,6	-2,1
За вегетаційний період	362,4	336,4	303,8	340	14,9	16,6	16,4	14,3
За рік	543,8	471,2	488,8	526	8,7	10,4	10,2	7,5

На початку третього циклу вирощування (весна 2021 року), до розпускання бруньок, у ґрунт досліджуваних плантацій вносили аміакову селітру (N_{35} , N_{70}). На частині площі (контроль) добрива не використовували. Механізований догляд за ґрунтом вперше проводили одразу після появи сходів бур'янів, а його обробіток гербіцидом Старлент (пропізохлор, 360 г/л + тербутилазин, 190 г/л) у нормі витрати робочого розчину 200 л/га здійснювали в першій половині літа. У середині вегетаційного періоду виконували ще один механізований догляд за ґрунтом, метою якого було запобігти його ущільненню. Наступними роками третього циклу проводили аналогічні заходи, які передбачали дворазову культивування в міжряддях та одноразовий обробіток гербіцидами.

Після завершення вегетаційного періоду трирічні надземні частини рослин вивчали згідно з традиційними методиками дослідження енергетичних плантацій верб і тополь [21]. Висоту пагонів (не менше ніж 30 пагонів на кожній обліковій ділянці) вимірювали за допомогою мірної рейки з точністю до 1 см, а діаметри – електронним штангенцир-

кулем із точністю до 0,1 мм. Свіжозаготовлену біомасу зважували портативними електронними вагами-кантером 50kg ВІТЕК ВТ-601. Для визначення вологості біомаси відбирали зразки масою 100 г і в лабораторних умовах встановлювали вміст абсолютно сухої біомаси та переводили одержані показники на 1 га. Обробку отриманих результатів проводили, використовуючи пакет Statistika 6.0.

Результати досліджень

Урожайність у варіантах протягом першого трирічного циклу (2015–2017 рр.) залежно від густоти садіння та схеми досліду становила 25,1–34,7 т/га ('Tora') та 16,0–27,9 т/га ('Тернопільська') [22], а після завершення другого значно підвищилася – до 48,5–65,3 т/га ('Tora') та 31,8–56,8 т/га ('Тернопільська'). Внесення азотних добрив перед початком другого трирічного циклу заготівлі врожаю (весна 2018 року) сприяло ще більшому зростанню цього показника. Так, за використання 100 кг/га аміакової селітри (N_{35}) вихід сухої біомаси підвищився до 68,1 т/га ('Tora') та 59,3 т/га ('Тернопільська'), а за 200 кг/га – до 74,1 т/га ('Tora') та 64,9 т/га ('Тернопільська') [23].

Дослідження, проведені протягом 2021–2023 рр., показали, що плантації верби прутоподібної і у третьому циклі вирощування суттєво відрізнялися за сортовими особливостями та застосованими елементами технології: схемою та густотою садіння й нормами внесення азотних добрив. Ці чинники істотно позначилися на всіх роз-

глянутих показниках: кількості пагонів на 1 га, їхній середній висоті та середньому діаметрі, а також урожайності енергетичної біомаси.

Вплив застосованих елементів технології створення досліджуваних насаджень на кількість трирічних пагонів на 1 га представлено на рисунках 1 і 2.

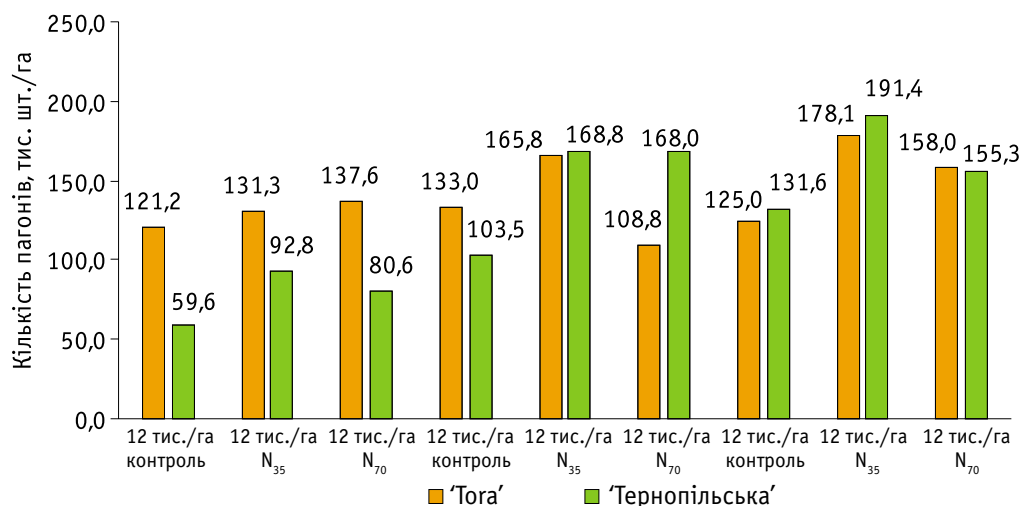


Рис. 1. Кількість пагонів після третього трирічного циклу вирощування енергетичних плантацій верби прутоподібної (2023 р.) залежно від густоти насаджень, внесення азотних добрив за схеми садіння $0,75 \times 1,50 \times 0,75$ м (НІР_{0,05} – 9,17 тис. шт./га)

За незначним винятком, більшій початковій густоті садіння відповідала більша кількість пагонів на 1 га. Так, у насадженнях 'Тора' в контролі протягом третього циклу їх утворилося 121,2 тис. шт./га за густоти 12 тис. шт./га, 133,0 тис. шт./га – за 15 тис. шт./га, 125,0 тис. шт./га – за 18 тис. шт./га. Водночас два останні показники перебували у межах точності дослідження. У сорту 'Тернопільська' серед контрольних варіантів достовірно найбільшу кількість пагонів – 103,5 тис. шт./га – сформовано за густоти садіння 15 тис. шт./га (рис. 1).

Внесення азотних добрив, особливо використання меншої норми (35 кг діючої речовини на 1 га), сприяло суттєвому зростанню кількості пагонів на 1 га: на 24,7% у сорту 'Тора' та на 45,4% в 'Тернопільській'.

Схема садіння також істотно вплинула на кількість пагонів на 1 га. Так, у сорту 'Тора' їх утворилося 121,2–178,1 тис. шт./га за відстані між кулісами, що становила 1,50 м, та 63,1–134,8 тис. шт./га – за 2,50 м. У 'Тернопільській' в першому варіанті густота варіювала в межах 59,6–191,4 тис. шт./га, а в другому – 55,8–149,8 тис. шт./га.

За більшої відстані між кулісами зменшується відстань між рослинами в рядах. Вони починають сильніше конкурувати між собою за світло, вологу та поживні речовини, від-

бувається їхнє ослаблення та/або відмирання. Цим можна пояснити суттєве зниження кількості пагонів на одиницю площі за використання міжрядь завширшки 2,5 м.

На відміну від отриманих у цьому дослідженні даних, наприкінці другої ротації кількість пагонів сорту 'Тора' була дещо меншою та становила від 77,0 тис. шт./га у контрольному варіанті до 85,5 тис. шт./га за внесення 200 кг/га аміакової селітри (N₇₀). Значно поступалися за цим показником і плантації сорту 'Тернопільська' – 89,5–106,0 тис. шт./га [23].

Аналіз показників середньої висоти продемонстрував, що протягом третього циклу вирощування вони були більшими в рослин сорту 'Тора', окрім плантацій із густотою садіння 18 тис. шт./га (рис. 3 і 4). Їхні середні значення у різних варіантах густоти та удобрення за схеми садіння $0,75 \times 1,50 \times 0,75$ м становили 3,1–4,5 м ('Тора') та 3,2–4,1 м ('Тернопільська'), а за $0,75 \times 2,50 \times 0,75$ м – 3,7–4,7 м ('Тора') та 2,6–4,3 м ('Тернопільська').

Отримані дані вказують на наявність тісної прямої залежності між удобренням плантацій і середньою висотою рослин, яка зростала зі збільшенням норми внесення аміакової селітри.

Максимальну середню висоту за обох схем садіння досліджувані сорти продемонструва-

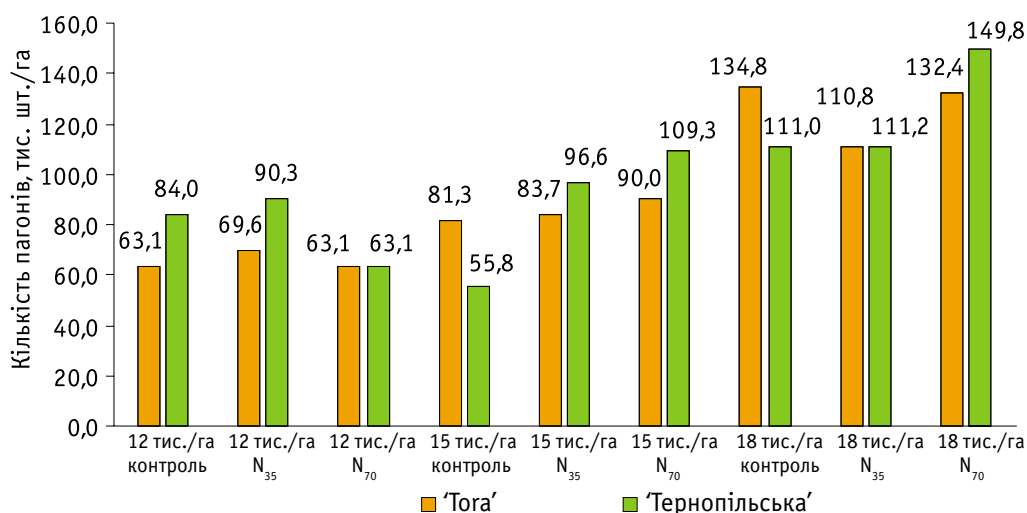


Рис. 2. Кількість пагонів після третього трирічного циклу вирощування енергетичних плантацій верби прутоподібної (2023 р.) залежно від густоти насаджень, внесення азотних добрив за схеми садіння $0,75 \times 2,50 \times 0,75$ м ($HIP_{0,05} = 8,97$ тис. шт./га)

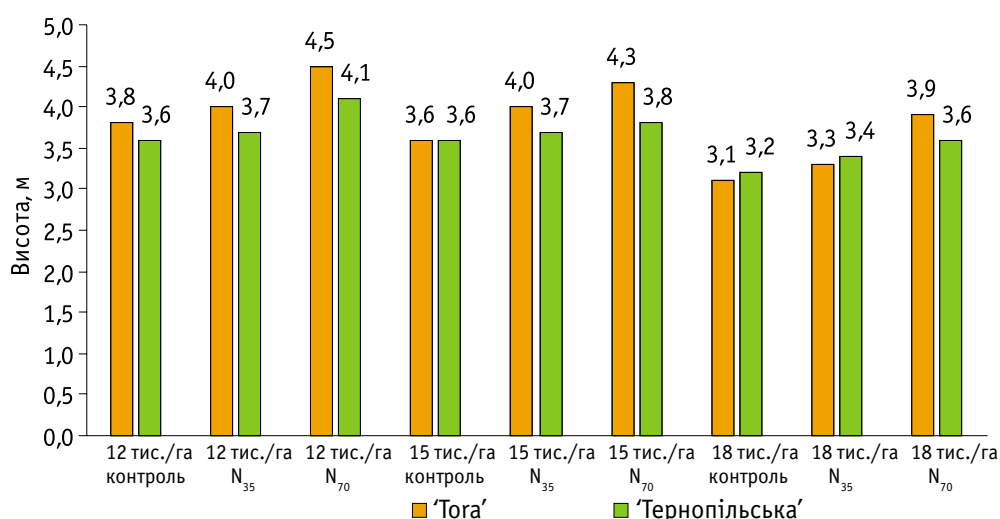


Рис. 3. Середня висота кущів третього циклу вирощування енергетичних плантацій верби прутоподібної (2021–2023 рр.) залежно від їхньої початкової густоти, внесення азотних добрив та схеми садіння $0,75 \times 1,50 \times 0,75$ м ($HIP_{0,05} = 0,15$ м)

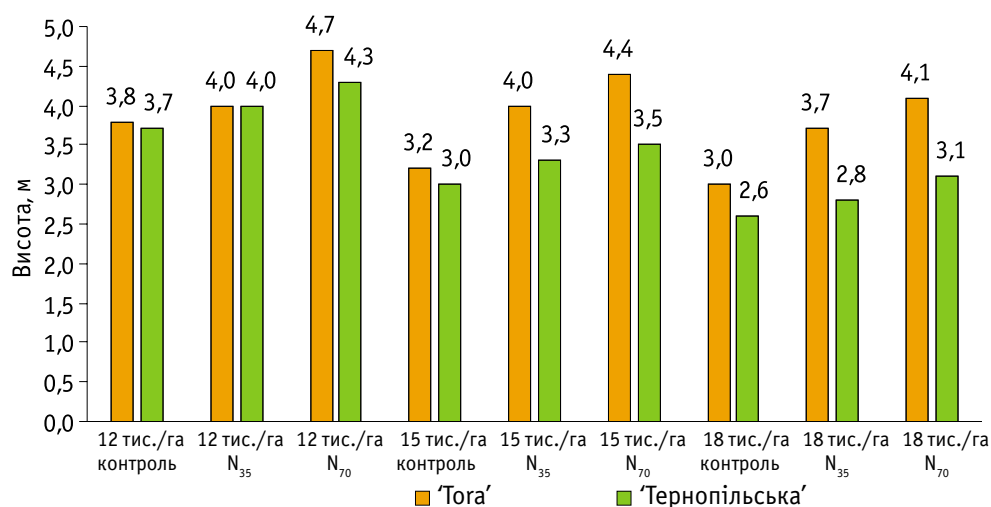


Рис. 4. Середня висота кущів третього циклу вирощування енергетичних плантацій верби прутоподібної (2021–2023 рр.) залежно від їхньої початкової густоти, внесення азотних добрив та схеми садіння $0,75 \times 2,50 \times 0,75$ м ($HIP_{0,05} = 0,17$ м)

ли у варіантах із густотою насаджень 12 тис. шт./га (мінімальна). Так, у верби 'Tora' за норми внесення добрив N_{70} вона варіювала в межах 4,5–4,7 м, а в 'Тернопільській' – 4,1–4,3 м. Зі збільшенням густоти садіння до 18 тис. шт./га (максимальна) середня висота знижувалася й становила 3,9–4,1 м у 'Tora' та 3,1–3,6 м в 'Тернопільській'.

