

JOURNAL OF APPLIED RESEARCH Vol. 21, No 2 '2025

PLANT VARIETIES STUDYING

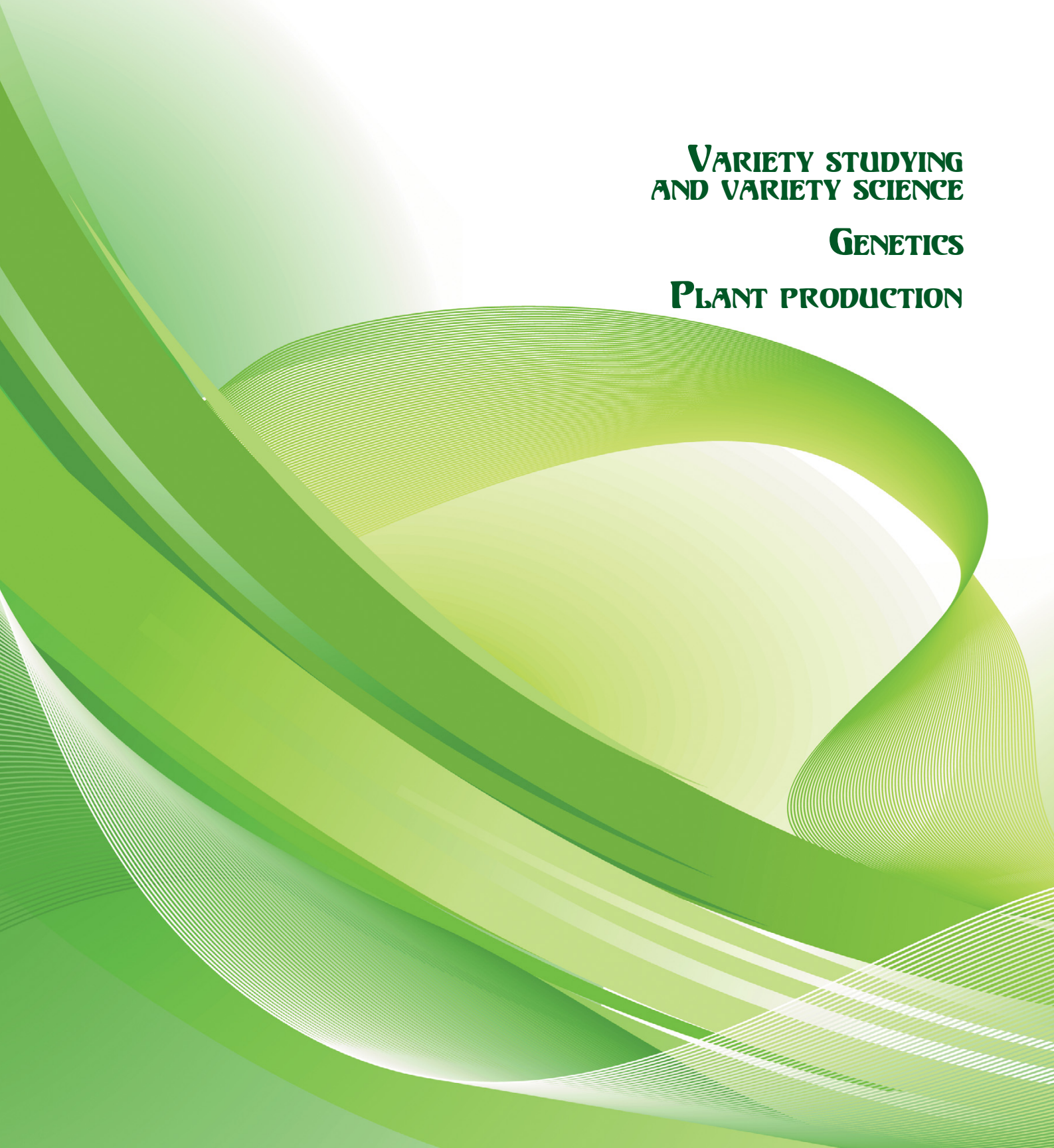
AND PROTECTION

PRINT ISSN 2518-1017
ONLINE ISSN 2518-7457

VARIETY STUDYING
AND VARIETY SCIENCE

GENETICS

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)

В. В. Моргун

Л. М. Присяжнюк

О. І. Присяжнюк

О. І. Рибалка

Р. Роса (Республіка Польща)

В. М. Соколов

Б. В. Сорочинський

С. М. Хоменко

С. В. Чеботар

В. Ю. Черчель

В. В. Швартау



УКРАЇНСЬКИЙ ІНСТИТУТ
ЕКСПЕРТИЗИ СОРТІВ РОСЛИН

СЕЛЕКЦІЙНО-ГЕНЕТИЧНИЙ
ІНСТИТУТ – НАЦІОНАЛЬНИЙ ЦЕНТР
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 24.07.2025)

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 28.07.2025
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)

V. Morhun

R. Rosa (Poland)

L. Prysiashniuk

O. Prysiashniuk

O. Rybalka

V. Sokolov

B. Sorochynskyi

S. Khomenko

S. Chebotar

V. Cherchel

V. Shvartau



UKRAINIAN INSTITUTE FOR PLANT
VARIETY EXAMINATION

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

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

Published 4 times a year

Media identifier
R 30-01984

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

Recommended for publication by
Academic Board of the Ukrainian
Institute for Plant Variety Examination
(Record No. 9, 24.07.2025)

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 28.07.2025
Format 60×84 1/8. Offset Paper.
Conventional printed sheet.
50 numbers of copies.

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

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

Languages of publication:
Ukrainian, English

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

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

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

ЗМІСТ

СОРТОВИВЧЕННЯ ТА СОРТОЗНАВСТВО

Паламарчук А. І., Коджебаш В. Ф.
Сортовий потенціал пшениці твердої озимої в Україні

64

ГЕНЕТИКА

**Волкова Н. Е., Сліщук Г. І., Марченко Т. Ю.,
Вожегова Р. А.**
Мікросателітний аналіз генотипів нуту звичайного
(*Cicer arietinum* L.)

70

**Файт В. І., Бальвінська М. С., Феоктістов П. О.,
Гаврилов С. В., Федорова В. Р.**
Створення вихідного матеріалу для маркування та
картування QTL морозостійкості озимого ячменю

76

РОСЛИННИЦТВО

Ганженко О. М., Продиус М. П.
Залежність посівних якостей насіння буряка цукрового
від його обробки цинкомістким препаратом

83

Данюк В. О., Доронін В. А.
Інтенсивність відростання вегетативної маси верби
залежно від сортових особливостей,
виду садивного матеріалу та умов його зберігання

89

Фучило Я. Д., Левчук Т. А.
Особливості росту іноземних сортів
верби прутоподібної (*Salix viminalis* L.)
на вилугуваних чорноземах Центрального Лісостепу

94

Яценко В. В., Яценко Н. В.
Сортові особливості формування врожаю картоплі
різних груп стиглості у Правобережному Лісостепу
України

100

CONTENTS

VARIETY STUDYING AND VARIETY SCIENCE

Palamarchuk A. I., Kodzhebash V. F.
The potential of durum winter wheat cultivars
in Ukraine

GENETICS

**Volkova N. E., Slishchuk G. I., Marchenko T. Yu.,
Vozhehova R. A.**
Microsatellite analysis of chickpea (*Cicer arietinum* L.)
genotypes

**Fait V. I., Balvinska M. S., Feoktistov P. O.,
Havrylov S. V., Fedorova V. R.**
Creation of source for marking and mapping
of frost resistance QTL in winter barley

PLANT PRODUCTION

Hanzhenko O. M., Prodyus M. P.
Dependence of sugar beet seed sowing qualities
on zinc-containing preparation treatment

Daniuk V. O., Doronin V. A.
The intensity of willow vegetative mass regrowth
depending on varietal characteristics,
type of planting material, and storage conditions

Fuchylo Ya. D., Levchuk T. A.
Growth characteristics of foreign willow
(*Salix viminalis* L.) varieties on leached chernozems
of the Central Forest-Steppe

Yatsenko V. V., Yatsenko N. V.
Varietal characteristics of potato yield formation
in different maturity groups in the Right-Bank
Forest-Steppe of Ukraine

The potential of durum winter wheat cultivars in Ukraine

A. I. Palamarchuk, V. F. Kodzhebash*

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

Purpose. To highlight the durum winter wheat breeding results at the Plant Breeding and Genetics Institute – National Center of Seed and Cultivar Investigation (PBGI – NCSCI) during many years. **Methods.** Multiple both intraspecific and interspecific (with varieties and forms of common wheat) hybridization, including introgressive hybridization to create certain desired genotypes. Evaluation of the created lines and hybrids by a number of biological and economic characteristics, including the resistance to frost (winter hardiness), drought and main diseases, as well as protein content in the grain and its vitreousness. **Results.** There were 6 durum winter wheat cultivars replacement in Ukraine during past 65 years, with the leading role in the assortment belonging to cultivars created at the PBGI – NCSCI. The creation of varieties was focused on the introgression of dwarfism genes and alleles with low photoperiod sensitivity, improving floral fertility, increasing resistance to biotic and abiotic stresses. New cultivars (the sixth cultivars replacement) belong to the varieties of durum winter wheat *leucurum* ('Lainer', 'Shliachetnyi', 'Blyskuchyi', 'Almaznyi', 'Yantarnyi', 'Kryshtalevyi', 'Zolotystyi', 'Marmurovyi', 'Sribliastyi'), *hordeiforme* ('Areal Odeskyi', 'Hranatovyi') and *leucomelan* ('Prestyzhnyi', 'Yaskravyi'). All of them are cultivars of intensive type and universal use which are characterized by high resistance to lodging, drought and the most common diseases and average or above average frost resistance. Their grain has high vitreousness and high or above average protein content. **Conclusions.** Today, in the agricultural production of the steppe and forest-steppe zones of Ukraine, the most common cultivars of hard winter wheat of the fifth cultivars replacement are well established and therefore the most widespread: 'Hardemarin', 'Burshtyn', 'Kontynent', 'Kreiser', 'Linkor' and 'Bosfor'. New varieties (sixth cultivars replacement) are also gradually spreading: 'Areal Odeskyi', 'Liner', 'Prestyzhnyi', 'Shliachetnyi', 'Blyskuchyi', 'Yaskravyi', 'Almaznyi', 'Yantarnyi', 'Kryshtalevyi', 'Hranatovyi', 'Marmurovyi', 'Zolotystyi' and 'Sribliastyi' which belong to the selection of the Plant Breeding and Genetics Institute – National Center of Seed and Cultivar Investigation.