Отримані дані вказують на те, що значно нижчі рослини формувалися протягом третьої ротації, як порівняти з другою, висота впродовж якої становила від 6,38 до 6,98 м у

сорту 'Tora' та від 5,90 до 6,60 м у 'Тернопільській' відповідно [23]. Це можна пояснити менш сприятливими погодними умовами останніх років.

Найбільший середній діаметр пагонів біля основи – 25,80 мм – був у рослин сорту 'Tora' за густоти насаджень 15 тис. шт./га, а найменший – 13,97 мм – в 'Тернопільській' за максимальної густоти та схеми садіння $0,75 \times 2,50 \times 0,75$ м (рис. 5). Загалом сорт 'Tora' переважав 'Тернопільську' за цим показником в 11 випадках із 12.

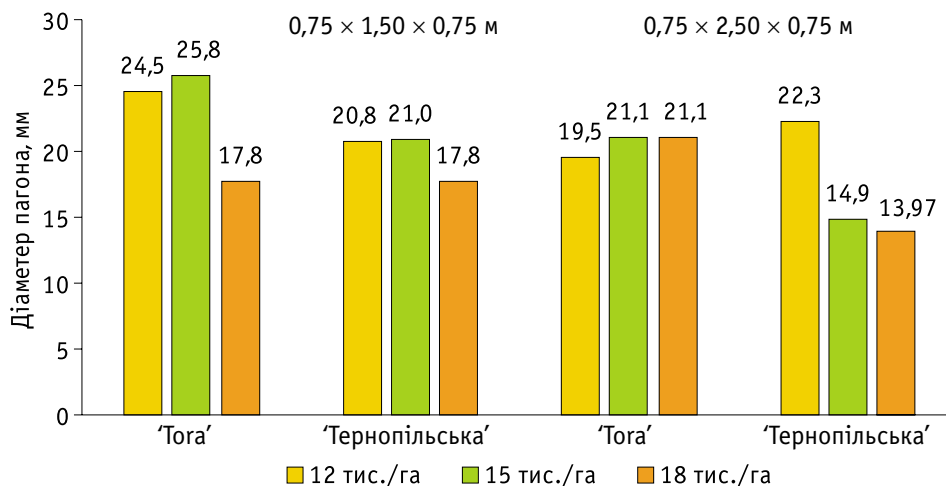


Рис. 5. Середній діаметр пагонів енергетичних плантацій верби прутоподібної третього циклу вирощування (2021–2023 рр.) залежно від їхньої початкової густоти, схеми садіння та сортових особливостей ($HIP_{0,05} = 1,86$ мм)

За збільшення густоти насаджень простежувалася тенденція до зменшення діаметра пагонів. Водночас на нього суттєво не вплинули застосовані в дослідженні норми аміакової селітри, які, однак, посприяли значному зростанню врожайності енергетичної біомаси (рис. 6 і 7).

Як видно з наведених даних, найнижчу врожайність за обох схем садіння зафіксовано на контрольних ділянках, без використання добрив – 36,8–48,2 т/га ('Tora') та 28,8–42,1 т/га ('Тернопільська'). Її показники зростали за внесення у ґрунт 100 кг/га аміакової

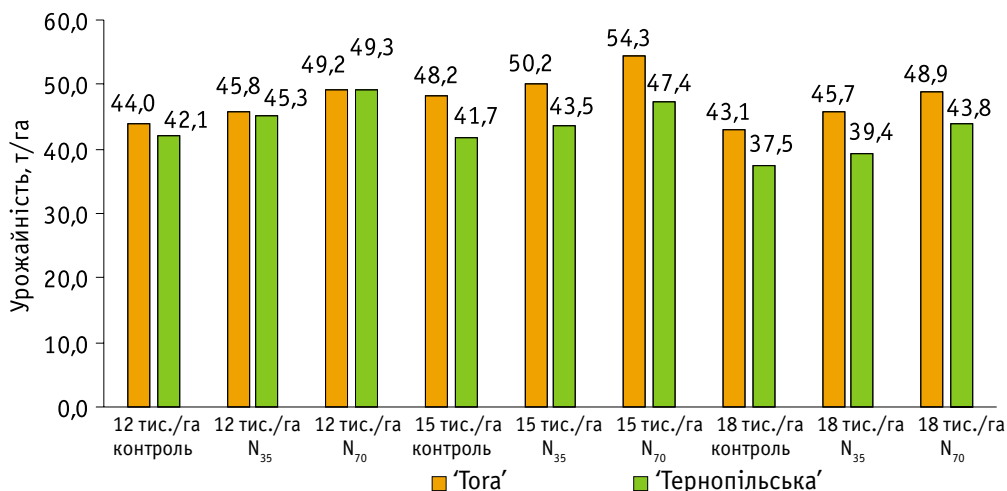


Рис. 6. Урожайність сухої речовини верби прутоподібної після третього трирічного циклу вирощування (2021–2023 рр.) залежно від густоти насаджень, внесення азотних добрив за схеми садіння $0,75 \times 1,50 \times 0,75$ м ($HIP_{0,05} = 1,47$ т/га)

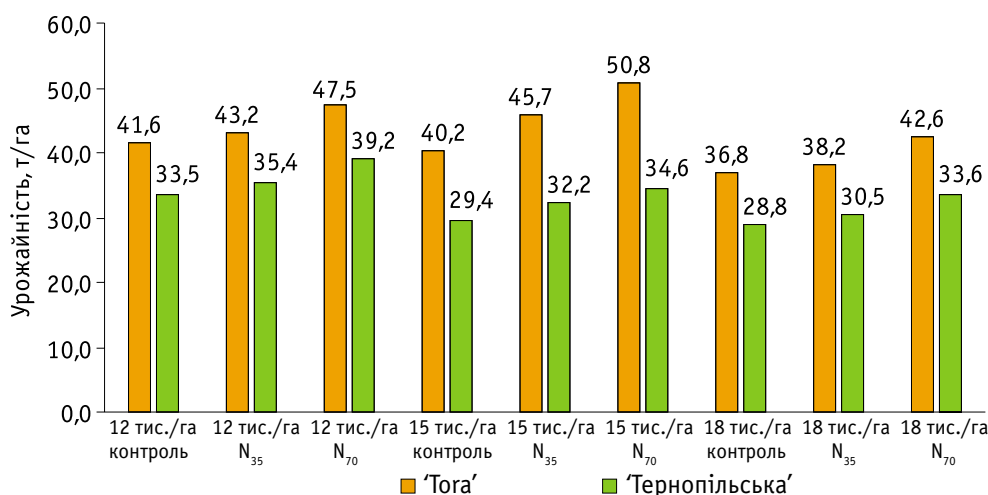


Рис. 7. Урожайність сухої речовини верби прутоподібної після третього трирічного циклу вирощування (2021–2023 рр.) залежно від густоти насаджень, внесення азотних добрив за схеми садіння $0,75 \times 2,50 \times 0,75$ м (НІР_{0,05} – 1,34 т/га)

селітри (N₃₅) – до 38,2–50,2 т/га ('Tora') та 30,5–45,3 т/га ('Тернопільська'). Збільшення норми вдвічі (N₇₀) сприяло підвищенню врожаю сухої біомаси до 42,6–54,3 т/га ('Tora') та 33,6–47,4 т/га ('Тернопільська').

Отже, врожайність досліджуваних сортів упродовж третьої ротації загалом була суттєво нижчою, порівнюючи з другою, коли продуктивність на контрольних ділянках варіювала в межах 48,5–65,3 т/га ('Tora') та 31,8–60,5 т/га ('Тернопільська'), а за внесення добрив – 68,1–74,1 т/га ('Tora') та 59,3–64,9 т/га ('Тернопільська') [23]. Врожайність біомаси протягом першої ротації (без використання добрив) значно поступалася показникам третьої і становила 25,1–34,7 т/га ('Tora') та 16,0–27,9 т/га ('Тернопільська') [22]. Схожу тенденцію до зменшення врожайності упродовж третьої ротації, як порівняти з другою, зафіксували й американські вчені в процесі 24-річного дослідження 19 сортів верби [19].

Висновки

1. Дослідження врожайності біомаси енергетичних плантацій верби прутоподібної третього циклу вирощування показали, що у варіантах без внесення добрив вона становила 36,8–48,2 т/га ('Tora') та 28,8–42,1 т/га ('Тернопільська'). Це суттєво менше, ніж у другому циклі, продуктивність упродовж якого варіювала в межах 48,5–65,3 т/га ('Tora') та 31,8–56,8 т/га ('Тернопільська'), але більше, порівнюючи з першим, коли показники залежно від густоти садіння та схеми дослідів були на рівні 25,1–34,7 т/га ('Tora') та 16,0–27,9 т/га ('Тернопільська').

2. Кількість пагонів на одиницю площі енергетичних плантацій верби третього циклу істотно залежала від схеми садіння. Зокрема, в

насадженнях сорту 'Tora' вона становила 121,2–178,1 тис. шт./га за схеми $0,75 \times 1,50 \times 0,75$ м та 63,1–134,8 тис. шт./га – за $0,75 \times 2,50 \times 0,75$ м. У верби 'Тернопільська' ці показники змінювалися в межах 59,6–91,4 тис. шт./га та 55,8–149,8 тис. шт./га відповідно, що вказує на доцільність використання першого варіанту. Кількість пагонів зростала, як порівняти з контролем, завдяки внесенню добрив – на 24,7% у 'Tora' та на 45,4% в 'Тернопільській'. Схеми садіння не мали суттєвого впливу на середню висоту пагонів. Водночас їхній усереднений діаметр був найбільшим (25,80 мм) у сорту 'Tora' за густоти насаджень 15 тис. шт./га, а найменшим (13,97 мм) – у 'Тернопільській' за максимальної густоти та схеми садіння $0,75 \times 2,50 \times 0,75$ м. Урожайність у контрольних варіантах становила 36,8–48,2 т/га ('Tora') та 28,8–42,1 т/га ('Тернопільська'). За внесення 100 кг/га аміакової селітри (N₃₅) вона зростала до 38,2–50,2 т/га ('Tora') та 30,5–45,3 т/га ('Тернопільська'), а за норми N₇₀ – до 42,6–54,3 т/га ('Tora') та 33,6–47,4 т/га ('Тернопільська'). Отже, рослини сорту 'Tora' переважали 'Тернопільську' як за біометричними показниками, так і за продуктивністю біомаси.

3. Оптимальними елементами технології для сорту 'Tora' протягом третього трирічного циклу вирощування енергетичної біомаси були такі: схема садіння з відстанню між кулісами 1,5 м, густота садіння живців, що становила 15 тис. шт./га, і внесення у ґрунт перед початком циклу 200 кг/га (N₇₀) аміакової селітри. Це забезпечило врожайність на рівні 54,3 т/га. Максимальні показники продуктивності плантацій сорту 'Тернопільська' (49,3 т/га) зафіксовано за тих самих елементів технології вирощування, але за густоти садіння 12 тис. шт./га.