Keywords: Durum winter wheat varieties; plant breeding; grain quality; cultivars replacement.

Introduction

In recent years, global wheat production has reached 700–790 million tons per year. Of this, durum wheat production accounts for 33–37 million tons, or about 5% [1, 2]. In 2022, durum wheat ranked 278th worldwide in sales volume (out of 4,648). The main exporters were Canada, Russia, France, USA, Romania, and Ukraine, which ranks sixth (accounting for 4.39% of global exports) and considers itself the breadbasket of Europe.

Durum wheat and its processed products are a source of protein, essential amino acids, carbo-

hydrates, minerals, and vitamins, all of which are extremely beneficial to humans. When milled, durum wheat does not turn into ordinary flour, but rather into small grains. This is due to the difference in carbohydrate structure between durum wheat and soft wheat. This type of flour is known worldwide as semolina. Semolina crystals contain starch grains combined with protein particles and carotenoid pigments [3]. Semolina from durum wheat, like other types of tetraploid wheat, also has a significant antioxidant enzyme system. In addition to high-quality semolina pasta, couscous production has become widespread in Central Asia and the Mediterranean. Couscous is a staple food of the Middle East. Couscous consists of uniform granules of durum wheat semolina. Durum wheat flour is also used to bake many varieties of local bread, such as lavash, churek, and puri. In some

Anatolii Palamarchuk

<https://orcid.org/0000-0002-2233-3557>

Vladyslav Kodzhebash

<https://orcid.org/0000-0002-6735-5549>



© 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.

countries, a mixture of soft and durum wheat flour is used to make traditional bread, significantly improving its sensory and textural properties as well as its taste [4]. Durum wheat flour is also used to make high-quality croissants, cookies, and other pastries.

The northern limit of high-quality durum wheat cultivation practically coincides with the northern border of the steppe zone. This suggests that durum wheat is naturally a steppe crop with increased requirements for solar insolation, low atmospheric precipitation, and relatively high humidity. This is because it originates mainly from the Near East [5]. The main growing areas for facultative and winter durum wheat varieties are concentrated around the Mediterranean, Black, and Caspian Seas. Ukraine can successfully grow various types of durum wheat, but the winter and facultative varieties are most effective at using autumn-winter moisture reserves. Compared to soft wheat, durum wheat is less prone to shattering, more resistant to lodging, less susceptible to diseases and pests, and more resistant to salt stress, especially winter varieties and forms [6]. When grown on fertile soils with proper agricultural techniques, durum wheat produces yields comparable to the best varieties of soft winter wheat.

In Ukraine and worldwide, high-quality durum wheat grain is priced 10–20% higher than soft wheat [7]. Demand for high-quality durum wheat is constantly increasing on the international market, partly because legislation in several countries prohibits pasta production from soft wheat flour. The global market prefers large, high-density, amber-colored grain with a protein content of 13–17%, a specific gravity of at least 790 g/L, and vitreousness greater than 75%. According to Ukrainian legislation, commercial batches of durum wheat may contain no more than 3% soft wheat grain and 2% grey grains (rye, triticale, and barley) [8]. In some European countries, the requirements are more stringent. For instance, if pasta contains more than 2% soft wheat flour, the factory may have its license revoked.

Modern domestic varieties of hard winter wheat, adapted to various growing conditions, can produce grain yields of over 7.5–8.0 tons per hectare (t/ha) with high grain quality indicators in Ukraine's steppe and forest-steppe regions.

The aim of the work was to demonstrate the potential of domestic hard winter wheat varieties, especially those developed at the Plant Breeding and Genetics Institute – National Center of Seed and Cultivar Investigation through selective breeding over many years.

Materials and methods

The main method of breeding is multiple hybridization, followed by careful evaluation of the resulting lines and hybrids for desirable biological and economic traits. Intraspecific and interspecific hybridization were both used with varieties and forms of soft wheat characterized by high winter hardiness. Introgressive hybridization was used to create new varieties and forms with high adaptive properties, such as frost resistance, drought resistance, and resistance to major diseases. The yield, weight of 1,000 grains, and grain quality were determined by weighing them. Resistance to the most common diseases and drought was evaluated using a 10-point scale [9]. Grain protein content was analyzed using an Infromatic 8611 device. Grain vitreousness was calculated as a percentage using the ISO 11051 method.

Results and discussion

The first varieties of winter durum wheat, 'Michurinka' and 'Novomichurinka', were created by Academician F. H. Kyrychenko at the Plant Breeding and Genetic Institute – National Center of Seed and Cultivar Investigation (PBGI – NCSCI) in 1960 [10]. Through introgressive hybridization, many different forms of hard winter wheat with increased adaptive properties were created, enabling breeding work to begin based on them. The varieties 'Odeska Yantarna' and 'Odeska Yuvileina' resulted from the intraspecific hybridization of hard winter wheat forms, which began to be systematically improved in the early 1970s.

The development of new hard winter wheat sources focused on introgressing dwarfism genes and alleles with low photoperiod sensitivity, improving flower fertility, and increasing resistance to biotic and abiotic stresses. The most winter-hardy and frost-resistant varieties of hard winter wheat were used for hybridization with dwarfing donors: 'Novomichurinka', 'Rubizh', 'Odeska Yuvileina', 'Kharkivska 1', 'Novynka' and others. As a result of long-term breeding efforts, source material was developed that enabled the gradual enhancement of winter durum wheat productivity by 2–2.5 times.

Six variety changes took place in Ukraine during this period (Table 1). Trials of hard winter wheat varieties from different years of regionalization under comparative conditions showed that yield increased by 4.5–5.0 t/ha. This breeding program's development made the creation of the first short-stemmed hard winter wheat varieties in the Soviet Union possible:

'Parus' and 'Koral Odeskyi'. These varieties were included in the Register of Varieties of Ukraine and the Russian Federation in 1983 and 1985, respectively. These varieties increased the productivity of hard winter wheat by 2.3 t/ha compared to the initial regionalized varieties, 'Michurinka' and 'Novomichurinka', and by 1.8 t/ha compared to varieties in production at that time.

In addition to the above, the State Register of Varieties Suitable for Distribution in Ukraine (hereinafter referred to as the "Register of Varieties") includes the varieties 'Delfin', 'Arhona', 'Perlyna Odeska', 'Zolote Runo' and 'Lahuna'. These varieties are characterized by high yields and grain quality, respond well to optimal agricultural conditions and have comprehensive resistance to common diseases.

Table 1

Yield of durum winter wheat of different variety changes in the comparative variety trial of the PBGI – NCSCI over the past decades

Variety change	Variety	Cultivation in production	Average grain yield, t/ha	Excess over variety change, t/ha	
				first	previous
I	'Michurinka', 'Novomichurinka'	1960–1970	2.83	–	–
II	'Rubizh', 'Odeska Yuvileina'	1969–1978	3.14	0.31	0.31
III	'Parus', 'Koral Odeskyi'	1979–1995	5.20	2.37	2.06
IV	'Aisberh Odeskyi', 'Delfin', 'Alyi Parus', 'Perlyna Odeska', 'Arhona', 'Zolote Runo', 'Lahuna'	1990–2005	6.27	3.44	1.07
V	'Hardemaryn', 'Burshtyn', 'Tavryda', 'Kontynent', 'Kreiser', 'Linkor', 'Bosfor', 'Havan', 'Akveduk', 'Prozoryi', 'Areal Odeskyi', 'Lainer'	2006–2014	7.15	4.32	0.88
VI	'Shliakhetnyi', 'Blyskuchyi', 'Yaskravyi', 'Prestyzhnyi', 'Koralovyi', 'Nadiinyi', 'Almaznyi', 'Yantarnyi', 'Kryshtalevyi', 'Hranatovyi', 'Marmurovyi', 'Zolotystyi', 'Sribliastyi'	2015–2024	7.63	4.80	0.48

Their productivity increases with various elements of the crop structure [11, 12]. The increased grain yield of these varieties is primarily associated with an increase in biomass (+0.62 kg/m²). Despite the decrease in the harvesting index (–3.9%), the number of grains on the main spike (+6.2 grains) and on the other productive spikes of the plant (0.09 grams) increased in the new varieties. As a result, the grain yield of the new varieties increased by 0.06 kg/m² compared to the 'Parus' and 'Koral Odeskyi' varieties.

To create frost- and winter-resistant starting material, we hybridized highly winter-resistant varieties of soft winter wheat, as well as our own varieties and forms of hard winter wheat adapted to local conditions. Saturating crosses were carried out on interspecific hybrid F₁ plants with frost- and winter-resistant varieties and forms of hard winter wheat to consolidate the stability of the tetraploid genome and its winter hardiness. After several years of selection, the hybrid material was crossed again with winter-resistant varieties of soft and hard winter wheat from other agro-ecological zones. This process gradually accumulated adaptive indicators and properties in the starting material. The result was the development of the highly adapted varieties of hard winter wheat,

'Aisberh Odeskyi' (1985) and 'Alyi Parus' (1990). These varieties have been used in production in Ukraine's steppe and forest-steppe regions, as well as in other countries, for about 30 years.

It is characteristic that in the varieties of durum winter wheat of the fifth variety change (entered into the Register of Varieties in 2006–2011), the following varieties experienced an increase in grain yield due to an increase in biomass (+0.12 kg/m²): 'Hardemaryn', 'Burshtyn', 'Kontynent', 'Kreiser', 'Linkor', 'Bosfor', and 'Havan'. On average, the number of grains per main ear increased by 3.2, the weight per ear by 0.07 g, and the weight per cob by 0.22 g. The harvesting index increased slightly (+1.2), while the weight of 1000 grains decreased by 2.8 g [13].

In harsh winter conditions, varieties of durum winter wheat such as 'Aisberh Odeskyi', 'Alyi Parus', 'Akveduk', 'Lahuna', 'Perlyna Odeska', 'Hardemaryn', 'Kreiser', 'Tavryda' and 'Bosfor' demonstrate high frost resistance. This was confirmed by Russian researchers in a comparative test of varieties from different ecological regions [14]. The best frost- and winter-resistant durum winter wheat varieties have a long vernalization requirement and strong photoperiod sensitivity. Meanwhile, varieties with a long vernalization requirement (30–35 days) and medium photo-

period sensitivity produce more stable grain yields of durum winter wheat in southern Ukraine. In the steppe zone, such varieties restore vegetation faster and make better use of spring soil moisture. These varieties include 'Hardemaryn', 'Kreiser', 'Havan', 'Akveduk', 'Prozoryi', 'Areal Odeskyi', 'Blyskuchyi', 'Lainer', 'Prestyzhnyi', 'Shliakhetnyi', 'Yaskravyi', 'Koralovyi', 'Nadiinyi', 'Almaznyi', and 'Yantarnyi'.

To successfully introduce durum wheat into production, its productivity must be raised to the level of common soft wheat varieties. A comparative ecological study of modern soft winter wheat varieties from various Ukrainian institutions and a hard winter wheat selection from PBGI – NCSCI shows that new hard winter wheat varieties are not inferior to soft wheat varieties in terms of grain yield. Other researchers have obtained similar results [15, 16]. However, it should be noted that durum wheat is significantly inferior to soft wheat in terms of yield and protein content when grown in northern regions [17], as it has increased requirements for solar insolation, as previously indicated.

Today, in agricultural production in Ukraine's steppe and forest-steppe zones, the most common durum winter wheat varieties in the V variety change are 'Hardemaryn', 'Burshtyn', 'Kontynent', 'Kreiser', 'Linkor', and 'Bosfor'. The 'Havan', 'Akveduk' and 'Prozoryi' varieties show the best results in the forest-steppe and northern steppe regions [13, 18].

The durum winter wheat varieties 'Areal Odeskyi' and 'Lainer' underwent state variety testing from 2014 to 2017. According to the results, they were included in the Register of Varieties in 2016 and 2017, respectively. These varieties are characterized by their high productivity potential and excellent pasta and cereal properties. A study of these varieties during state variety testing (2015–2017) in the Steppe zone revealed high productivity results: 'Areal Odeskyi' – 5.62–8.44 t/ha and 'Lainer' – 5.34–8.08 t/ha. Even better results were obtained in the forest-steppe zone: 7.08–9.66 t/ha for 'Areal Odeskyi' and 7.90–9.83 t/ha for 'Lainer'. The varieties 'Prestyzhnyi' and 'Shliakhetnyi' also demonstrated high productivity. Their grain yield was 5.68–8.25 and 5.14–7.89 t/ha, respectively, in the steppe and 7.53–10.02 and 7.30–10.50 t/ha in the forest-steppe from 2015 to 2017. The varieties 'Blyskuchyi' and 'Yaskravyi', which were studied in state variety testing from 2016 to 2017, also demonstrated high productivity. The variety 'Blyskuchyi' exceeded the conditional standard in Ukraine's steppe and forest-steppe zones by 0.64 t/ha. Its grain yield in the steppe was 5.15–8.52 t/ha, and in the

forest-steppe zone, it reached 7.53–9.82 t/ha. The 'Yaskravyi' variety produced a grain yield of 6.60–9.21 t/ha in the forest-steppe zone and 5.21–8.36 t/ha in the steppe zone.

Since the creation of the first variety of durum winter wheat at PBGI – NCSCI, 53 other varieties have been submitted to state variety testing. According to the test results, these varieties have been included in the Register of Plant Varieties of Ukraine and other countries: Bulgaria (3), Moldova, Romania (2 each), Kazakhstan, Kyrgyzstan, USA, Tajikistan, and Uzbekistan (1 each). The Register of Varieties currently includes 36 varieties of durum winter wheat. Twenty-three of these are selections of the PBGI – NCSCI. Thus, PBGI – NCSCI varieties make up over 64% of the zoned varieties in Ukraine and over 75% of those distributed in production.

The new generation of varieties is being introduced into production at a rapid pace. These include 'Areal Odeskyi', 'Lainer', 'Prestyzhnyi', 'Shliakhetnyi', 'Blyskuchyi', 'Yaskravyi', 'Almaznyi', 'Yantarnyi', 'Kryshtalevyi', 'Hranatovyi', 'Marmurovyi', 'Zolotystyi' and 'Sribliastyi', which were selected by the PBGI – NCSCI. Their characteristics are given in Table 2.

All of these varieties are intensive types. They are recommended for cultivation after black steaming in the steppe zone or after crops that provide sufficient moisture and mineral nutrients, such as perennial grasses, grain legumes, vegetables, and melons. The percentage of vitreous grain varies by variety and is also influenced by weather conditions before and during harvest. These varieties differ in terms of weight per 1,000 grains (43.1–50.6 g), gluten deformation index (90–100 units), and grain density (797–819 g/L). There are also differences in protein content (13.0–15.4%) and resistance to powdery mildew, brown rust, and stem rust. It should be noted that all of these varieties are versatile thanks to their appropriate quality, such as protein content and vitreousness. They can be used to produce cereals, pasta, and various baked goods. Additionally, the average yields (5.7–9.8 t/ha), including those obtained at state variety testing stations, are generally not achieved under maximum agricultural conditions typical of European cultivation.

Conclusions

Throughout the breeding program at PBGI – NCSCI, six changes occurred in the winter durum wheat varietal. Through long-term breeding work involving introgressive hybridization methods, genotypes were saturated with the necessary genes. This created material that in-

Table 2

Characteristics of new varieties of durum winter wheat included in the State Register of Plant Varieties of Ukraine

Variety, variant	Plant height cm	Resistance to							Grain yield (average), t/ha	Grain quality					Weight of 1000 grains, g
		lodging	wintering	drought	most common diseases, points					Content, %		GDI in units	Grain nature, g/l	Vitreousness, %	
					smut fungy	powdery mildew	brown and stem rust	pyrenophora		dry protein	fiber				
'Areal Odeskyi', <i>hordeiforme</i>	90–105	high	average above	high	8–9	7–9	5–7	6–7	6.28	13.9–15.9	28.0–30.7	90	798–835	93	45.8–48.4
'Lainer', <i>leucurum</i>	85–95		average			7–9	7–9		5.74	14.4–16.3	33.7–36.9	95	800–818	95	42.5–43.6
'Shliakhetniyi', <i>leucurum</i>	95–105		average			8–9	6–8		6.9–9.8	14.8–15.5	27.7–31.9	95	792–806	93	43.5–47.3
'Blyskuchyi', <i>leucurum</i>	95–105		average above			5–7	5–7		6.8–8.8	13.1–14.7	27.4–31.3	95	798–800	93	43.6–48.7
'Prestyzhnyi', <i>leucomelan</i>	85–95		average above			8–9	5–7		8.2–9.7	13.6–14.9	27.3–30.1	99	796–802	95	45.1–48.5
'Yaskravyi', <i>leucomelan</i>	95–105		average			8–9	6–8		7.6–8.4	14.8–16.0	29.7–34.4	97	798–816	95	49.8–55.3
'Koralovyi', <i>hordeiforme</i>	80–90		average			7–8	7–8		6.59	14.2–15.0	30.1–35.3	90	775–801	92	43.1–47.4
'Nadiinyi', <i>hordeiforme</i>	90–95		average			6–8	6–8		6.99	13.0–14.7	29.6–31.3	90	786–811	93	42.0–44.9
'Almaznyi', <i>leucurum</i>	100–110		average			5–7	5–7		6.80	13.3–14.2	29.7–32.5	95	798–836	94	43.6–44.9
'Yantarnyi', <i>leucurum</i>	90–105		average above			6–8	6–8		6.87	13.0–15.6	28.3–30.1	90	786–808	90	42.2–44.0
'Kryshtalevyi', <i>leucurum</i>	85–95		average above			7–9	7–9		5.74	14.4–16.3	34.7–35.9	95	800–818	95	42.5–43.6
'Hranatovyi', <i>hordeiforme</i>	100–105		average			7–9	5–7		7.25	13.9–15.9	28.0–30.7	90	798–835	93	39.1–43.4
'Zolotystyi', <i>leucurum</i>	90–105		average			5–7	6–8		6.87	13.6–14.4	28.3–30.1	90	786–808	95	47.5–45.1
'Marmurovyi', <i>leucurum</i>	90–105		average			6–8	6–8		6.70	13.3–14.7	27.1–29.8	95	781–803	92	43.0–44.5
'Sriblyastyi', <i>leucurum</i>	90–105		average			6–8	6–8		7.93	14.0–15.2	28.2–30.1	94	783–807	91	43.0–44.5

creased the productivity potential of winter durum wheat significantly and gradually while ensuring high plant resistance to biotic and abiotic stress factors.