References

1. On Energy Efficiency: Law of Ukraine of October 21, 2021 No. 1818-IX. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1818-20#Text> [In Ukrainian]
2. Sinchenko, V. M. (Ed.). (2023). *Energy willow: technology of cultivation and use*. TVORY. [In Ukrainian]
3. Humentyk, M. Ya. (Ed.). (2024). *Technology of growing bioenergy crops*. Kompynt. [In Ukrainian]
4. Hordienko, M. I., Fuchylo, Ya. D., & Goychuk, A. F. (2002). *Shrub willows of the plain part of Ukraine*. IAE UAAN. [In Ukrainian]
5. Fuchylo, Ya. D., Zelinskyi, B. V., Ivaniuk, I. D., & Zelinska, L. H. (2023). *Growing energy willow plantations on marginal lands of Kyiv Polissia*. NOVOhrad. [In Ukrainian]
6. Matyka, M., & Radzikowski, P. (2020). Productivity and biometric characteristics of 11 varieties of willow cultivated on marginal soil. *Agriculture*, 10(12), Article 616. <https://doi.org/10.3390/agriculture10120616>
7. Shevchuk, R. V., Rovna, H. F., Fuchylo, Y. D., & Zelinsky, B. V. (2021). Formation of productivity of willow energy plantations at different levels of soil fertility under conditions of Western Polissia. *Scientific Papers of the Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet*, 27, 123–130. <https://doi.org/10.47414/np.27.2019.211177> [In Ukrainian]
8. Lys, N. M., Tkachuk, N. L., & Ivanyuk, R. S. (2018). Research of influence of growing technology elements on biometrical indexes of energywillow in the western region. *Podilian Bulletin: Agriculture, Engineering, Economics*, 29, 33–39. [In Ukrainian]
9. Gnap, I. V. (2019). *Introduction of energy willow varieties and improvement of their cultivation technology in Western Polissia* (Candidate dissertation, Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet of the NAAS of Ukraine). uacademic.info. <https://uacademic.info/ua/document/0419U003652>
10. Vokalchuk, B. M. (2021). *Productivity of energy plantations of willow during the second cycle of cultivation* (Doctoral dissertation, Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet of the NAAS of Ukraine). uacademic.info. <https://uacademic.info/en/document/0822U100133>
11. Rewald, B., Kunze, M. E., & Godbold, D. L. (2016). NH_4^+ : NO_3^- nutrition influence on biomass productivity and root respiration of poplar and willow clones. *GCB Bioenergy*, 8(1), 51–58. <https://doi.org/10.1111/gcbb.12224>
12. Dimitriou, I., & Aronsson, P. (2011). Wastewater and sewage sludge application to willows and poplars grown in lysimeters – Plant response and treatment efficiency. *Biomass and Bioenergy*, 35(1), 161–170. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2010.08.019>
13. Jerbi, A., Kalwahali-Muissa, M., Krygier, R., Johnston, C., Blank, M., Sarrazin, M., Barnabé, S., Laur, J., Labrecque, M., Brereton, N. J. B., & Pitre, F. E. (2023). Comparative wood anatomy, composition and saccharification yields of wastewater irrigated willow cultivars at three plantations in Canada and Northern Ireland. *Biomass and Bioenergy*, 170, Article 106683. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2022.106683>
14. Mohsin, M., Kaipainen, E., Salam, M. M. A., Evstishenkov, N., Nawrot, N., Villa, A., Wojciechowska, E., Kuittinen, S., & Pappinen, A. (2021). Biomass Production and Removal of Nitrogen and Phosphorus from Processed Municipal Wastewater by *Salix schwerinii*: A Field Trial. *Water*, 13(16), Article 2298. <https://doi.org/10.3390/w13162298>
15. Prouzova, N., Kubatova, P., Mercl, F., Szakova, J., Najmanova, J., & Tlustos, P. (2024). Biomass yield and metal phytoextraction efficiency of *Salix* and *Populus* clones harvested at different rotation lengths in the field experiment. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, 11, Article 78. <https://doi.org/10.1186/s40538-024-00600-1>
16. Sticha, V., Nuhlicek, O., Bubenik, J., Weger, J., Macků, J., Vanicka, H., & Bažant, V. (2021). Evapotranspiration-tool for seasoning wood of hybrid poplar (*Populus maximowiczii* A. Henry $\times$ *Populus nigra* L. 'Max 4-5') and *Salix* $\times$ *smithiana* Willd. (*Salix caprea* L. and *S. viminalis* L.). *Industrial Crops and Products*, 162, Article 113265. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.113265>
17. Borz, A., Papandrea, S., Zoli, M., Bacenetti, J., & Proto, A. R. (2025). Willow short rotation coppice. Energy and environmental assessment. *Cleaner Environmental Systems*, 16, Article 100249. <https://doi.org/10.1016/j.cesys.2024.100249>
18. Mulyana, B., Vityi, A. & Polgár, A. (2025). Life cycle assessment of bioenergy production from short-rotation coppice plantation in Hungary. *Journal of Forest Science*, 71(5), 237–249. <https://doi.org/10.17221/10/2025-JFS>
19. Santucci, S., Eisenbies, M., & Volk, T. (2024). Yield and survival of 19 cultivars of willow (*Salix* spp.) biomass crops over eight rotations. *Forests*, 15(11), Article 2041. <https://doi.org/10.3390/f15112041>
20. Caslin, B., Finnan, J., & McCracken, A. (Eds). (2012). *Willow Varietal Identification Guide*. Teagasc. https://teagasc.ie/wp-content/uploads/media/website/publications/2012/Willow_Identification_Guide_2012.pdf
21. Sinchenko, V. M. (Ed.). (2018). *Methodology of research of energy plantations of willows and poplars*. Kompynt. [In Ukrainian]
22. Sinchenko, V. M., Fuchylo, Ya. D., & Melnychuk, H. A. (2018). Physiological bases of biomass accumulation of willow energy under the conditions of the Central Forest-Steppe. *Advanced Agritechnologies*, 6. <https://doi.org/10.21498/na.6.2018.165308> [In Ukrainian]
23. Fuchylo, Ya. D., Sinchenko, V. M., Vokalchuk, B. M., & Ivaniuk, I. D. (2022). *Productivity of energy plantations of willow during the second three-year growing cycle*. NOVOhrad. [In Ukrainian]

UDC 662.631:620.952

Zelinska, L. H.^{1,2}, & Fuchylo, Ya. D.^{2*} (2025). Productivity of some varieties of basket willow during the third three-year growing cycle. *Plant Varieties Studying and Protection*, 21(3), 145–153. <https://doi.org/10.21498/2518-1017.21.3.2025.339317>

¹Bila Tserkva National Agrarian University, Soborna Square, 8/1, Bila Tserkva, Kyiv region, 09117, Ukraine,

²Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet, NAAS of Ukraine, 25 Klinichna St., Kyiv, 03110, Ukraine, *e-mail: fuchylo_yar@ukr.net

Purpose. To establish biometric indicators of the productivity of energy plantations of basket willow biomass after the third three-year cultivation cycle on leached chernozems in the Right-Bank Forest-Steppe, under different planting schemes and nitrogen fertiliser application rates. **Methods.** In the spring of 2015, plantings of the 'Tora' and 'Ternopil'ska' varieties were established in two rows on the experimental field of the Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet of the NAAS (IBCSB). The planting density of cuttings was 12,

15 or 18 thousand per hectare (ha), with a row-to-row distance of 0.75 m and a row-to-row distance of 1.50–2.50 m. Ammonium nitrate (34.5% nitrogen) was applied at rates of 100 or 200 kg per ha in spring, before the start of the second and third three-year cycles. Fertilisers were not used on part of the area (control variant). The third growing cycle lasted from March 2022 to November 2024. The number of shoots, their average height and diameter, and the yield of three-year energy biomass were determined. **Results.** During the

first three-year growing cycle (2015–2017) without the use of fertilisers, yields ranged from 25.1 to 34.7 t/ha for 'Tora' and from 16.0 to 27.9 t/ha for 'Ternopilska'. During the second cycle, these figures increased to 65.3 t/ha ('Tora') and 55.6 t/ha ('Ternopilska'). Applying 100 or 200 kg/ha of ammonium nitrate increased yields to 68.1 or 74.1 t/ha ('Tora') and 59.3 or 64.9 t/ha ('Ternopilska') respectively. Studies conducted during the third growing cycle revealed a significant impact of the planting scheme on the density of energy plantations. With a row spacing of 1.50 m, the number of 'Tora' shoots was 121.2–178.1 thousand/ha; with a row spacing of 2.50 m, it was 63.1–134.8 thousand/ha. For the 'Ternopil' willow, these figures were 59.6–191.4 thousand shoots/ha and 55.8–149.8 thousand shoots/ha, respectively. The same dependence was observed in terms of yield. For the 'Tora' variety, the yield was 43.1–54.3 t/ha at a row spacing of 1.50 m, and 36.8–50.8 t/ha at 2.50 m. For the 'Ternopilska' variety, the yield was 37.5–49.3 t/ha and 28.8–39.2 t/ha respectively. The lowest yields were observed for

'Tora' (36.8–48.2 t/ha) and 'Ternopilska' (28.8–42.1 t/ha) in the variant without the use of fertilisers. These increased to 38.2–50.2 t/ha ('Tora') and 30.5–45.3 t/ha ('Ternopilska') when 100 kg/ha of ammonium nitrate (N_{35}) was applied to the soil. Doubling the rate to N_{70} contributed to an increase in dry biomass yield to 42.6–54.3 t/ha for 'Tora' and 33.6–47.4 t/ha for 'Ternopilska'. **Conclusions.** The highest biometric indicators of plants and energy biomass productivity (54.3 t/ha) during the third three-year cycle were observed in the 'Tora' variety at a distance of 1.5 m between rows, a planting density of 15,000 cuttings/ha, and the application of 200 kg/ha of ammonium nitrate (N_{35}). The maximum productivity of 'Ternopilska' willow plantations (49.3 t/ha) was recorded using the same cultivation technology and planting density of 12,000 cuttings/ha. In general, the analyzed indicators after the third cycle were lower than those after the second cycle.

Keywords: *bioenergy; plantation; willow; variety; biomass; cultivation technologies; yield.*

Надійшла / Received 30.06.2025

Погоджено до друку / Accepted 26.08.2025

Особливості морфогенезу лаванди та лавандину, вирощених на безгормональному середовищі в умовах культури *in vitro*

Т. В. Медведєва*, Т. А. Натальчук, О. І. Рудник-Іващенко

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

Мета. Визначити біометричні показники сортів лаванди (*Lavandula angustifolia* Mill.) та лавандину (*Lavandula × intermedia* Emeric ex Loisel.), вирощених в умовах культури *in vitro*, залежно від трьох типів експлантів на живильному середовищі, що не містить регуляторів росту. **Методи.** У роботі застосовано метод клонального мікророзмноження із використанням верхівок мікропагонів та сегментів стебла з одним і двома міжвузлями. Сорти лаванди ('Hidcote Blue' та 'Мрія') й лавандину ('Platinum Nico' та 'Edelweiss') культивували на безгормональному середовищі Мурасіге – Скуга за температури 23 ± 2 °C, з фотоперіодом 16/8 та інтенсивністю освітлення 3000 лк. Коефіцієнт розмноження, регенераційний потенціал, кількість міжвузлів і висоту мікропагонів обчислювали через місяць вирощування. Математичну обробку отриманих даних проводили за допомогою дисперсійно-кореляційного аналізу, використовуючи комп'ютерні програми ANOVA та MS Excel. **Результати.** Найбільший коефіцієнт розмноження – 1,3–1,5 пагона на експлант для *L. angustifolia* та 1,9–2,0 для *Lavandula × intermedia* – встановлено в рослин, що регенерували на сегментах стебла з двома міжвузлями. Максимальну висоту мікропагонів відмічено за розвитку лаванди й лавандину з верхіткових експлантів, у яких на середовищі без цитокінінів зберігалося апікальне домінування. У сортів *L. angustifolia* цей показник був майже однаковим і становив 3,1–3,2 см (така довжина зумовлена, зокрема, вкороченими, порівнюючи з лавандином, міжвузлями), тоді як у *Lavandula × intermedia* значно відрізнявся через генетичні особливості сорту й тип експлантів – 3,5 см ('Platinum Nico') проти 10,6 см ('Edelweiss', максимальне значення). На верхіткових експлантах утворилося найбільше міжвузлів. У сортів лаванди істотних відмінностей за їхньою кількістю не виявлено – 2,4–2,6 шт., а от у лавандину різниця була суттєвою – 2,6 шт. ('Platinum Nico') і 3,8 шт. ('Edelweiss'). Максимальний показник – 4,4 шт. – зафіксовано в культурі 'Edelweiss' на стеблових сегментах із двома міжвузлями. Регенераційний потенціал на верхіткових експлантах для всіх досліджуваних сортів становив 100%, а на одновузлових і двовузлових – досягав відповідно 60 та 70% у лаванди 'Hidcote Blue' й 80 та 90% у лавандину 'Edelweiss'. **Висновки.** Продemonстровано можливість розмноження досліджуваних сортів на живильному середовищі, що не містить регуляторів росту. Біометричні показники за таких умов культивування дещо нижчі або збігаються з отриманими на гормональних середовищах. Аналізовані параметри істотно залежали від типу вихідних експлантів та сортових особливостей лаванди й лавандину.

Ключові слова: *Lavandula angustifolia* Mill.; *Lavandula × intermedia* Emeric ex Loisel.; експлант; *in vitro*; культивування.

Вступ

Рід *Lavandula* родини *Lamiaceae* налічує 39 видів. Серед них найчастіше розмножують лаванду вузьколисту (*L. angustifolia*), також відому як справжня або англійська лаванда. Станом на 2025 рік у Державному реєстрі сортів рослин, придатних для поширення в Україні [1], зареєстровано п'ять її сортів, а також три – лавандину (*Lavandula × intermedia* Emeric ex Loisel.), чи данської лаванди, – стерильного гібрида між *L. angustifolia* та *L. latifolia* [2].

Tamara Medvedieva
<https://orcid.org/0000-0002-1916-7834>

Tetiana Natalchuk
<https://orcid.org/0000-0003-0570-3488>

Olga Rudnyk-Ivashchenko
<https://orcid.org/0000-0003-2724-9482>

Лаванда – відома лікарська, медоносна, декоративна й ароматична рослина. Найчастіше її та лавандин культивують як джерела ефірних олій, потреба в яких постійно зростає. *L. angustifolia* найбільше цінують за їхню високу якість, а *Lavandula × intermedia* – за значний уміст [3, 4]. Як стверджує О. Марковська зі співавторами [5], основними виробниками лавандової олії є Болгарія, Англія, Франція, Австралія, США, Канада, Південна Африка, Танзанія, Італія та Іспанія.

Більшість видів лаванди розмножуються насінням. Утім воно потребує додаткових заходів для виходу зі стану спокою, має повільні темпи гермінації, тоді як рослини значно відрізняються за швидкістю росту та складом ефірних олій [6, 7]. Для збереження генетичної однорідності бажано проводити вегетативне розмноження, особливо лавандину, який є



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

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

стерильним гібридом і не утворює насіння [8]. Лаванда також легко регенерує з вегетативних частин – здебільшого стеблових живців, що забезпечують збереження біологічних і господарських ознак сортів.