The most common varieties of hard winter wheat in Ukraine's steppe and forest-steppe zones today are 'Hardemaryn', 'Burshtyn', 'Kontynent', 'Kreiser', 'Linkor' and 'Bosfor'. The 'Havan', 'Akveduk' and 'Prozoryi' varieties perform better in the forest-steppe and northern regions of the steppe zone. New generation varieties (the VI variety change) are being rapidly introduced into production: 'Areal Odeskyi', 'Lainer', 'Prestyzhnyi', 'Shliakhetnyi', 'Blyskuchyi', 'Yaskravyi', 'Almaznyi', 'Yantarnyi', 'Kryshtalevyi', 'Hranatovyi', 'Marmurovyi', 'Zolotystyi' and 'Sribliastyi' which were selected by the PBGI – NCSCI.

References

- World Food and Agriculture – Statistical Pocketbook 2021. (2021). FAO. <https://doi.org/10.4060/cb4478en>
- Durum wheat: popular cultivars and growing peculiarities. (2024). <http://tetra.agro.com.ua> [In Ukrainian]
- Pabriani, G., & Idntae, C. (1988). *Durum wheat: chemistry and technology*. American Association of Cereal Chemists.
- Mastromatteo, M., Danza, A., Lecce, L., Spinelli, S., Lampignano, V., Laverse, J., Contò, F., & del Nobile, M. A. (2014). Effect of durum wheat varieties on bread quality. *International Journal of Food Science and Technology*, 49(1), 72–81. <https://doi.org/10.1111/ijfs.12276>
- Palamarchuk, A. I. (2000). Economic and biological characteristics of new high-yielding cultivars of durum winter wheat and peculiarities of its cultivation in the steppe zone of Ukraine. *Storage and Processing of Grain*, 2, 9–11. [In Ukrainian]
- Turki, N., Harrabi, M., & Okuno, K. (2012). Effect of salinity on grain yield and quality of wheat and genetic relationships among durum and common wheat. *Journal of Arid Land Studies*, 22(1), 311–314.
- Tidiane, Sall A., Chiari, T., Legesse, W., Seid-Ahmed, K., Ortiz, R., van Ginkel, M., & Bassi, F. M. (2019). Durum Wheat (*Triticum durum* Desf.): Origin, Cultivation and Potential Expansion in Sub-Saharan Africa. *Agronomy*, 9(5), Article 263. <https://doi.org/10.3390/agronomy9050263>
- State standard of Ukraine (DSTU) 3768:2019: *Wheat. Technical conditions*. (2020). Derzhspozhyvstandart Ukrainy. [In Ukrainian]
- Trybel, S. O. (Ed.). (2010). *Methodology for assessing the resistance of wheat varieties to pests and pathogens*. Kolobih. [In Ukrainian]

10. Palamarchuk, A. I. (2012). Effectiveness of the breeding program for winter durum wheat. *Collection of scientific papers of the Plant Breeding & Genetics Institute – National Center of Seeds and Cultivar Investigation*, 20, 44–55. [In Ukrainian]
11. Álvaro, F., Isidro, J., Villegas, D., García del Moral, L. F., & Royo, C. (2008). Old and modern durum wheat varieties from Italy and Spain differ in main spike components. *Field Crops Research*, 106(1), 86–93. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2007.11.003>
12. Palamarchuk, A. I. (1990). Breeding of intensive type durum winter wheat varieties to increase adaptation potential. In *Proceedings of International Symposium “Wheat Breeding-Prospects and Future Approaches”* (pp. 71–75). Albena, Bulgaria, Institute for Wheat and Sunflower.
13. Palamarchuk, A. I. (2013). Yield potential and grain yield stability in durum winter wheat varieties in Ukraine. In *Proceedings of International Symposium “Genetics and Breeding of Durum Wheat”* (p. 51). Rome, Italy.
14. Ivanisova, A., Marchenko, D., Kostylenko, O., Dubinina, O., & Antonenko, L. (2023). Studying varieties of winter durum wheat in interstation test on economic and valuable features. *E3S Web of Conferences*, 413, Article 01007. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202341301007>
15. Gyrka, A. D., Gasanova, I. I., Gyrka, T. V., & Bokun, O. I. (2018). Growth, development and productivity of winter wheat depending on the soil tillage and sowing systems. *Grain Crops*, 2(1), 88–93. <https://doi.org/10.31867/2523-4544/0012>
16. Korkhova, M., Panfilova, A., Domaratskiy, Y., & Smirnova, I. (2023). Productivity of winter wheat (*T. aestivum*, *T. durum*, *T. spelta*) depending on varietal characteristics in the context of climate change. *Ecological Engineering and Environmental Technology*, 24(4), 236–244. <https://doi.org/10.12912/27197050/163124>
17. Budzyński, W. S., Bepirszcz, K., Jankowski, K. J., Dubis, B., Hłasko-Nasalska, A., Sokółski, M. M., Olszewski, J., & Załuski, D. (2018). The responses of winter cultivars of common wheat, durum wheat and spelt to agronomic factors. *The Journal of Agricultural Science*, 156(10), 1163–1174. <https://doi.org/10.1017/S0021859619000054>
18. Melnyk, T. V., Yarchuk, I. I., & Masliiov, S. V. (2019). Efficiency of cultivation of hard winter wheat of variety Kontynent in conditions of the northern Steppe of Ukraine. *Grain Crops*, 3(1), 45–51. <https://doi.org/10.31867/2523-4544/0059>
19. State register of plant varieties suitable for dissemination in Ukraine. (2025). <https://minagro.gov.ua/file-storage/reystyr-sortiv-roslyn> [In Ukrainian]

УДК 633.112.1:631.527:474.4

Паламарчук А. І., Коджебаш В. Ф.* Сортовий потенціал пшениці твердої озимої в Україні. *Plant Varieties Studying and Protection*. 2025. Т. 21, № 2. С. 64–69. <https://doi.org/10.21498/2518-1017.21.2.2025.337399>

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

Мета. Висвітлити результати багаторічних досліджень із селекції твердої озимої пшениці в Селекційно-генетичному інституті – Національному центрі насіннєзнавства та сортівивчення (СГІ – НЦНС). **Методи.** Багаторазова внутрішньовидова та міжвидова (з сортами та формами пшениці м'якої) гібридизація, зокрема й інтрогресивна гібридизація для створення бажаних генотипів. Оцінювання одержаних ліній та гібридів за низкою біологічних і господарських ознак (зимо- та посухостійкістю, стійкістю проти основних хвороб, умістом білка в зерні та його склоподібністю). **Результати.** Протягом останніх 65 років в Україні відбулося шість сортозмін твердої озимої пшениці, а провідна роль у сортименті завжди належала сортам селекції СГІ – НЦНС. Їхнє створення було сконцентровано на інтрогресії генів карликовості та алелів із низькою фотоперіодичною чутливістю, поліпшенні квіткової фертильності, підвищенні стійкості проти біотичних та абіотичних стресів. Нові сорти (VI сортозміни) є різновидами пшениці твердої озимої *leucurum* ('Лайнер', 'Шляхетний', 'Блискучий', 'Алмазний', 'Янтарний',

'Кришталевий', 'Золотистий', 'Мармуровий', 'Сріблястий'), *hordeiforme* ('Ареал одеський', 'Гранатовий') та *leucomelan* ('Престижний', 'Яскравий'). Всі вони належать до інтенсивного типу, характеризуються універсальністю використання, високою стійкістю проти вилягання, посухи та найбільш поширених хвороб і середньою або вищою за середню морозостійкістю. Їхнє зерно має високу склоподібність і високий або вище за середній уміст протеїну. **Висновки.** Сорти пшениці твердої озимої V сортозміни 'Гардемарин', 'Бурштин', 'Континент', 'Крейсер', 'Лінкор' та 'Босфор' добре зарекомендували себе в сільськогосподарському виробництві Степу та Лісостепу України, а тому нині є найпоширенішими у цих ґрунтово-кліматичних зонах. Поступово набувають розповсюдження й нові сорти VI сортозміни 'Ареал одеський', 'Лайнер', 'Престижний', 'Шляхетний', 'Блискучий', 'Яскравий', 'Алмазний', 'Янтарний', 'Кришталевий', 'Гранатовий', 'Мармуровий', 'Золотистий' і 'Сріблястий', виведені в СГІ – НЦНС.

Ключові слова: сорти пшениці твердої озимої; селекція; якість зерна; сортозміна.

Надійшла / Received 17.06.2025
Погоджено до друку / Accepted 05.07.2025

Мікросателітний аналіз генотипів нуту звичайного (*Cicer arietinum* L.)