Альтернативою може бути мікроклональне розмноження, яке відіграє ключову роль за масового відтворення та поліпшення рослин лаванди. Ця техніка передбачає культивування й розвиток клітин, тканин та органів у контрольованих умовах на штучних живильних середовищах. Через широке використання ефірних олій *L. angustifolia* та *Lavandula × intermedia* виникла потреба в одержанні якісного генетично однорідного садивного матеріалу. Основною проблемою для нормального росту та розвитку регенерантів є визначення вихідних експлантів та живильного середовища. Його склад зумовлює швидкість росту тканин, їхню морфологію та фітохімію, а тому є найважливішим у процесі мікроклонування лаванди й лавандину [9]. Оптимальним для їхнього культивування, згідно з літературними даними, є живильне середовище Мурасіге – Скуга (МС) з додаванням 0,5–1,0 мг/л бензиламінопурина (БАП) [10, 11]. Наявні роботи з мікроклонування *Lavandula × intermedia* у спосіб прямого чи непрямого органогенезу [12, 13].

Проліферація мікропагонів лаванди збільшується в ініціальній субкультурі, але сповільнюється, якщо вирощування тривале, особливо на живильних середовищах із цитокінінами [14]. За таких умов спостерігають тенденцію до вітрифікації [6], що спричиняє незворотні фізіологічні зміни та впливає на ефективність розмноження.

Цитокініни можуть негативно позначатися на якості та кількості отриманих регенерантів. Так, ліпші результати в дослідженні [15] одержано за розмноження ямсу ‘Dente’ та ‘Pona’ *in vitro* на безгормональному середовищі МС (як порівняти з оптимізованим). Натомість додавання до нього різних концентрацій БАП шкодило росту вказаних сортів [15]. За вирощування картоплі сорту ‘Cardinal’ спостерігали регенерацію пагонів як з їхніх верхівок, так і з вузлових експлантів. Максимальну кількість пагонів на культуру (17), а також найбільшу середню довжину (5 см) зафіксовано на середовищі МС без регуляторів росту [16].

Прямий органогенез з експлантів, що містять вже наявні меристеми (зокрема з верхівок пагонів і відрізків стебла з пазушними бруньками) мінімізує ризики генетичних змін протягом тривалого розмноження *in vitro*, забезпечує генетичну однорідність кло-

нованих рослин і стандартний склад ефірних олій [17]. Більшість наукових праць з мікроклонування лаванди й лавандину описують гормональну регуляцію морфогенезу апікальних меристем *in vitro* та свідчать про видову й сортову специфічність морфогенетичних реакцій ізольованих меристем *L. angustifolia* [18]. Отже, її мікророзмноження не відбувається за універсальним протоколом, тому оптимізація потрібна не лише для кожного сорту, але й для кожного культивуру окремо [10].

Згідно з літературними даними, причиною змін спадкового матеріалу (метилування ДНК, хромосомних перебудов, точкових мутацій і накопичення соматичних) є сильний стрес, якого рослини зазнають за культивування на штучних живильних середовищах [19]. Їхній склад, концентрація регуляторів росту і тривалість вирощування можуть зумовити соматональні варіації [20]. Тому для збереження генетичної стабільності сортів лаванди й лавандину за довгочасного культивування в умовах *in vitro* в нашій роботі було досліджено параметри росту й розвитку на живильному середовищі без регуляторів росту.

Мета досліджень – визначити біометричні показники сортів лаванди та лавандину, вирощених в умовах культури *in vitro*, залежно від трьох типів експлантів (верхівок мікропагонів, стеблових експлантів з одним та двома міжвузлями) на живильному середовищі, що не містить регуляторів росту.

Матеріали та методика досліджень

Дослідження проводили у відділі вірусології, оздоровлення та розмноження плодів і ягідних культур Інституту садівництва Національної академії аграрних наук України (ІС НААН). Матеріалом слугували рослини лаванди вузьколистої (*L. angustifolia*) ‘Hidcote Blue’ та ‘Мрія’ й лавандину (*Lavandula × intermedia*) ‘Platinum Nico’ та ‘Edelweiss’.

‘Мрія’ – середньостиглий, посухо- та зимостійкий сорт лаванди, отриманий в ІС НААН. Автори – О. І. Рудник-Іващенко та Р. І. Кременчук. Урожайність суцвіть становить 7,0 т/га, вміст ефірної олії – до 2,5% від сирової маси. Має високий рівень декоративності за формою куща [21].

Для ініціювання асептичної культури фрагменти стебел розміром 1,0–1,5 см із рослин, які вирощували в горщиках у контрольованих умовах, промивали під проточною водою й обробляли розчином гіпохлориту натрію у розведенні 1:5 протягом 20 хв. Потім на 1 хв занурювали у розчин 70%-го спирту, про-

мивали стерильною дистильованою водою та стерилізували 0,1%-м хлоридом ртуті. Після триразового промивання стерильною водою експланти висаджували на живильне середовище Мурасіге – Скуга [22] з додаванням 0,5 мг/л БАП та 0,1 мг/л індолілмасляної кислоти (ІМК) й вирощували за температури $23 \pm 2^\circ\text{C}$ з фотоперіодом 16/8 та інтенсивністю освітлення 3000 лк.

Одержавши необхідну кількість рослин лаванди й лавандину, аналізували залежність їхніх біометричних показників від типу експлантів за культивування на середовищі МС, що не містить регуляторів росту. Для кожного з варіантів дослідження використовували по 10 експлантів, які вирощували на безгормональному середовищі (повторність триразова). У першому це були верхівки мікропагонів, у другому – стеблові експланти з одним, а в третьому – з двома міжвузлями.

Усі спостереження та обліки виконували, послугуючись загальноприйнятими методами; встановлювали біометричні показники росту та розвитку залежно від варіантів – коефіцієнт розмноження, що визначають як відношення повної кількості новоутворених пагонів до загальної чисельності висаджених для культивування, кількість новоутворених міжвузлів, регенераційний потенціал і висоту мікропагонів.

Математичну обробку отриманих даних проводили за допомогою дисперсійно-кореляційного аналізу, використовуючи комп'ютерні програми ANOVA та MS Excel.

Результати дослідження

За результатами проведених досліджень виявлено залежність показників росту та розвитку лаванди й лавандину як від вихідних типів експлантів, так і від генетичних особливостей сорту (табл. 1).

Таблиця 1

Вплив типу вихідного експланта на показники росту й розвитку рослин лаванди й лавандину в культурі *in vitro*

Біометричні показники	Експлант	Лаванда		Лавандин	
		'Hidcote Blue'	'Mpiя'	'Edelweiss'	'Platinum Nico'
Коефіцієнт розмноження, шт.	Верхівка пагона	$1,0 \pm 0,00$	$1,0 \pm 0,00$	$1,4 \pm 0,26$	$1,2 \pm 0,13$
	1 міжвузля	$1,1 \pm 0,15$	$1,2 \pm 0,13$	$1,5 \pm 0,18$	$1,4 \pm 0,13$
	2 міжвузля	$1,3 \pm 0,21$	$1,5 \pm 0,17$	$1,9 \pm 0,33$	$2,0 \pm 0,00$
Кількість міжвузлів на мікропагонах, шт.	Верхівка пагона	$2,6 \pm 0,39$	$2,4 \pm 0,22$	$3,8 \pm 0,31$	$2,6 \pm 0,33$
	1 міжвузля	$2,4 \pm 0,31$	$1,3 \pm 0,15$	$3,9 \pm 0,73$	$2,6 \pm 0,24$
	2 міжвузля	$1,8 \pm 0,40$	$1,7 \pm 0,15$	$4,4 \pm 0,96$	$2,2 \pm 0,26$
Висота рослин, см	Верхівка пагона	$3,2 \pm 0,44$	$3,1 \pm 0,30$	$10,6 \pm 0,67$	$3,5 \pm 0,33$
	1 міжвузля	$2,5 \pm 0,20$	$1,3 \pm 0,15$	$8,4 \pm 0,70$	$3,1 \pm 0,13$
	2 міжвузля	$2,1 \pm 0,39$	$1,9 \pm 0,31$	$8,6 \pm 0,75$	$2,1 \pm 0,25$
Регенераційний потенціал, %	Верхівка пагона	100	100	100	100
	1 міжвузля	60	100	80	100
	2 міжвузля	70	100	90	100

Максимальний, хоча й невисокий, коефіцієнт розмноження – 1,3–1,5 пагона на експлант для *L. angustifolia* та 1,9–2,0 для *Lavandula* $\times$ *intermedia* – спостерігали в рослин, що регенерували на сегментах стебла із двома міжвузлями. Відмінності між сортами за цим показником можна пояснити їхніми генетичними особливостями. Лаванда вузьколиста мала низький коефіцієнт розмноження – 3,06 – навіть якщо її вирощували на середовищі з додаванням БАП [6]. Також вказана культура, порівнюючи з лавандином, характеризувалася вкороченими міжвузлями, що позначилося на висоті регенованих мікропагонів. У цьому дослідженні вона досягала 3,1–3,2 см. Для інших сортів *L. angustifolia* [10] найбільші її значення становили 2,8 см ('Krajová') та 3,8 см ('Budrovka') і були зафіксовані на середовищі МС без регуляторів росту. Максимальну висоту мікропагонів відмічено за розвитку лаванди й лавандину з

верхівкових експлантів, у яких на середовищі без цитокінінів зберігалося апікальне домінування. В обох сортів *L. angustifolia* цей показник був майже однаковим і становив 3,1–3,2 см, тоді як у *Lavandula* $\times$ *intermedia* значно відрізнявся через взаємозв'язок генетичних особливостей сорту та типу експлантів – 3,5 см ('Platinum Nico') проти 10,6 см ('Edelweiss'). Ці дані не суперечать одержаним у публікації [12], автори якої також стверджують, що найвищі мікропагони формуються на верхівкових експлантах. У тому самому варіанті дослідження утворилося найбільше міжвузлів. До того ж, як і в попередньому випадку, істотних відмінностей між сортами лаванди за їхньою кількістю не виявлено – 2,4–2,6 шт., а от у лавандину різниця була суттєвою – 2,6 шт. ('Platinum Nico') і 3,8 шт. ('Edelweiss'). Максимальний показник – 4,4 шт. – відмічено в 'Edelweiss' на стеблових сегментах із двома міжвузлями (рисунок).



Рис. Розвиток рослин лаванди та лавандину з різних експлантів на середовищі без регуляторів росту:

A – 'Platinum Nico', Б – 'Hidcote Blue', В – 'Edelweiss', Г – 'Мрія'.

В 1 – верхівка пагона; В 2 – стебловий сегмент з одним міжвузлям; В 3 – стебловий сегмент із двома міжвузлями

Регенераційний потенціал на рівні 100% спостерігали в усіх сортів, які розвивалися з верхівкових експлантів, а також у деяких – 'Мрія' та 'Platinum Nico', що регенерували на сегментах стебла з одним та двома міжвузлями. Рослини лаванди 'Hidcote Blue' досягли показника 60% на одновузлових експлантах і 70% – на двовузлових; значення для лавандину 'Edelweiss' дорівнювали 80 та 90% відповідно. Одержані результати не суперечать даним інших досліджень, у яких регенераційний потенціал лаванди вузьколистої 'Silver' становив 66,9% на стеблових сегментах [12].

За результатами кореляційного аналізу високий зв'язок коефіцієнта розмноження з кількістю міжвузлів ($r = 0,862$) та висотою рослин, регенованих зі стеблових експлантів з одним міжвузлям ($r = 0,784$), виявлено в лавандину 'Platinum Nico'; з кількістю міжвузлів у рослин, що розвивалися на стеблових експлантах з одним міжвузлям ($r = 0,710$), та з висотою рослин ($r = 0,915$), регенованих на двовузлових експлантах, – у лаванди 'Hidcote Blue'; із кількістю міжвузлів у рослин, одержаних як з експлантів з одним міжвузлям ($r = 0,887$ і $0,764$), так і з двома ($r = 0,982$ і $0,655$), – у лавандину 'Edelweiss' та лаванди 'Мрія'.

Висновки

Показано ефективність розмноження окремих сортів лаванди й лавандину на живильному середовищі, що не містить регуляторів росту. Найвищі мікропагони (3,1–3,2 см у лаванди та 3,5–10,6 см у лавандину), максимальну кількість міжвузлів (2,4 шт. у лаванди 'Мрія' та по 2,6 шт. у лаванди 'Hidcote Blue' й лавандину 'Platinum Nico') та 100%-й регенераційний потенціал відмічено на верхівкових експлантах. Найбільший коефіцієнт розмноження встановлено в рослин, що регене-

рували на сегментах стебла із двома міжвузлями – 1,3–1,5 для лаванди та 1,9–2,0 для лавандину. Виявлено високі кореляційні зв'язки між ростовими параметрами, типами експлантів та сортовими особливостями *L. angustifolia* та *Lavandula × intermedia*. Опрацьовану в роботі методику запропоновано для мінімізування ризиків генетичних змін протягом тривалого вирощування досліджених сортів у культурі *in vitro*.