Н. Е. Волкова^{1,2,3*}, Г. І. Сліщук^{1,2,3}, Т. Ю. Марченко^{2,3}, Р. А. Вожегова²

¹ТОВ «КОТЕКНА УКРАЇНА ЛІМІТЕД», вул. Люстдорфська дорога, 140-А, м. Одеса, 65114, Україна,

*e-mail: natalia.volkova@cotecna.com

²Інститут кліматично орієнтованого сільського господарства НААН України, вул. Маяцька дорога, 24, смт Хлібодарське, Одеський р-н, Одеська обл., 67667, Україна

³Одеська державна сільськогосподарська дослідна станція Інституту кліматично орієнтованого сільського господарства НААН України, вул. Маяцька дорога, 24, смт Хлібодарське, Одеський р-н, Одеська обл., 67667, Україна

Мета. Виявити поліморфізм генотипів нуту за мікросателітними локусами QTL-hotspot-регіону групи зчеплення 4, пов'язаного з толерантністю до посухи. **Методи.** Екстрагування та очищення ДНК із проростків ЦТАБ-методом; полімеразна ланцюгова реакція; горизонтальний гель-електрофорез; визначення розмірів продуктів ампліфікації за допомогою додатка «GelAnalyzer»; кластерний аналіз із використанням програми «MEGA12». **Результати.** У 26 проаналізованих зразків із колекції Міжнародного науково-дослідного інституту сільськогосподарських культур у напівзасушливих тропіках (International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics, ICRISAT) встановлено наявність від одного до восьми алелів мікросателітних (МС) локусів ICCM0249, NCPGR127, TAA170, NCPGR21, TA130, STMS11 QTL-hotspot-регіону групи зчеплення 4 геному нуту. Розподіл ідентифікованих алелів було порівняно з таким у вибірках *Cicer arietinum* L. різних центрів селекції, зокрема й українського. Для 26 зразків ICRISAT і семи виведених в Україні сортів розраховано генетичні дистанції та побудовано дендрограму, на якій їх згруповано у сім кластерів. Сорти вітчизняної селекції сформували окремий кластер. **Висновки.** Досліджені зразки нуту колекції ICRISAT є поліморфними за МС локусами ICCM0249, TAA170 і TAA130 з трьома, п'ятьма та вісьмома алелями відповідно й неpolіморфними за STMS11, NCPGR127 та NCPGR21. Цей розподіл поліморфних і неpolіморфних алелів збігається з таким у вибірці сортів нуту української селекції. Останні за результатами кластерного аналізу сформували окрему групу, що може свідчити про різне походження генетичного матеріалу та відмітні напрями селекційного процесу, як порівняти зі зразками колекції ICRISAT.

Ключові слова: нут; толерантність до посухи; поліморфізм; мікросателітні локуси; ПЛР.

Вступ

Зміни клімату, а саме: зменшення кількості опадів, підвищення температурного фону та зростання частоти екстремальних погодних явищ, серйозно впливають на аграрну сферу, оскільки порушують стабільність ви-

рощування сільськогосподарських культур, ставлять під загрозу продовольчу безпеку та знижують ефективність виробництва.

Вологозабезпеченість і температурний режим – це основні чинники, від яких залежить урожайність сільськогосподарських культур, зокрема й нуту. До зниження її рівня та втрат урожаїв за збирання призводять часті атмосферні та ґрунтові посухи й тривалі періоди аномальної спеки, характерні для сучасного клімату. Найбільш відчутною ця проблема є у стратегічно важливих аграрних регіонах світу.

Нут (*Cicer arietinum* L.) – перспективна бобова культура, що набуває все більшого значення в умовах глобальних кліматичних змін завдяки своїй здатності формувати високу та

Nataliia Volkova

<http://orcid.org/0000-0002-9333-4872>

Heorhii Slisichuk

<http://orcid.org/0000-0003-4245-8557>

Tetiana Marchenko

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

Raisa Vozhehova

<https://orcid.org/0000-0002-3895-5633>



© 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.

стабільну врожайність навіть за недостатнього зволоження. Утім, попри стійкість проти посухи та спеки, для нуту можливе втрачання понад 30% урожаю через ці погодні явища залежно від фаз росту й розвитку, на які вони припадають. Зокрема, зменшуються загальна біомаса та чисельність бобів, кількість, маса та якість насіння [1]. Ефективна адаптація потребує поєднання технологічних новацій, удосконалення сільськогосподарських практик і проведення проактивних політичних заходів для забезпечення сталого продовольчого виробництва за постійних змін клімату.

Фізіологічні та біохімічні реакції нуту на посуху є різноманітними. Так, підвищується рівень проліну, цукрів, гліцину, бетаїну та активність антиоксидантних ензимів, що допомагає послабити наслідки стресу [2, 3]. Стійкість проти посухи забезпечується кількома генетичними механізмами. А саме: генами, залученими в регуляцію ауксину, генами з «цинковими пальцями» (*англ.* zinc finger knuckle), а також тими, що кодують білки теплового шоку (*англ.* heat shock proteins, HSP) [4–8]. Молекулярні маркери, розроблені на основі аналізу поліморфізму цих генів, можуть використовуватися в селекційних програмах для створення стійких проти посухи сортів.

У групі зчеплення 4 геному нуту (CaLG04) ідентифіковано геномну область, що містить локуси кількох ознак, пов'язаних із толерантністю до посухи, та відповідає за 58,2% фенотипових варіацій, – QTL-hotspot-region [9]. Унаслідок його інтрогресії в елітні сорти нуту індійської селекції з використанням маркеропосередкованого беккросингу (*англ.* Marker-assisted backcrossing, MABC) вдалося в умовах нестачі води на 16% (як порівняти з рекурентними батьківськими генотипами) збільшити врожайність насіння інтрогредованих ліній та поліпшити деякі властивості коренів (загальну довжину, її щільність, площу поверхні та об'єм) [10]. Також у цьому QTL-hotspot-regionі встановлено наявність мікросателітних (МС) послідовностей (*англ.* Simple Sequences Repeats, SSR), за якими можна аналізувати генотипи нуту для оцінювання посухотолерантності. Зокрема, було досліджено вибірки зразків з Європи (України, Молдови, Іспанії, Італії, Угорщини, Чехії), Азії (Індії, Узбекистану), Америки (США, Канади) та Африки (Ефіопії) [11–14]. Автори цієї роботи за шістьма МС локусами вказаного регіону (ICCM0249, NCPGR127, TAA170, NCPGR21, TA130 і STMS11) проаналізували сім сортів нуту української селекції [15]. Було встановлено п'ять типів комбінацій алелів та

ідентифіковано – у сорту 'Пам'ять' – унікальний для досліджуваної вибірки алель.

Мета досліджень – виявити поліморфізм генотипів нуту за мікросателітними локусами QTL-hotspot-regionу групи зчеплення 4, пов'язаного з толерантністю до посухи.

Матеріали та методика досліджень

Матеріалом для досліджень слугували 26 зразків нуту з колекції Міжнародного науково-дослідного інституту сільськогосподарських культур у напівзасушливих тропіках (*англ.* International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics, ICRISAT). Екстрагування та очищення ДНК виконували з 20 семидобових етиольованих проростків ЦТАБ-методом [16]. Визначення концентрації та оцінювання якості екстрагованої ДНК здійснювали методом спектрофотометрії на спектрофлуориметрі «DeNovixDS-11 FX+» (DeNovix, США).

Полімеразну ланцюгову реакцію (ПЛР) проводили на термоциклері «QuantStudio 5 Real-Time PCR System» (Applied Biosystem, США). Температурно-часові умови МС аналізу: 1 цикл – 95 °C, 5 хв; 35 циклів – 95 °C, 30 с, 55 °C, 30 с, 72 °C, 1 хв; 1 цикл – 72 °C, 7 хв. Реакційна суміш об'ємом 25 мкл містила 1× суміш iTaq Universal Probes Supermix (BioRad, США), по 150 нМ прямого та зворотного праймерів (Metabion, Німеччина) і 50 нг досліджуваної ДНК (для контролю екстрагування – 5 мкл відповідного розчину, для безматричного контролю – 5 мкл ТЕ-буфера). Послідовності праймерів до МС локусів наведено в дослідженні [11].

Температурно-часові умови ПЛР у режимі «реального часу» (РЧ-ПЛР): 10 хв, 95 °C – перша елонгація та активація Таq-полімерази, 40 циклів 95 °C, 15 с; 60 °C, 1 хв – зчитування флуоресцентного сигналу, температурний інкремент – 1,6 °C/с. Реакційна суміш об'ємом 25 мкл містила 1× суміш iTaq Universal Probes Supermix (BioRad, США), по 150 нМ прямого та зворотного праймерів і 50 нМ зонду (Metabion, Німеччина), 50 нг досліджуваної ДНК.

Отримані фрагменти ампліфікації розділяли методом горизонтального електрофорезу у тривідсотковому агарозному гелі (Agarose Wide Range, Serva, Німеччина) в 1× трисборатному буфері (TBE buffer 10×, Serva, Німеччина) за напруженості електромагнітного поля 2 В/см протягом 4 годин. Для забарвлення гелів використовували 0,5 мкг/мл розчин етидію броміду (Sigma-Aldrich, США). Маркерами молекулярної маси слугували pUC19/MspI (HpaII) (ThermoScientific, США) та 50 bp

DNA Ladder RTU (Cleaver Scientific, Велика Британія). Розміри фрагментів ампліфікації розраховували за допомогою програми «GelAnalyzer» (ліцензія не потрібна) [17].

Кожен зразок аналізували у двох повтореннях ампліфікації. Безматричний контроль та контроль екстрагування аналізували для оцінювання контамінації.