References

1. State register of plant varieties suitable for propagation in Ukraine 2025 (the register is valid as of July 16, 2025). <https://minagro.gov.ua/file-storage/rejestr-sortiv-roslin> [In Ukrainian]
2. Wells, R., Truong, F., Adal, M., Sarker, L. S., & Mahmoud, S. S. (2018). Lavandula essential oils: current review of applications in medicinal, food, and cosmetic industries of lavender. *Natural Product Communications*, 13(10), 1403–1417. <https://doi.org/10.1177/1934578x1801301038>
3. Crișan, I., Ona, A., Vârban, D., Muntean, L., Vârban, R., Stoie, A., Mihăiescu, T., & Morea, A. (2023). Current trends for lavender (*Lavandula angustifolia* Mill.) crops and products with emphasis on essential oil quality. *Plants*, 12(2), Article 357. <https://doi.org/10.3390/plants12020357>
4. Pokajewicz, K., Białoń, M., Svydenko, L., Hudz, N., Balwicz, R., Marciniak, D., & Wiczorek, P. (2022). Comparative Evaluation of the Essential Oil of the New Ukrainian *Lavandula angustifolia* and *Lavandula × intermedia* Cultivars Grown on the Same Plots. *Molecules*, 27(7), Article 2152. <https://doi.org/10.3390/molecules27072152>
5. Svidenko, L., & Stetsenko, I. (2020). Comparative assessment of morphometric features and agronomic characteristics of *Lavandula angustifolia* mill. and *Lavandula hybrida* rev. *Scientific Horizons*, 87(2), 24–31. <https://doi.org/10.33249/2663-2144-2020-87-02-24-31> [In Ukrainian]
6. Koefender, J., Manfio, C. E., Camera, J. N., Schoffel, A., & Golle, D. P. (2021). Micropropagation of lavender: a protocol for production of plantlets. *Horticultura Brasileira*, 39(4), 404–410. <https://doi.org/10.1590/s0102-0536-20210409>
7. Rodrigues, D. B., Radke, A. K., Sommer, L. R., Rosa, D. S. B., Schuch, M. W., & Assis, A. M. (2020). Quality of light and indolbutyric acid *in vitro* rooting of lavender. *Ornamental Horticulture*, 26(1), 89–94. <https://doi.org/10.1590/2447-536x.v26i1.2112>
8. Kara, N., & Baydar, H. (2020). The floral and scent characteristics of Lavandin from the micropropagation and cutting propagation. *Field Crops*, 25(2), 114–121. <https://doi.org/10.17557/tjfc.831884>

9. Miclea, I., Suhani, A., Zahan, M., & Bunea, A. (2020). Effect of jasmonic acid and salicylic acid on growth and biochemical composition of *in vitro* – propagated *Lavandula angustifolia* Mill. *Agronomy*, 10(11), Article 1722. <https://doi.org/10.3390/agronomy10111722>
10. Gubišová, M., & Čičová, I. (2023). Multiplication of Lavender (*L. angustifolia*) and Lavandin (*Lavandula × intermedia*) in explant culture. *Agriculture (Pol'nohospodarstvo)*, 69(1), 1–12. <https://doi.org/10.2478/agri-2023-0001>
11. Gonçalves, S., & Romano, A. (2013). *In vitro* culture of lavers (Lavandula spp.) and the production of secondary metabolites. *Biotechnology Advances*, 31(2), 166–174. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2012.09.006>
12. Kara, N., & Baydar, H. (2012). Effect of different explant sources on micropropagation in lavender (*Lavandula* spp.). *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, 15(2), 250–255. <https://doi.org/10.1080/0972060X.2012.10644043>
13. Erland, L. A. E., & Mahmoud, S. S. (2014). An efficient method for regeneration of lavandin (*Lavandula × intermedia* var. Crosso). *In vitro Cellular and Developmental Biology Plant*, 50(5), 646–654. <https://doi.org/10.1007/s11627-014-9614-4>
14. Egorova, K. S., & Ananikov, V. P. (2018). Fundamental importance of ionic interactions in the liquid phase: A review of recent studies of ionic liquids in biomedical and pharmaceutical applications. *Journal of Molecular Liquids*, 272, 271–300. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2018.09.025>
15. Amankwaah, V., Ntorinkansah, N., & Osei, G. (2025). Evaluation of media protocols for *in vitro* propagation of an improved variety and two landraces of *Dioscorea rotundata*. *In vitro Cellular and Developmental Biology Plant*, 61(3), 646–657. <https://doi.org/10.1007/s11627-024-10504-2>
16. Shahriyar, S., Akram, S., Khan, K., Faruk, M., & Sarkar, M. (2015). *In vitro* plant regeneration of potato (*Solanum tuberosum* L.) at the rate of different hormonal concentration. *Asian Journal of Medical and Biological Research*, 1(2), 297–303. <https://doi.org/10.3329/ajmbr.v1i2.25625>
17. Gonçalves, S., & Romano, A. (2013). *In vitro* culture of a lavender (*Lavandula* spp.) and the production of secondary metabolites. *Biotechnology Advances*, 31(2), 166–174. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2012.09.006>
18. Ehorova, N. A. (2002). Micropropagation of lavender *in vitro*. *Bulletin of Kharkiv National Agrarian University. Series: Biology*, 9(1), 65–71. [In Ukrainian]
19. Mohapatra, P., Ray, A., Sandeep, I. S., Parida, R., & Mohanty, S. (2021). Genetic and biochemical stability of *in vitro* raised and conventionally propagated *Centella asiatica* – A valuable medicinal herb. *South African Journal of Botany*, 140, 444–453. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2021.01.004>
20. Kour, B., Kour, G., Kaul, S., & Dhar, M. K. (2014). *In vitro* mass multiplication and assessment of genetic stability of *in vitro* raised *Artemisia absinthium* L. plants using ISSR and SSAP molecular markers. *Advances in Botany*, 2014, 1–7. <https://doi.org/10.1155/2014/727020>
21. Rudnyk-Ivashchenko, O. I., & Kremenichuk, R. I. (2019). Methods of creating new *Lavandula angustifolia* cultivars. *Horticulture*, 74, 65–72. <https://doi.org/10.35205/0558-1125-2019-74-65-72> [In Ukrainian]
22. Murashige, T., & Skoog, F. (1962). A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue cultures. *Physiologia Plantarum*, 15, 473–497. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1962.tb08052.x>

UDC 633.812.754:581.143.6

Medvedieva, T. V.*, Natalchuk, T. A., & Rudnyk-Ivashchenko, O. I. (2025). Peculiarities of morphogenesis in lavender and lavandin grown on hormone-free medium under *in vitro* culture conditions. *Plant Varieties Studying and Protection*, 21(3), 154–158. <https://doi.org/10.21498/2518-1017.21.3.2025.339318>

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

Purpose. To determine the biometric parameters of lavender (*Lavandula angustifolia* Mill.) and lavandin (*Lavandula × intermedia* Emeric ex Loisel.) varieties grown *in vitro* using three types of explant on a nutrient medium without growth regulators. **Methods.** The study employed clonal micropropagation using micro-shoot tips and stem segments containing one or two internodes. Lavender ('Hidcote Blue' and 'Mriia') and lavandin ('Platinum Nico' and 'Edelweiss') varieties were cultivated on a hormone-free Murashige-Skoog medium at a temperature of 23 ± 2 °C, with a photoperiod of 16/8 hours and a light intensity of 3000 lux. After one month of cultivation, the propagation coefficient, regeneration potential, number of internodes and height of micro-shoots were calculated. Dispersion-correlation analysis was performed on the obtained data using the computer programs ANOVA and MS Excel. **Results.** The highest reproduction coefficient was found in plants regenerated on stem segments with two internodes: 1.3–1.5 shoots per explant for *L. angustifolia* and 1.9–2.0 for *Lavandula × intermedia*. The maximum height of micro-shoots was observed in lavender and lavandin development from apical explants in a medium without cytokinins, in which apical dominance was maintained. For *L. angustifolia* varieties, this indicator was similar at 3.1–3.2 cm (due in part to shorter internodes

compared to lavandin). However, for *Lavandula × intermedia*, it varied significantly due to genetic characteristics and explant type: 3.5 cm for 'Platinum Nico' versus 10.6 cm for 'Edelweiss' (the maximum value). The largest number of internodes formed on the apical explants. There were no significant differences in the number of internodes found in lavender varieties, ranging from 2.4 to 2.6 pieces. However, in lavandin, the difference was significant, ranging from 2.6 pieces in the 'Platinum Nico' cultivar to 3.8 pieces in the 'Edelweiss' cultivar. The maximum value of 4.4 was recorded in the 'Edelweiss' cultivar on stem segments with two internodes. The regeneration potential of apical explants was 100% for all varieties studied, compared to 60% and 70% for single- and double-node explants, respectively, in lavender 'Hidcote Blue', and 80% and 90% in lavandin 'Edelweiss'. **Conclusions.** The possibility of propagating the studied varieties on a nutrient medium that does not contain growth regulators was demonstrated. Biometric indicators under these cultivation conditions are slightly lower or the same as those obtained on hormonal media. The analysed parameters were found to depend significantly on the type of initial explants and the varietal characteristics of lavender and lavandin.

Keywords: *Lavandula angustifolia* Mill.; *Lavandula × intermedia* Emeric ex Loisel.; explants; *in vitro*; cultivation.

Надійшла / Received 25.07.2025
Погоджено до друку / Accepted 27.08.2025

Особливості формування показників вмісту білка та клейковини пшениці м'якої озимої залежно від попередника

І. В. Правдзіва^{1*}, Н. В. Василенко¹, Т. М. Шадчина¹, Т. В. Шевченко²

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

²Національна академія аграрних наук України, вул. Михайла Омеляновича-Павленка, 9, м. Київ, 01010, Україна

Мета. Виявити особливості формування вмісту білка та клейковини в сортів і селекційних ліній пшениці м'якої озимої залежно від різних попередників в умовах центральної частини Лісостепу України. Виділити генотипи з підвищеними показниками якості зерна. **Методи.** Досліджували вплив п'яти попередників [сої, соняшнику, кукурудзи, гірчиці, сидерального пару (гірчиці)] на формування вмісту білка (PC) та клейковини (WGC) в борошні 18 генотипів пшениці м'якої озимої впродовж 2021/22–2023/24 рр. Використовували польові, лабораторні та статистичні методи. **Результати.** У середньому за роками та генотипами пшениці озимої виявлено достовірно вищі значення PC (12,5%) і WGC (27,6%) після сидерального пару. Однак у сорту 'МІП Довіра' істотно більший уміст білка (13,1%) відмічено після сої, а в селекційних ліній Лютеценс 37548 (13,6%), Лютеценс 60302 (12,7%) та Лютеценс 60400 (12,8%) – після кукурудзи. Достовірно вищий уміст клейковини за такого попередника, як кукурудза, отримано в селекційній лінії Лютеценс 37548 (29,8%), якщо попередником була гірчиця – у Лютеценс 60302 (29,1%). Найменші значення досліджуваних показників якості (PC = 9,7–12,3%, WGC = 13,0–25,8%) впродовж трьох років фіксували після соняшнику й лише в Лютеценс 37548 і Лютеценс 60302 – після сої. Виявлено помірну варіабельність ($6 \leq CV \leq 10\%$) вмісту білка та значну ($11 \leq CV \leq 20\%$) – клейковини для більшості сортів і селекційних ліній пшениці м'якої озимої залежно від попередника. Установлено визначальну роль умов року у формуванні вмісту білка та клейковини – 48,3 та 41,2% відповідно; частка впливу попередника була на рівні 9,9 і 17,2%, генотипу – 4,8 і 5,4% відповідно. Між досліджуваними показниками якості визначено достовірно сильну ($r = 0,83$) пряму залежність. Виокремлено селекційні лінії з максимальним умістом білка – Еритроспермум 60724, Еритроспермум 60793, Еритроспермум 60667, Лютеценс 60293, Лютеценс 60734 та Лютеценс 37548, а також клейковини – Лютеценс 60302. **Висновки.** Виділені генотипи можуть бути використані в селекційному процесі як джерела для підвищення окремих показників якості зерна. З метою отримання більшого вмісту білка та клейковини сорт 'МІП Довіра' варто висівати після такого попередника, як соя, селекційні лінії Лютеценс 37548, Лютеценс 60302 та Лютеценс 60400 – після кукурудзи, інші генотипи пшениці озимої – після сидерального пару.

Ключові слова: *Triticum aestivum* L.; сорти; селекційні лінії; умови року; коефіцієнт варіації; ANOVA.

Вступ

Пшениця (*Triticum aestivum* L.) є наразі найпоширенішою сільськогосподарською культурою світу. Площі під нею становлять 241,58 млн га та поступаються лише кукурудзі [1, 2]. В Україні посіви пшениці займають левову частку – приблизно 25% від усіх орних земель (6819,0 тис. га) [3]. Для понад 35% населення планети *T. aestivum* є основною їжею, що забезпечує від однієї п'ятої до половини

добової норми споживання білка та калорій [4]. Згідно зі статистичними даними Продовольчої та сільськогосподарської організації ООН (the Food and Agriculture Organization of the United Nations), нині у світі проживає понад 8 млрд осіб. До кінця 2100 р. очікується ще більше зростання кількості людей, яка буде становити майже 11 млрд [5]. Тому необхідним є підвищення обсягів виробництва харчових продуктів, передусім зерна пшениці, що характеризується значною поживною цінністю [6]. Зростання валового збору високоякісного зерна – одне з важливих завдань сільськогосподарської науки.

Серед багатьох показників, які визначають харчову цінність зерна *T. aestivum*, одними з найважливіших є вміст клейковини та білка [7]. Кількість останнього варіює в межах 7–22%, проте здебільшого становить 10–15% [8]. Залежно від поведінки у різних

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

Nadiia Vasylenko
<https://orcid.org/0000-0002-4326-6613>

Tamara Shadchyna
<https://orcid.org/0009-0002-1690-7566>

Tamara Shevchenko
<https://orcid.org/0000-0001-9488-0325>



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

розчинах білки пшениці умовно поділяють на чотири групи. А саме: легкорозчинні альбуміни й глобуліни (15–20% від загального вмісту білка), що містяться переважно в зародку й алейроновому шарі, а також клейковинні, чи запасні, гліадини та глютеніни (80–85% від загальної кількості), які беруть участь в утворенні механічної основи тіста [9–11]. Якість пшеничного борошна визначається вмістом у зерні білка та співвідношенням його фракцій [12]. Харчова цінність зерна також залежить від синтезованого рослинним організмом амінокислотного складу білків [13, 14]. Їхній уміст, а також – клейковини, якість білково-клейковинного комплексу зумовлюють напрям використання пшеничного борошна. Тому ці показники відіграють важливу роль у харчовій промисловості.

Накопичення білкових речовин у зерні пшениці залежить від низки чинників, серед яких найважливішими є генотип, ґрунтово-кліматичні умови та елементи технології вирощування [14]. Нині в усьому світі спостерігаються глобальні кліматичні зміни. Вони супроводжуються збільшенням кількості екстремальних гідротермічних явищ [15, 16] і, згідно з Xie W., Yan X. [17] та Aono S. et al. [18], істотно впливають на мінливість показників якості зерна (зокрема, вмісту білка та клейковини), які передусім залежать від умов вирощування, що за допомогою дисперсійного аналізу (ANOVA) встановили Kollstrøm M. O. et al. [19] та Mitura K. et al. [20]. Агротехнічні заходи допомагають зменшити вплив погодних факторів вегетаційного періоду на якість зерна [21] та навіть поліпшити її. Зокрема, завдяки правильному добору культур у сівозміні. Пшениця озима, як порівняти з іншими культурами, є більш вибагливою до попередника. Тому його вдалий, науково обґрунтований вибір забезпечує задовільний фітосанітарний стан посівів, сприяючи оптимальному розвитку рослин у процесі вирощування впродовж вегетації [22], а також, як зазначають Yashchuk N. et al. [23], є одним із вагомих чинників підвищення якості зерна без значних матеріальних затрат.

Аналіз структури сільськогосподарських посівів України за 2019–2021 рр. свідчить, що значну їхню частину займали такі технічні культури, як соняшник (6368,3 тис. га), кукурудза (5286,9 тис. га), соя (1433,3 тис. га) та ріпак (1132,1 тис. га) [3]. Отже, основні площі *T. aestivum* розміщено саме після цих попередників. Зважаючи на ґрунтово-кліматичні умови, економічні й агротех-

нічні заходи, слід ретельніше обирати попередник для пшениці озимої, адже її розміщення в сівозміні – один із факторів збільшення обсягів виробництва якісного зерна [24].

Мета досліджень – виявити особливості формування вмісту білка та клейковини в сортів і селекційних ліній пшениці м'якої озимої залежно від різних попередників в умовах центральної частини Лісостепу України та виділити генотипи з підвищеними показниками якості зерна.

Матеріали та методика досліджень

Дослідження проводили впродовж 2021/22–2023/24 рр. в умовах Миронівського інституту пшениці імені В. М. Ремесла НААН України (МІП). Установлювали вплив п'яти попередників [сої (SB), соняшнику (SF), кукурудзи (CR), гірчиці (MS), сидерального пару (GM) (гірчиці)] на показники якості борошна восьми нових сортів ('МІП Аеліта', 'МІП Ауріка', 'МІП Відзнака', 'МІП Дарунок', 'МІП Довіра', 'МІП Ніка', 'МІП Роксолана', 'МІП Феєрія') і дев'яти перспективних селекційних ліній (Еритроспермум 606667, Еритроспермум 60724, Еритроспермум 60793, Лютесценс 37548, Лютесценс 60293, Лютесценс 60302, Лютесценс 60400, Лютесценс 60702, Лютесценс 60734) пшениці м'якої озимої та сорту-стандарту 'Подільська'.

Ґрунтовий покрив полів МІП – чорнозем глибокий (38–42 см) малогумусний, слабковилуваний. Уміст гумусу у 20-сантиметровому шарі ґрунту – 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 становила 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 України технології [25]. Після збирання попередників рослинні рештки подрібнювали, проводили оранку (18–22 см), вирівнювали поверхню ґрунту, вносили основне добриво $N_{30}P_{30}K_{30}$ та здійснювали передпосівну культивування. Насіння протруювали препаратом Максим Стар 025 FS (1,5 л/т), а потім висівали за допомогою селекційної сівалки СН-10 Ц з глибиною загортання 4–5 см і нормою висіву 5 млн схожих насінин на 1 га. Облікова площа дослідних ділянок становила 10 м². Повторність чотириразова. Урожай зерна збирали методом прямого комбайнування («Sampo-130»).

Лабораторні дослідження виконували відповідно до ДСТУ 3768:2019 «Пшениця.

Технічні умови» [26] та Методики проведення кваліфікаційної експертизи сортів рослин на придатність до поширення в Україні. Методи визначення показників якості продукції рослинництва [27]. Уміст білка (PC) в борошні визначали за допомогою інфрачервоного аналізатора СПЕКТРАН 119М зі спектральним діапазоном 1400–2400 нм. Уміст сирової клейковини (WGC) встановлювали після ручного відмивання тіста, утвореного внаслідок змішування 25 г борошна з 13 мл проточної води, від крохмалю та оболонки.

Аналіз отриманих експериментальних даних проводили, використовуючи методи описової статистики, варіаційний, дисперсійний і регресійний аналізи [28, 29].

Результати досліджень

Роки випробувань були контрастними за температурою повітря, характеризувалися значним варіюванням кількості опадів та нерівномірністю їх випадання впродовж року (табл. 1). Як порівняти з усередненим багаторічним значенням (СБЗ), середньо-

річна температура повітря підвищувалася на 1,0–3,3 °С, а середньомісячна – на 0,8–6,5 °С щороку в листопаді, грудні, січні, лютому, березні, червні та липні. Аномально теплими виявилися вересень, жовтень, квітень і липень 2023/24 р. – перевищення СБЗ становило 3,6–4,2 °С. Істотне зниження температури – на 1,3–1,6 °С, порівнюючи з середньою багаторічною, фіксували у вересні 2021/22 та 2022/23 рр. За кількістю опадів 2021/22 вегетаційний рік був посушливим (80% до СБЗ), а 2022/23-й, навпаки, відзначився надмірним вологозабезпеченням (132% до СБЗ). Максимально наближений (93% до СБЗ) показник атмосферної вологості виявлено у 2023/24 р. За місяцями критично низьку кількість опадів (< 50% до СБЗ) відмічено у вересні, лютому та березні 2021/22 р., у січні, травні та червні 2022/23 р., а також у серпні, вересні, травні та липні 2023/24 р.; аномально велику (≥ 150% до СБЗ) – у квітні та серпні 2021/22 р., у квітні, липні, серпні, вересні та листопаді 2022/23 р., а також у березні, квітні, жовтні й листопаді 2023/24 р.

Таблиця 1

Середньомісячні значення температури повітря та кількості опадів за період проведення досліджень

Веґетаційний рік	Місяць												За рік
	VIII	IX	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	
Температура повітря, °C													
2021/22	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	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	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
СБЗ	19,6	14,5	8,4	2,3	–2,1	–4,4	–3,2	1,5	9,2	15,3	18,7	20,3	8,3
Кількість опадів, мм													
2021/22	88	19	18	26	63	23	9	11	86	29	42	55	469
2022/23	88	118	30	81	43	11	28	45	85	21	39	184	773
2023/24	5	8	51	79	60	23	44	86	72	6	103	7	544
СБЗ	58	50	34	41	43	36	32	35	44	51	80	80	584

Примітка. СБЗ – середньобагаторічні значення за 1960/61–2020/21 рр.

Результати досліджень свідчать, що різні за гідротермічним режимом роки вирощування неоднаково впливають на формування показників якості зерна (рис. 1). Максимальний розмах варіювання вмісту білка та клейковини, а також їхні вищі середні значення – 13,6 і 29,4% відповідно – отримано в більш посушливому 2021/22 р. Найнижчі усереднені показники PC та WGC – 10,5% і 19,0% відповідно – з мінімальним розмахом варіювання зафіксовано у 2022/23 р., зокрема через надмірну кількість опадів у липні. Як зазначають С. Jones та К. Olson-Rutz [30], перезволоження в період досягання зерна зменшує доступність та поглинання азоту, внаслідок чого знижується вміст білка.

Попередники також мали неоднаковий вплив на формування показників якості зер-

на пшениці м'якої озимої за різних умов вирощування (табл. 2). У середньому за сортами та селекційними лініями достовірно вищий уміст білка та клейковини у 2021/22 р. отримано після кукурудзи (PC = 15,0%, WGC = 32,8%), у 2022/23 р. – після сидерального пару (PC = 11,6%, WGC = 25,6%), у 2023/24 р. – після гірчиці (PC = 12,4%, WGC = 28,4%). Найменші значення досліджуваних показників протягом трьох років фіксували після соняшника.

Істотно вищий уміст білка (12,5%) та клейковини (27,6%) в середньому за генотипами та роками досліджень встановлено після сидерального пару (табл. 3), а найнижчий (10,7 і 19,0% відповідно) – після соняшнику. Отже, переважна кількість генотипів сформувала більші або менші значення цих

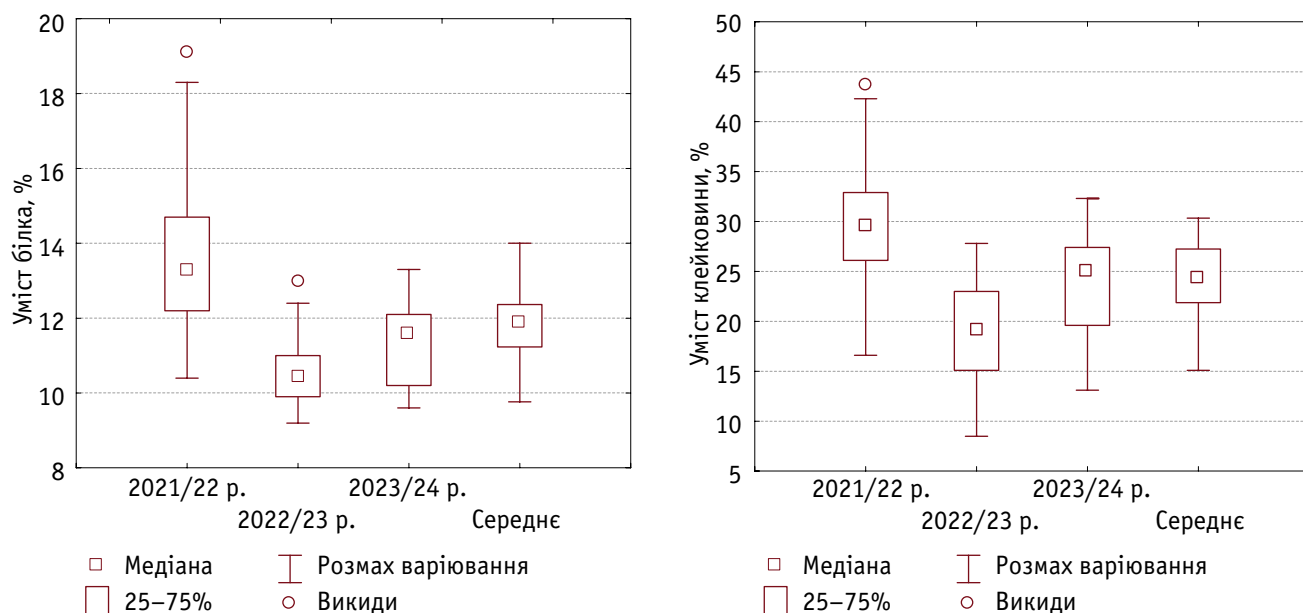


Рис. 1. Варіювання показників умісту білка та клейковини пшениці озимої впродовж років досліджень

Таблиця 2

Мінливість показників умісту білка та клейковини пшениці озимої залежно від попередника впродовж років досліджень (середнє за генотипами)

Веgetаційний рік	Попередник					x	HIP _{0,05}	σ
	SB	SF	CR	GM	MS			
	Уміст білка, %							
2021/22	14,1	12,3	15,0	14,1	12,6	13,6	0,5	1,13
2022/23	10,2	9,7	10,6	11,6	10,6	10,5	0,5	0,70
2023/24	11,8	10,2	10,4	11,8	12,4	11,3	0,4	0,97
	Уміст клейковини, %							
2021/22	30,3	25,8	32,8	30,5	27,7	29,4	1,5	2,71
2022/23	16,1	13,0	20,5	25,6	19,9	19,0	1,4	4,77
2023/24	26,0	18,1	20,4	26,7	28,4	23,9	1,4	4,43

Примітка. Попередники: SB – соя, SF – соняшник, CR – кукурудза, GM – сидеральний пар, MS – гірчиця; x – середнє; HIP_{0,05} – найменша істотна різниця; σ – стандартне відхилення.