За результатами електрофоретичного розподілу фрагментів ампліфікації розраховували генетичні дистанції. У програмі «MEGA12» (ліцензія не потрібна) виконували графічну побудову дендрограми, застосовуючи методи об'єднання сусідів (*англ.* Neighbor-Joining) і максимальної композиційної правдоподібності (*англ.* Maximum Composite Likelihood) [18–20]. До кластерного аналізу було включено дані алейного розподілу МС локусів у вибірці сортів української селекції.

Результати досліджень

Щоб виключити псевдонегативні результати та одержати змогу виявляти нуль-алелі МС локусів, оцінили здатність екстрагованої ДНК до ампліфікації методом ПЛР у режимі «реального часу». Для цього застосували

TaqMan-систему праймерів і зонду до гена 18S rRNA еукаріот. Було відмічено наявність ампліфікації (Ct 23–25) в усіх зразках нуту та її відсутність у контролі екстрагування й безматричному контролі. Це дало змогу використати отримані зразки ДНК для подальшого аналізу за МС локусами.

Для вивчення поліморфізму генотипів нуту аналізували МС локуси QTL-hotspot-регіону – ICCM0249, NCPGR127, TAA170, NCPGR21, TA130 і STMS11. У контролі екстрагування та безматричному контролі не виявлено ампліфікації за жодним із досліджених локусів, що свідчить про відсутність контамінації на стадіях екстрагування ДНК та ампліфікації.

У межах аналізованої вибірки сортів неполіморфними виявилися МС локуси STMS11, NCPGR127, NCPGR21 – детектовано по одному алелю кожного з них розмірами 235, 200, 150 п. н. відповідно (табл. 1). Поліморфними були ICCM0249, TAA170 і TAA130 – у них ідентифіковано три, п'ять і вісім алелів відповідно. Нуль-алель трапився лише раз, за МС локусом TAA170 в одного генотипу – зразка № 96.

Таблиця 1

Алейний склад мікросателітних локусів у досліджених генотипів нуту

Зразок	Розміри алелів мікросателітних локусів, п. н.					
	ICCM0249	TAA170	STMS11	NCPGR127	NCPGR21	TA130
40	220, 220	260, 260	235, 235	200, 200	150, 150	220, 220
42	160, 160	220, 220	235, 235	200, 200	150, 150	220, 220
46	220, 220	260, 260	235, 235	200, 200	150, 150	220, 220
52	220, 220	220, 220	235, 235	200, 200	150, 150	220, 235
53	220, 220	260, 260	235, 235	200, 200	150, 150	220, 240
54	220, 220	220, 220	235, 235	200, 200	150, 150	220, 220
83	200, 200	280, 280	235, 235	200, 200	150, 150	210, 220
84	180, 180	260, 260	235, 235	200, 200	150, 150	220, 220
85	180, 180	260, 260	235, 235	200, 200	150, 150	220, 235
86	180, 180	260, 260	235, 235	200, 200	150, 150	220, 235
87	160, 160	240, 240	235, 235	200, 200	150, 150	220, 225, 240
88	160, 160	240, 260	235, 235	200, 200	150, 150	210, 220, 240
89	160, 160	220, 220	235, 235	200, 200	150, 150	210, 210
90	160, 220	240, 260	235, 235	200, 200	150, 150	220, 230
91	160, 220	260, 260	235, 235	200, 200	150, 150	210, 225
92	220, 220	260, 260	235, 235	200, 200	150, 150	220, 220
93	220, 220	280, 280	235, 235	200, 200	150, 150	215, 230
94	220, 220	260, 260	235, 235	200, 200	150, 150	220, 230
95	160, 160	260, 280	235, 235	200, 200	150, 150	210, 220
96	200, 200	null, null	235, 235	200, 200	150, 150	230, 240
97	200, 200	260, 260	235, 235	200, 200	150, 150	220, 230
98	200, 200	260, 260	235, 235	200, 200	150, 150	220, 230
99	200, 200	260, 260	235, 235	200, 200	150, 150	220, 235
100	180, 200	260, 260	235, 235	200, 200	150, 150	220, 230
101	200, 200	260, 260	235, 235	200, 200	150, 150	220, 230, 250
102	200, 200	280, 280	235, 235	200, 200	150, 150	215, 230

За результатами мікросателітного аналізу побудовано дендрограму (рис. 1). На ній утворились сім кластерів та одна гілка (зразок № 99). Окремий кластер, в який потрапив зразок № 100, сформували вітчизняні сорти.

Це може свідчити про генетичну специфічність та особливості походження вихідного селекційного матеріалу нуту, з яким проводили добір та селекцію в кліматичних умовах українського Степу.

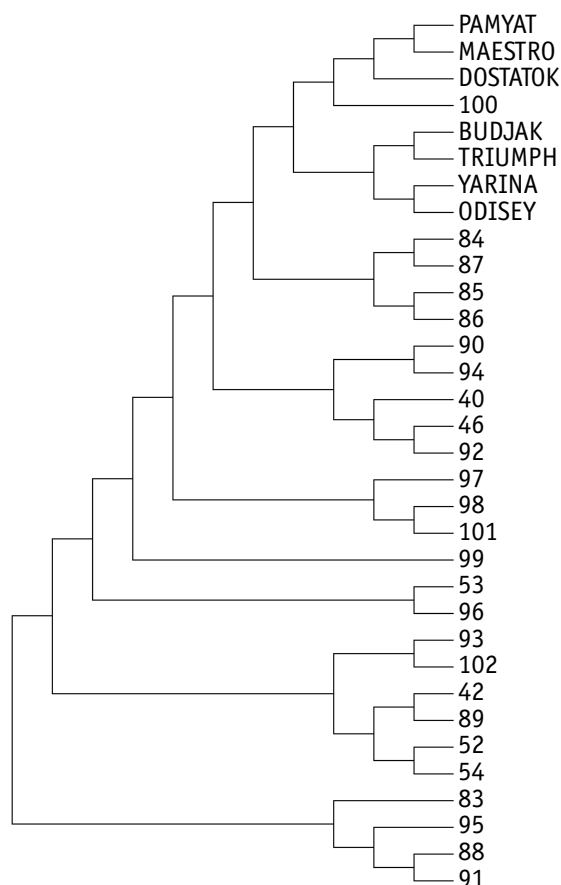


Рис. 1. Дендрограма за результатами кластерного аналізу зразків нуту за даними алельного розподілу МС локусів

Для встановлення можливої залежності кількості та розмірів виявлених алелів від певного центру селекції було проведено порівняння алельного розподілу МС локусів у різних вибірках зразків нуту [11–15] (табл. 2).

Кількість виявлених алелів зростала зі збільшенням чисельності проаналізованих генотипів, що пов'язано з розширенням генетичної мінливості. Алель 160 п. н. локусу

ICSM0249, детектований у цьому дослідженні, не виявлено за аналізу інших вибірок [11, 12, 15]. Також у цій роботі, на відміну від інших [11–13, 15], зафіксовано нуль-алель в одного генотипу – для локусу TAA170. Дані щодо розміру алеля (235 п. н.) для локусу STMS11, мономорфного в цьому дослідженні, відрізнялися від наведених в інших публікаціях – як в [11], де він теж був мономорфним, так і у [12, 13], де його визначено як поліморфний. Стосовно мономорфного локусу NCPGR127, то розмір алеля (200 п. н.) збігався з таким у вибірці 33 «desi» генотипів [11], але був відсутнім у вибірці 118 генотипів [13]. Алель розміром 150 п. н. неполіморфного в цій роботі локусу NCPGR21 траплявся в усіх порівнюваних вибірках [11–15]. Щодо TA130, алелів розмірами 210 та 215 п. н. не було в жодній з інших вибірок, а 220 та 230 п. н. траплялися в [11, 15]. Алелі 230, 235, 240 та 250 п. н. могли бути присутніми у вибірці 118 генотипів [13], утім автори вказали лише діапазон виявлених розмірів: 224–289 п. н. Отже, МС локусу TA130 властивий високий рівень поліморфізму як за даними цього дослідження (унікальний алель 185 п. н., детектований у вибірці сортів української селекції, та вісім інших алелів), так і за результатами аналізу інших вибірок (наприклад, 22 алелі [13]). Алель 185 п. н. локусу TA130, ідентифікований у сорту 'Пам'ять', міг бути присутнім серед чотирьох, виявлених у вибірці 36 генотипів [12]. Але автори надали інформацію лише про кількість і діапазон ідентифікованих алелів (чотири алелі розміром 170–190 п. н.). Варто зазначити, що за порівняння розподілу алелів у вибірках сортів української селекції та колекції ICRISAT (рис. 1) різницю встановлено тільки за МС локусами ICSM0249 та TA130 – наявність алелів 200 та 185 п. н. відповідно.