показників за використання вказаних попередників. Утім виявлено й відмінності від загальної тенденції. Так, у середньому за 2021/22–2023/24 рр. у сорту 'МІП Довіра' істотно вищий уміст білка (13,1%) отримано після сої, а в селекційних ліній Лютесценс 37548 (13,6%), Лютесценс 60302 (12,7%) та Лютесценс 60400 (12,8%) – після кукурудзи. Достовірно більший уміст клейковини в Лютесценс 37548 (29,8%) зафіксовано після такого попередника, як кукурудза, а в Лютесценс 60302 (29,1%) – коли попередником була гірчиця. Варто зазначити, що дві останні селекційні лінії характеризувалися нижчими показниками якості зерна після сої (відповідно РС = 11,0; 11,3%, WGC = 21,4; 24,6%). Більшість генотипів пшениці м'якої озимої залежно від попередників відзначилися помірною варіабельністю ($6 \leq CV \leq 10\%$) умісту білка та значною ($11 \leq CV \leq 20\%$) – клейковини. Виключення становили сорт 'Подільянка' (відповідно $CV = 3,7; 10,3\%$) та селекційна

лінія Лютесценс 60302 (відповідно $CV = 4,6; 7,3\%$), що свідчить про найменшу мінливість й одночасно вищу стабільність вказаних ознак у них.

Достовірно більшим показником РС, ніж у сорту-стандарту 'Подільянка', в середньому за трьома роками досліджень і п'ятьма попередниками відзначилися селекційні лінії Еритроспермум 60793 та Еритроспермум 60724 (відповідно 12,4 та 12,7%). За вмістом білка в межах найменшої істотної різниці над контролем переважали Лютесценс 37548 (12,0%), Еритроспермум 60667 (12,1%), Лютесценс 60293 (12,1%) та Лютесценс 60734 (12,1%), а за вмістом клейковини – Лютесценс 60302 (26,8%). Отже, виділені лінії можуть бути використані в селекційному процесі як джерела відповідних показників якості зерна для створення високоякісних вихідних форм пшениці м'якої озимої.

За результатами кореляційно-регресійного аналізу між вмістом білка та клейковини

Таблиця 3
Мінливість умісту білка та клейковини в сортів і селекційних ліній пшениці м'якої озимої залежно від попередника (середнє за 2021/22–2023/24 рр.)

Попередник	'Подільська'	'МІП Аеліта'	'МІП Ауріка'	'МІП Відзанака'	'МІП Дарунок'	'МІП Довіра'	'МІП Ніка'	'МІП Роксолана'	'МІП Феєрія'	Еритроспермум 60667	Еритроспермум 60724	Еритроспермум 60793	Лютесценс 37548	Лютесценс 60293	Лютесценс 60302	Лютесценс 60400	Лютесценс 60702	Лютесценс 60734	x	HIP _{0.05}	CV, %
Уміст білка, %																					
SB	12,1	12,4	11,2	11,9	12,7	13,1	12,3	12,0	11,0	12,1	13,0	12,8	11,0	12,0	11,3	11,6	11,8	12,0	12,0	0,41	5,3
SF	11,2	10,5	10,4	10,3	10,4	10,4	10,2	10,1	9,8	10,8	11,0	11,1	11,2	10,7	11,6	10,8	11,4	11,1	10,7	0,42	4,6
CR	12,3	11,4	12,4	11,1	11,3	11,4	10,8	11,5	10,5	12,4	13,0	12,6	13,6	12,7	12,7	12,8	10,5	12,8	12,0	0,42	7,8
GM	12,2	12,3	11,9	11,5	13,1	12,6	12,3	12,1	11,9	13,1	14,0	13,1	12,2	12,8	12,2	12,3	12,1	13,2	12,5	0,40	4,9
MS	11,9	11,5	12,6	11,6	12,2	11,9	11,4	11,6	11,2	12,1	12,5	12,2	12,1	12,1	11,8	11,6	11,6	11,6	11,9	0,41	3,2
x	11,9	11,6	11,7	11,3	11,9	11,9	11,4	11,5	10,9	12,1	12,7	12,4	12,0	12,1	11,9	11,8	11,5	12,1	11,8	0,46	3,5
HIP _{0.05}	0,55	0,42	0,39	0,45	0,44	0,37	0,51	0,37	0,43	0,38	0,47	0,46	0,40	0,45	0,47	0,43	0,41	0,37	0,46	—	—
CV, %	3,7	6,9	7,7	5,5	9,1	8,9	8,1	7,0	7,2	6,9	8,6	6,3	8,6	7,0	4,6	6,5	5,3	7,1	5,7	—	—
Уміст клейковини, %																					
SB	24,2	27,7	23,9	22,8	25,4	25,5	28,8	24,3	22,1	23,6	22,6	24,0	21,4	24,3	24,6	22,7	23,9	22,5	24,1	1,24	7,7
SF	22,4	18,9	20,7	15,1	16,6	15,9	19,0	15,1	15,8	19,0	20,2	19,3	21,9	18,3	25,7	18,8	21,0	17,9	19,0	1,23	14,6
CR	28,6	25,0	26,4	20,7	22,3	20,7	22,5	22,6	20,4	26,4	28,6	25,9	29,8	23,1	25,9	27,2	20,6	25,5	24,6	1,29	12,4
GM	28,3	28,2	28,1	24,3	27,5	26,0	29,1	26,3	24,0	28,7	30,3	28,2	27,7	27,8	28,6	28,2	27,4	28,1	27,6	1,33	5,7
MS	25,6	24,5	27,7	21,8	25,4	24,2	25,1	24,0	23,4	26,7	27,3	23,2	28,4	25,3	29,1	24,1	25,2	25,0	25,3	1,28	7,5
x	25,8	24,9	25,4	20,9	23,4	22,5	24,9	22,5	21,1	24,9	25,8	24,1	25,8	23,8	26,8	24,2	23,6	23,8	24,1	1,42	6,7
HIP _{0.05}	1,29	1,47	1,37	1,19	1,31	1,24	1,47	1,27	1,33	1,44	1,21	1,22	1,37	1,48	1,22	1,22	1,43	1,46	1,42	—	—
CV, %	10,3	14,9	12,1	16,8	18,1	18,7	17,2	19,2	15,6	15,1	16,4	13,7	15,1	14,8	7,3	15,5	12,1	16,2	13,1	—	—

Примітка. Попередники: SB – соя, SF – соняшник, CR – кукурудза, GM – сидеральний пар, MS – гірчиця; x – середнє значення; HIP – найменша істотна різниця; CV – коефіцієнт варіації.

виявлено достовірну сильну ($r = 0,83$) прямо-лінійну залежність (рис. 2). Вона виражається таким рівнянням лінійної регресії:

$$y = -17,39 + 3,5135x$$

де y – вміст клейковини; x – вміст білка.

За допомогою цього рівняння можна здійснювати інтерполяцію або екстраполяцію даних, тобто використовувати для прогнозування результатів. Інші науковці також отримали прямолінійні зв'язки між досліджуваними ознаками, втім різної сили [31, 32].

Результати дисперсійного аналізу продемонстрували істотну ($p \leq 0,01$) залежність по-

казників якості зерна від усіх досліджуваних чинників та їхньої взаємодії (рис. 3) Визначальний вплив на формування вмісту білка – 48,3% – та клейковини – 41,2% – мали умови року. Генотиповий складник становив 4,8% (для PC) та 5,4% (для WGC). Попередники більше позначалися на вмісті клейковини – 17,2%. Також отримано значні частки ($> 10\%$) впливу взаємодії факторів: року $\times$ попередника – 10,8% (для PC) та 12,1% (для WGC); генотипу $\times$ року $\times$ попередника – 12,0% (для PC). Отже, ще раз підтверджено неоднаковий вплив попередників на формування вмісту

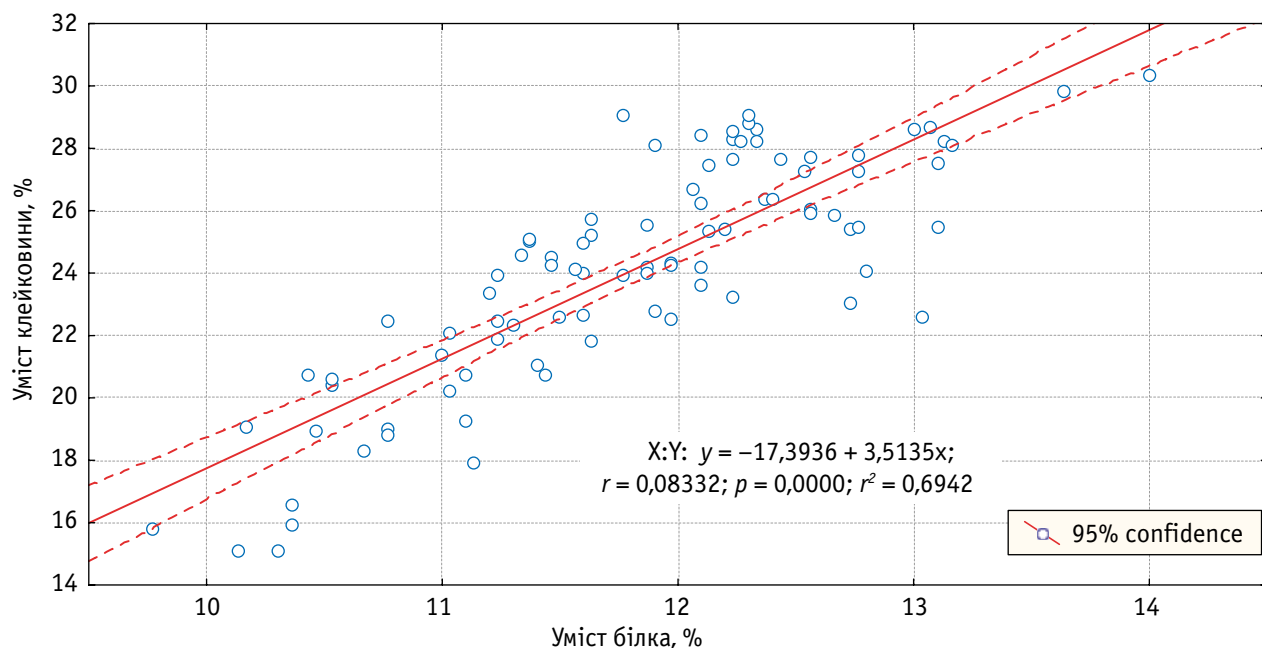


Рис. 2. Залежність між умістом білка та вмістом клейковини в пшениці м'якій озимій (середнє за 2021/22–2023/24 рр.)

Примітка. r – коефіцієнт кореляції, r^2 – коефіцієнт детермінації, p – рівень значущості.

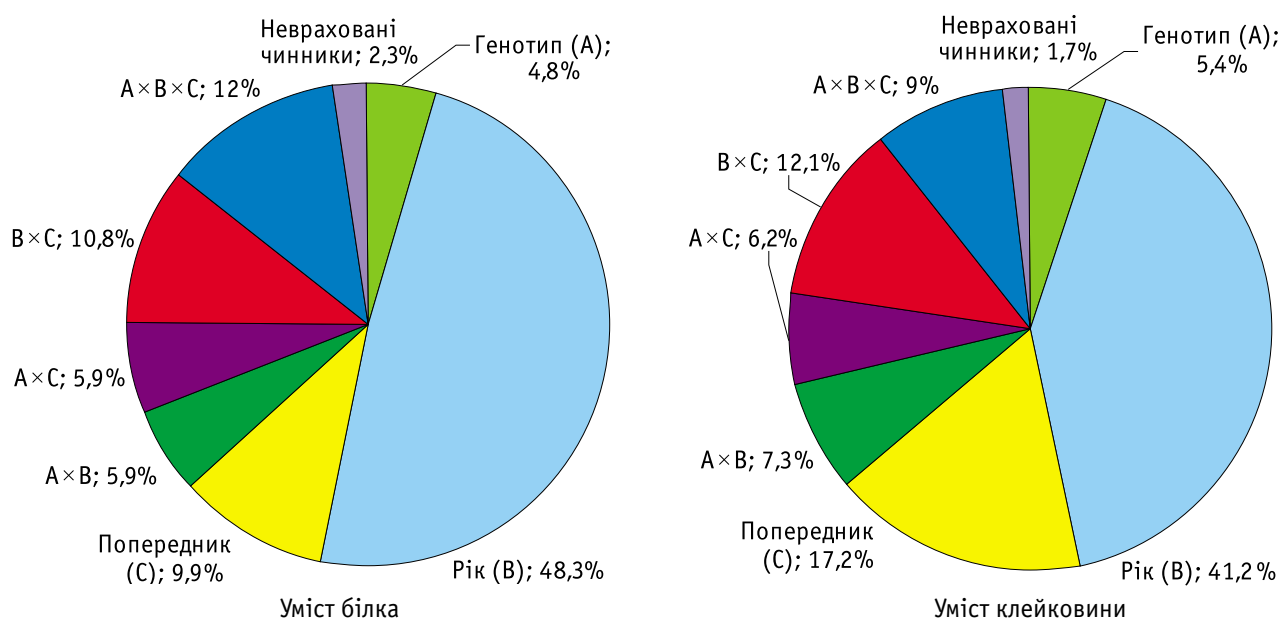


Рис. 3. Частка впливу чинників на вміст білка та клейковини в пшениці м'якій озимій (2021/22–2023/24 рр.)

білка та клейковини в різні за гідротермічним режимом роки.

Висновки

За результатами досліджень відмічено вищі значення вмісту білка (PC) та клейковини (WGC) за посушливих умов вирощування. Виявлено визначальний вплив умов року на формування показників якості зерна (PC – 48,3%, WGC – 41,2%). Генотипова складова становила 4,8% (для PC) та 5,4% (для WGC). Попередники більше позначалися на вмісті клейковини (17,2%). Отримано значні частки (> 10%) впливу взаємодії чинників: року × попередника – 10,8% (для PC) та 12,1% (для WGC); генотипу × року × попередника – 12,0% (для PC).