Таблиця 2

Порівняння алельного складу мікросателітних локусів у генотипів нуту різних вибірок

Вибірка генотипів	Кількість та розміри алелів мікросателітних локусів, п. н.					
	ICSM0249	TAA170	STMS11	NCPGR127	NCPGR21	TA130
33 «desi» генотипів [11]	три 170, 180, 200	чотири 220, 240, 260, 280	один 220	два 200, 210	три 150, 170, 190	три 200, 220, 230
36 генотипів [12]	п'ять 280–300	три 200–220	три 195–220	–	–	чотири 170–190
118 генотипів [13]	–	13 208–276	15 192–232	12 229–262	10 132–159	22 224–289
118 зразків [14]	–	–	–	–	шість 135, 145, 150, 155, 160, 180	–
7 сортів української селекції [15]	два 180, 200	три 240, 260, 280	один 235	один 200	один 150	три 185, 220, 230
26 генотипів (це дослідження)	три 160, 180, 220	п'ять null, 220, 240, 260, 280	один 235	один 200	один 150	вісім 210, 215, 220, 225, 230, 235, 240, 250

Можна зробити висновок, що групування в окремий кластер сортів, виведених в Україні, спричинено відмінним від зразків ICRISAT генетичним походженням (та іншими напрямками селекції), підтвердженим очікуваною у такому випадку різницею в алельному складі досліджених локусів. Маркери, розташовані в QTL-hotspot-регіоні, є перспективними для оцінювання генотипів нуту та застосування в маркер-опосередкованому доборі у процесі селекції генотипів, толерантних проти абіотичних факторів, зокрема посухи.

Висновки

26 досліджених зразків нуту колекції ICRISAT є поліморфними за MC локусами ICCM0249, TAA170 і TAA130 з трьома, п'ятьма та вісьмома алелями відповідно й не поліморфними за STMS11, NCPGR127 та NCPGR21. Цей розподіл алелів на моно- та поліморфні збігається з таким у вибірці сортів нуту української селекції. Останні за результатами кластерного аналізу сформували окрему групу, що може свідчити про різне походження генетичного матеріалу та відмітні напрями селекційного процесу, як порівняти зі зразками колекції ICRISAT.

References

- Koloianidi, N. O. (2024). Productivity and quality of chickpea under conditions of water deficit. *Plant Physiology and Genetics*, 56(6), 515–528. <https://doi.org/10.15407/frg2024.06.515>
- Keerthi Sree, Y., Lakra, N., Manorama, K., Ahlawat, Y., Zaid, A., Elansary, H. O., Sayed, S. R. M., Rashwan, M. A., & Mahmoud, E. A. (2023). Drought-Induced Morpho-Physiological, Biochemical, Metabolite Responses and Protein Profiling of Chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Agronomy*, 13(7), Article 1814. <https://doi.org/10.3390/agronomy13071814>
- Asati, R., Tripathi, M. K., Yadav, R. K., Tripathi, N., Sikarwar, R. S., & Tiwari, P. N. (2024). Investigation of Drought Stress on Chickpea (*Cicer arietinum* L.) Genotypes Employing Various Physiological Enzymatic and Non-Enzymatic Biochemical Parameters. *Plants*, 13(19), Article 2746. <https://doi.org/10.3390/plants13192746>
- Li, Y., Ruperao, P., Batley, J., Edwards, D., Khan, T., Colmer, T. D., Pang, J., Siddique, K. H. M., & Sutton, T. (2018). Investigating Drought Tolerance in Chickpea Using Genome-Wide Association Mapping and Genomic Selection Based on Whole-Genome Resequencing Data. *Frontiers in Plant Science*, 9, Article 190. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00190>
- Khassanova, G., Oshergina, I., Ten, E., Jatayev, S., Zhanbyrshina, N., Gabdola, A., Gupta, N., Schramm, C., Pupulin, A., Philp-Dutton, L., Anderson, P., Sweetman, C., Jenkins, C., Soole, K., & Shavruk, Y. (2024). Zinc finger knuckle genes are associated with tolerance to drought and dehydration in chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Frontiers in Plant Science*, 15, Article 1354413. <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1354413>
- Singh, V., Gupta, K., Singh, S., Jain, M., & Garg, R. (2023). Unravelling the molecular mechanism underlying drought stress response in chickpea via integrated multi-omics analysis. *Frontiers in Plant Science*, 14, Article 1156606. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1156606>
- Slisichuk, H. I., Volkova, N. E., Vozhehova, R. A., & Marchenko, T. Y. (2025). Role of heat shock proteins in drought tolerance mechanism in chickpea. *Plant Physiology and Genetics*, 57(1), 18–26. <https://doi.org/10.15407/frg2025.01.018>
- Slisichuk, H. I., & Volkova, N. E. (2025). Molecular mechanisms of chickpea responses to drought stress (minireview). *Biopolymers and Cell*, 41(1), 13–22. <https://doi.org/10.7124/bc.000b0c>
- Varshney, R. K., Thudi, M., Nayak, S. N., Gaur, P. M., Kashiwagi, J., Krishnamurthy, L., Jaganathan, D., Koppolu, J., Bohra, A., Tripathi, S., Rathore, A., Jukanti, A. K., Jayalakshmi, V., Vemula, A., Singh, S. J., Yasin, M., Sheshshayee, M. S., & Viswanatha, K. P. (2013). Genetic dissection of drought tolerance in chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Theoretical and Applied Genetics*, 127(2), 445–462. <https://doi.org/10.1007/s00122-013-2230-6>
- Barmukh, R., Roorkiwal, M., Dixit, G. P., Bajaj, P., Kholova, J., Smith, M. R., Chitkineni, A., Bharadwaj, C., Sreeman, S. M., Rathore, A., Tripathi, S., Yasin, M., Vijayakumar, A. G., Rao Sagurthi, S., Siddique, K. H. M., & Varshney, R. K. (2022). Characterization of 'QTL-hotspot' introgression lines reveals physiological mechanisms and candidate genes associated with drought adaptation in chickpea. *Journal of Experimental Botany*, 73(22), 7255–7272. <https://doi.org/10.1093/jxb/erac348>
- Chahande, R. V., Kulwal, P. L., Mhase, L. B., & Jadhav, A. S. (2021). Validation of the markers linked with drought tolerance related traits for use in MAS programme in chickpea. *Journal of Genetics*, 100(2), Article 74. <https://doi.org/10.1007/s12041-021-01324-z>
- Singh, D., Pushpavalli, S. N. C. V. L., Vanisri, S., & Kumar, G. A. (2021). Assessment of genetic diversity in chickpea genotypes (*Cicer arietinum* L.) using agro-morphological and SSR markers. *The Pharma Innovation Journal*, 10(8), 784–791.
- Getahun, T., Tesfaye, K., Fikre, A., Hailelassie, T., Chitkineni, A., Thudi, M., & Varshney, R. K. (2021). Molecular genetic diversity and population structure in Ethiopian chickpea germplasm accessions. *Diversity*, 13(6), Article 247. <https://doi.org/10.3390/d13060247>
- Akinina, G., & Popov, V. (2014). Genetic structure of collection of chickpea varieties by morphological and molecular markers. *Visnyk of the Lviv University. Series Biology*, 64, 170–176. [In Ukrainian]
- Volkova, N. E., Slisichuk, G. I., Zakharova, O. O., Marchenko, T. Yu., Sichkar, V. I., & Vozhehova, R. A. (2023). Analysis of chickpea (*Cicer arietinum* L.) genotypes by microsatellite loci of the QTL-hotspotregion associated with drought tolerance. *Plant Varieties Studying and Protection*, 19(4), 226–231. <https://doi.org/10.21498/2518-1017.19.4.2023.291223>
- Rogers, S., & Bendich, A. (1989). Extraction of DNA from plant tissues. In S. B. Gelvin, R. A. Schilperoort, & D. P. S. Verma (Eds.), *Plant Molecular Biology Manual* (pp. 73–83). Springer. https://doi.org/10.1007/978-94-009-0951-9_6
- GelAnalyzer 23.1.1 (available at www.gelanalyzer.com) by Istvan Lazar Jr., PhD and Istvan Lazar Sr., PhD, CSc.
- Saitou, N., & Nei, M. (1987). The neighbor-joining method: A new method for reconstructing phylogenetic trees. *Molecular Biology and Evolution*, 4(4), 406–425. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.molbev.a040454>
- Tamura, K., Nei, M., & Kumar, S. (2004). Prospects for inferring very large phylogenies by using the neighbor-joining method. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 101(30), 11030–11035. <https://doi.org/10.1073/pnas.0404206101>
- Kumar, S., Stecher, G., Suleski, M., Sanderford, M., Sharma, S., & Tamura, K. (2024). MEGA12: Molecular Evolutionary Genetic Analysis Version 12 for Adaptive and Green Computing. *Molecular Biology and Evolution*, 41(12), Article msae263. <https://doi.org/10.1093/molbev/msae263>

UDC 577.21:575.22:581.6

Volkova, N. E.^{1,2,3*}, Slisichuk, G. I.^{1,2,3}, Marchenko, T. Yu.^{2,3}, & Vozhehova, R. A.² (2025). Microsatellite analysis of chickpea (*Cicer arietinum* L.) genotypes. *Plant Varieties Studying and Protection*, 21(2), 70–75. <https://doi.org/10.21498/2518-1017.21.2.2025.333450>

¹COTECNA UKRAINE LIMITED, 140-A Lustdorfska doroha St., Odesa, 65114, Ukraine, *e-mail: natalia.volkova@cotecna.com

²Institute of Climate-Smart Agriculture of the NAAS of Ukraine, 24 Maiatska doroha St., Hlibodarske village, Odesa district, Odesa region, 67667, Ukraine

³Odesa State Agricultural Experimental Station of Institute of Climate-Smart Agriculture of the NAAS of Ukraine, 24 Maiatska doroha St., Hlibodarske village, Odesa district, Odesa region, 67667, Ukraine

Purpose. To investigate the polymorphism of chickpea genotypes at microsatellite loci within the QTL-hotspot region of linkage group 4, associated with drought tolerance.