Визначено достовірну сильну ($r = 0,83$) пряму залежність між досліджуваними показниками якості зерна в сортів та селекційних ліній пшениці м'якої озимої.

Виділено селекційні лінії, що можуть бути використанні в селекційному процесі як джерела для підвищення вмісту білка – Еритроспермум 60724 (12,7%), Еритроспермум 60793 (12,4%), Еритроспермум 60667 (12,1%), Лютесценс 60293 (12,1%), Лютесценс 60734 (12,1%), Лютесценс 37548 (12,0%), а також клейковини – Лютесценс 60302 (26,8%).

За коефіцієнтом варіації виявлено помірну варіабельність ($6 \leq CV \leq 10\%$) умісту білка та значну ($11 \leq CV \leq 20\%$) – клейковини для більшості досліджуваних генотипів залежно від попередників. Виняток становили сорт 'Подільська' (відповідно $CV = 3,7; 10,3\%$) та селекційна лінія Лютесценс 60302 (відповідно $CV = 4,6; 7,3\%$), що свідчить про найменшу мінливість вказаних ознак у них. Висіваючи ці генотипи після гірших попередників, можна отримати стабільно високі показники якості зерна.

З метою одержання більшого вмісту білка та клейковини сорт 'МПП Довіра' варто висівати після сої, селекційні лінії Лютесценс 37548, Лютесценс 60302 та Лютесценс 60400 – після кукурудзи, інші генотипи пшениці озимої – після сидерального пару.

References

- Velimirović, A., Jovović, Z., & Pržulj, N. (2021). From neolithic to late modern period: Brief history of wheat. *Genetika*, 53(1), 407–417. <https://doi.org/10.2298/gensr2101407v>
- FAOSTAT. 2019–2023. <https://www.fao.org/faostat/en/#data/OA>
- Prokopenko, O. (Ed). (2022). *Crop Production of Ukraine 2022. Statistical Collection*. Derzhavna Sluzhba Statystyky Ukrainy. [In Ukrainian]
- Khalid, A., Hameed, A., & Tahir, M. F. (2023). Wheat quality: A review on chemical composition, nutritional attributes, grain anatomy, types, classification, and function of seed storage proteins in bread making quality. *Frontiers in Nutrition*, 10, Article 1053196. <https://doi.org/10.3389/fnut.2023.1053196>
- Adam, D. (2021). How far will global population rise? Researchers can't agree. *Nature*, 597(7877), 462–465. <https://doi.org/10.1038/d41586-021-02522-6>
- Islam, M. Z., Alam, M. N., Rahman, M. M., Islam, M. Z., & Rahman, A. (2024). Nutritional values of wheat and the roles and functions of its compositions in health. Preprints. <https://doi.org/10.20944/preprints202409.0710.v1>
- Szuba-Trznadel, A., Gałka, B., Kamińska, J., Rodzeńska, A. J., Król, Z., Jarki, D., & Fuchs, B. (2024). Diversity of chemical composition and nutritional value in grain from selected winter wheat cultivars grown in south-western Poland. *Scientific Reports*, 14(1), Article 2630. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-53094-0>
- Wieser, H., Koehler, P., & Scherf, K. A. (2023). Chemistry of wheat gluten proteins: Quantitative composition. *Cereal Chemistry*, 100(1), 36–55. <https://doi.org/10.1002/cche.10553>
- Rustgi, S., Shewry, P., Brouns, F., Deleu, L. J., & Delcour, J. A. (2019). Wheat seed proteins: factors in uencing their content, composition, and technological properties, and strategies to reduce adverse reactions. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 18(6), 1751–1769. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12493>
- Penaki, A., & Borta, A. (2020). The study of quality indicators and fractional composition of wheat grain protein of southern regions of Ukraine. *Grain Products and Mixed Fodder's*, 20(4), 4–10. <https://doi.org/10.15673/gpmf.v4i4.2013>
- Ye, L., Zheng, W., Li, X., Han, W., Shen, J., Lin, Q., Hou, L., Liao, L., & Zeng, X. (2023). The role of gluten in food products and dietary restriction: exploring the potential for restoring immune tolerance. *Foods*, 12(22), Article 4179. <https://doi.org/10.3390/foods12224179>
- Bodor, K., Szilágyi, J., Salamon, B., Szakács, O., & Bodor, Z. (2024). Physical-chemical analysis of different types of flours available in the Romanian market. *Scientific Reports*, 14(1), Article 881. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-49535-x>
- Wieser, H., Koehler, P., & Scherf, K. A. (2023). Chemistry of wheat gluten proteins: Qualitative composition. *Cereal Chemistry*, 100(1), 23–35. <https://doi.org/10.1002/cche.10572>
- Filip, E., Woronko, K., Stępień, E., & Czarniecka, N. (2023). An overview of factors affecting the functional quality of common wheat (*Triticum aestivum* L.). *International Journal of Molecular Sciences*, 24(8), Article 7524. <https://doi.org/10.3390/ijms24087524>
- Vozhegova, R. A., Netis, I. T., Onufriy, L. I., Sakhaty, G. I., & Sharata, N. H. (2021). Climate change and aridization of the Southern Steppe of Ukraine. *Agrarian Innovations*, 7, 16–20. <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2021.7.3> [In Ukrainian]
- Gabric, A. J. (2023). The climate change crisis: a review of its causes and possible responses. *Atmosphere*, 14(7), Article 1081. <https://doi.org/10.3390/atmos14071081>
- Xie, W., & Yan, X. (2023). Responses of wheat protein content and protein yield to future climate change in China during 2041–2060. *Sustainability*, 15(19), Article 14204. <https://doi.org/10.3390/su151914204>
- Aono, S., Nishitsuji, Ya., Iwaki, S., & Hayakawa, K. (2024). Effects of environmental temperature during maturation on protein characteristics in spring wheat (*Triticum aestivum* cv. Haruyokoi). *Journal of Cereal Science*, 116, Article 103838. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2023.103838>
- Kollstrøm, M. O., Böcker, U., Uhlen, A. K., Kristoffersen, A. Ø., Dieseth, J. A., Tengstrand, E., & Koga, S. (2025). The effect of weather conditions from heading to harvest on gluten quality of spring wheat – A study of historical data 2005–2022. *Journal of Cereal Science*, 121, Article 104095. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2024.104095>
- 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>
- Long, X.-X., Ju, H., Wang, J.-D., Gong, Sh.-H., & Li, G.-Y. (2022). Impact of climate change on wheat yield and quality in the

- Yellow River Basin under RCP8.5 during 2020–2050. *Advances in Climate Change Research*, 13(3), 397–407. <https://doi.org/10.1016/j.accres.2022.02.006>
22. Demydov, O. A., Pravdziva, I. V., & Vasylenko, N. V. (2023). The influence of growing season conditions, sowing date, and preceding crop on the flour strength formation in *Triticum aestivum* L. genotypes. *Foothill and Mountain Agriculture and Stockbreeding*, 74(2), 27–38. <https://doi.org/10.32636/01308521.2023-74-2-3> [In Ukrainian]
 23. Yashchuk, N., Matseiko, L., Bober, A., Kobernyk, M., Gunko, S., Grevtseva, N., Boyko, Y., Salavor, O., Bubliencko, N., & Babych, I. (2021). The technological properties of winter wheat grain during long-term storage. *Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences*, 15, 926–938. <https://doi.org/10.5219/1642>
 24. Tsybal, Ya. S., Boiko, P. I., Martyniuk, I. V., Yakymenko, L. P., & Bakumova, M. V. (2024) Productivity of winter wheat in 6-7-field crop rotations of the Left Bank Forest-Steppe. *Agriculture and Plant Sciences: Theory and Practice*, 4, 25–32. <https://doi.org/10.54651/agri.2024.04.03> [In Ukrainian]
 25. Siroshthan, A. A., & Kavunets, V. P. (Eds.). (2023). *Technology of Growing Winter Wheat Seeds*. Tsentralne. [In Ukrainian]
 26. *Wheat. Technical conditions: State Standard of Ukraine 3768:2019*. (2019). DP “UkrNDNTs”. [in Ukrainian]
 27. Technological assessment of crop production of varieties of agricultural species. (2016). In S. O. Tkachyk (Ed.), *Methodology for conducting qualification examination of plant varieties for suitability for distribution in Ukraine. Methods for determining quality indicators of crop production* (4th ed., pp. 6–64). Nilan-LTD. [In Ukrainian]
 28. Gamaiunova, V. V., & Smirnova, I. V. (2017). *Methods and organization of research in agronomy*. Mykolaiv National Agrarian University. https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/2075/1/Metody_ta_orhanizatsiya_doslidzhen_v_ahronomiyi.pdf [In Ukrainian]
 29. Chugaevska, S. V., & Kovtun, N. V. (Eds.). (2022). *Fundamentals of statistical modeling: a textbook*. Ruta. <https://eprints.zu.edu.ua/33864/1/stat.pdf> [In Ukrainian]
 30. Jones, C., & Olson-Rutz, K. (2025). *Practices to increase wheat grain protein*. Montana State University. <https://landresources.montana.edu/soilfertility/documents/PDF/pub/NWhtProtEB0206.pdf>
 31. Kolibabchuk, T. V., Kuzmenko, O. V., Zarva, O. I., & Liubych, V. V. (2022). Yield and quality of soft winter wheat depending on the sowing rates. *Agrobiologia*, 1, 168–178. <https://doi.org/10.33245/2310-9270-2022-171-1-168-178> [In Ukrainian]
 32. Blyzniuk, B. V., Demydov, O. A., Kyrylenko, V. V., Humeniuk, O. V., & Pykalo, S. V. (2020). Influence of environmental factors on formation of grain quality of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) varieties of Myronivka breeding. *Agroecological Journal*, 3, 63–72. <https://doi.org/10.33730/2077-4893.3.2020.211528> [In Ukrainian]

UDC 633.111.1«324»:664.64.016.8

Pravdziva, I. V.^{1*}, Vasylenko, N. V.¹, Shadchyna, T. M.¹, & Shevchenko, T. V.² (2025). Features of the formation of protein content and wet gluten content of winter bread wheat depending on the preceding crop. *Plant Varieties Studying and Protection*, 21(3), 159–166. <https://doi.org/10.21498/2518-1017.21.3.2025.339319>

¹The V. M. Remeslo Myronivka Institute of Wheat, NAAS of Ukraine, 68 Tsentralna St., Tsentralne village, Obukhiv district, Kyiv region, 08853, Ukraine, *e-mail: vasylenkonv147@gmail.com

²National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine, 9 Mykhailo Omelianovych-Pavlenko St., Kyiv, 01010, Ukraine

Purpose. To identify the features of the formation of protein content and wet gluten content of winter bread wheat varieties and breeding lines depending on different preceding crops in the conditions of the central part of the Forest-Steppe of Ukraine. To identify genotypes with increased grain quality indicators. **Methods.** The influence of five preceding crops (soybean, sunflower, corn, mustard, green manure (mustard)) on the formation of protein content (PC) and wet gluten content (WGC) in flour of 18 winter bread wheat genotypes was studied from 2021/22 to 2023/24. Field, laboratory and statistical research methods were employed. **Results.** On average, a significantly higher protein content (12.5%) and gluten content (27.6%) were found after green manure over the years. However, a higher protein content was observed after soybeans of the ‘MIP Dovira’ variety (13.1%) and after corn of the Lutescens 37548 (13.6%), Lutescens 60302 (12.7%) and Lutescens 60400 (12.8%) breeding lines. A significantly higher wet gluten content was obtained after corn in the Lutescens 37548 breeding line (29.8%) and after mustard in the Lutescens 60302 breeding line (29.1%). The lowest values of these indicators were recorded over three years (PC = 9.7–12.3%, WGC = 13.0–25.8%) following a sunflower crop. However, the breeding lines Lutescens 37548 and Lutescens 60302 showed lower quality indicators following a preceding crop

of soybean. Moderate variability ($6 \leq CV \leq 10\%$) in protein content and significant variability ($11 \leq CV \leq 20\%$) in gluten content were observed for most winter bread wheat varieties and breeding lines depending on the preceding crop. The influence of growing year conditions on protein (48.3%) and wet gluten (41.2%) content was significant, with the respective shares of the preceding crop and genotype being 9.9% and 17.2%, and 4.8% and 5.4%, respectively. A strong, reliable linear relationship ($r = 0.83$) was identified between protein and wet gluten content in winter bread wheat varieties and breeding lines. Breeding lines of winter bread wheat with a higher protein content were identified: Erythrosperrum 60724, Erythrosperrum 60793, Erythrosperrum 60667, Lutescens 60293, Lutescens 60734 and Lutescens 37548. Breeding lines with a higher wet gluten content were also identified: Lutescens 60302. **Conclusions.** The selected genotypes can be used in the breeding process to improve individual grain quality indicators. To obtain a higher protein and gluten content, the variety ‘MIP Dovira’ should be sown after the preceding crop soybean, the breeding lines Lutescens 37548, Lutescens 60302, Lutescens 60400 should be sown after corn, and other winter wheat genotypes should be sown after green manure.

Keywords: *Triticum aestivum* L.; varieties; breeding lines; year conditions; coefficient of variation; ANOVA.

Надійшла / Received 28.07.2025
Погоджено до друку / Accepted 21.08.2025