Methods. DNA extraction and purification from seedlings using the CTAB method; polymerase chain reaction; horizontal gel electrophoresis; determination of amplification product sizes using the “GelAnalyzer” software; cluster analysis using the “MEGA12” software. **Results.** Of the 26 samples analyzed from the International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics (ICRISAT) collection, one to eight alleles were identified at the following microsatellite (SSR) loci within the QTL-hotspot region of linkage group 4 in the chickpea genome: ICCM0249, NCPGR127, TAA170, NCPGR21, TA130 and STMS11. The distribution of SSR locus alleles in the samples under study was compared with that in chickpea samples from various breeding centers, including those in Ukraine. Genetic distances were calculated for the 26 ICRISAT samples and seven Ukrainian varieties. A dendrogram was constructed which grouped the samples into seven clusters; the Ukrainian chickpea varieties formed a separate cluster. **Conclusions.** The chickpea samples from the ICRISAT collection were found to be polymorphic at SSR loci ICCM0249, TAA170, and TAA130, with three, five, and eight alleles respectively, and monomorphic at three SSR loci: STMS11, NCPGR127, and NCPGR21. This distribution of polymorphic and monomorphic alleles corresponded to that observed in the Ukrainian chickpea varieties. Cluster analysis revealed that the Ukrainian varieties formed a distinct group, suggesting differences in genetic origin and breeding approaches compared to the ICRISAT collection.

Keywords: chickpea; drought tolerance; polymorphism; microsatellite loci; PCR.

Надійшла / Received 22.04.2025
Погоджено до друку / Accepted 13.06.2025

Creation of source for marking and mapping of frost resistance QTL in winter barley

V. I. Fait*, M. S. Balvinska, P. O. Feoktistov, S. V. Havrylov, V. R. Fedorova

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

Purpose. Creation the sets of recombinant-inbred lines for marking and mapping of frost resistance QTL in winter barley. **Methods.** Hybridization, artificial vernalization, growing plants under long-day conditions in phytotron light chambers and on a plot of land under natural daylight duration condition, DNA isolation with using a CTAB-buffer, spectrophotometric determination of DNA concentration, polymerase chain reaction with direct primers, agarose and polyacrylamide gels electrophoresis, method of mathematical statistics chi-square test (χ^2). **Results.** Using the SSD (single seed descent) method with maximum avoidance of selection, a set of 265 recombinant inbred lines F_9 from the cross combination of the varieties 'Khutorok' / 'Grabe' was created, differing in the level of frost resistance, the type of development and other traits. The creation of RIL from the crossing of the varieties 'Akademichnyi' / 'Luran' (170 lines F_4) and 'Timofey' / 'Snihoa Koroleva' (145 lines F_5) is still in progress. The polymorphism of parental genotypes for the 14 microsatellite loci of chromosome 5H, including those localized in the region of the *Fr-H1* and *Fr-H2* key genes of the main frost resistance QTL. The allelic differences between parental varieties in several cross combinations were detected for a number of the studied microsatellite loci. The inheritance pattern of polymorphic microsatellite loci alleles in F_1 hybrids from three cross combinations and individual plants from F_2 populations 'Akademichnyi' / 'Luran' was investigated. **Conclusions.** The created RILs are suitable for use in barley genetic studies for identification, labeling, mapping of the main genes and QTL of qualitative and quantitative traits, primarily frost resistance. Polymorphic microsatellite loci were identified, which can be used for further analysis of recombinant-inbred lines, manipulation of genetic diversity, tracing inheritance and studying the effects of their alleles by the level of frost resistance and other traits of barley.

Keywords: *Hordeum vulgare* L.; recombinant inbred lines; microsatellite loci; PCR analysis; frost resistance.

Introduction

Barley is a versatile crop, both in its terms of both its distribution and its uses. The varieties cultivated for production are classified as spring, winter and facultative (alternative or intermediate) according to their developmental type. Winter barley varieties are resistant to negative temperatures and require vernalization. Spring varieties are more sensitive to negative temperatures and do not respond to vernalization [1]. Both winter and spring barley varieties may have different levels of photoperiodic sensitivity. Facultative barley varieties are resistant to negative temperatures like winter varieties, but do not require vernaliza-

tion like spring varieties [2] and this group of varieties is characterised by a strong response to a reduction in day length [3].

Until the middle of the last century, only spring varieties of barley were grown in Ukraine. The first winter barley variety, 'Odeskyi 17', was developed by P. F. Harkavyi in 1955. However, 'Odeskyi 17' was not a typical winter variety; it was facultative, meaning it could be sown in autumn or spring. Since then, targeted breeding of winter and facultative varieties has been carried out. In the 1990s, winter barley varieties were cultivated only in four southern regions and the Republic of Crimea, covering 300,000 hectares. In recent decades, climate change has contributed to a significant increase in the area under this crop, which now exceeds 1 million hectares [4]. The increase in winter barley acreage has been observed not only in the Steppe zone, but also in the Forest-Steppe and Polissia regions [5].

Frost hardiness of winter spiked crops is a quantitative trait determined by a complex of physiological and biochemical features and anatomical and morphological characteristics. There is a connection between barley frost resistance and the response to vernalization and

Viktor Fait

<https://orcid.org/0000-0001-9994-341X>

Maryna Balvinska

<https://orcid.org/0000-0003-0404-9787>

Pavlo Feoktistov

<https://orcid.org/0000-0003-0752-6817>

Serhii Havrylov

<https://orcid.org/0000-0003-2177-3267>

Valentyna Fedorova

<https://orcid.org/0000-0001-5251-9611>



© 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.

photoperiod [6], light intensity and spectral composition [7], sugar accumulation [8], content of certain amino acids [9], plant height [10], xylem and stomatal cell size [11], and other traits. The contribution of individual indicators to the overall level of frost resistance depends on the biological characteristics of the genotype, the intensity of the manifestation and duration of the stress factor. Thus, the frost resistance of facultative varieties is primarily related to the reaction to the length of the day, and for typical winter varieties, the main determining factor is the duration of the vernalization stage [12]. Under conditions of shortened photoperiod, facultative varieties form a significantly higher level of frost resistance compared to typical winter varieties [13].

The breeding strategy for improving the resistance of typical winter barley and alternative types of development to unfavourable temperature conditions requires the development of theoretical foundations for the breeding of this crop [5]. The adaptability of plants to specific conditions can be significantly improved through the targeted manipulation of specific genes, following a detailed study of their effects on specially created, genetically identified material [14]. Such material can be recombinant inbred lines (RILs). Each RIL is a fixed combination of genes for different traits of the parental components of the cross. RILs are a powerful tool for genetic mapping and identifying qualitative trait genes with clear effects, as well as quantitative trait loci (QTL) with minor effects that vary depending on the conditions [15]. Recombinant inbred barley lines are widely used to study the effects of the *Vrn-H1*, *Vrn-H2* and *VRN-H3* genes on flowering time, plant height, biomass and yield [16], as well as the duration of vernalization [17]. They have also been used for mapping loci for quantitative traits such as earing date [18], plant height [19], grain weight and number [20], ear length [21], fusarium ear blight resistance [22], drought tolerance [23], root system traits [24], and for developing genetic maps [25].

The aim of the research is to create sets of recombinant-inbred lines for marking and mapping QTLs of frost resistance in winter barley.

Materials and methods of research

The varieties of winter barley ('Akademichnyi', 'Luran', 'Khutorok') and alternative types of development ('Grabe', 'Timofey', 'Snihoa Koroleva'), as well as their F_1 , F_2 and F_{3-8} interspecific hybrids, were used as the starting material. The 'Akademichnyi' and 'Snihoa Koroleva' varieties were developed at the Plant Breeding and Genetics Institute – National Centre for

Seed and Cultivar Research (Ukraine), while the others are of foreign origin, including the 'Luran' and 'Grabe' varieties from the Czech Republic. To prevent intra-varietal polymorphism, individual plants were selected from each crop and used for hybridization to obtain F_1 seeds.

The F_1 , F_2 and F_{3-8} seeds were germinated for five days at a temperature of 18 °C with 12 hours of daylight. The green sprouts were then subjected to artificial vernalization at a temperature of 2–4 °C and a day length of 16 hours for 30 days. After vernalization, the sprouts were planted in 5-litre growing vessels containing soil (10 plants per vessel) and cultivated in phytotron chambers at 21–24 °C during the day and 16–18 °C at night, under an extended photoperiod of 16 hours of daylight and 8 hours of darkness, or outdoors under natural conditions. During the growing season, the plants were regularly watered as needed and fertilized with a nitrophoska solution. Disease and pest control was also carried out. Seeds were collected separately from each plant at all stages of RIL creation, from F_1 to F_8 .

Recombinant-inbred lines were created by the sequential reseedling of hybrid combinations using the SSD (single-seed descent) method. To achieve this, 150–270 seeds were selected from the F_2 generation of each hybrid population and sown to produce the F_3 generation. One seed was also sown from each F_3 plant to obtain F_4 seeds, and so on. By the F_{6-8} generation, the plants are homozygous for most genes. These plants form the basis of constant lines that can be used for genetic analysis.

Total genomic DNA, suitable for PCR analysis, was extracted from 100 mg of leaves from the original parental genotypes and their progeny, using the Cetavlon method according to protocol [25]. The concentration and quality of the extracted DNA were determined using a Nanodrop ND-1000 spectrophotometer (Thermo Fisher Scientific, USA), according to the instructions. Samples of the extracted DNA were stored in a refrigerator at +4 °C throughout the study [25].

PCR analysis of DNA samples from barley genotypes was performed at the following microsatellite loci: Bmag812, Bmag0222, Bmag0223, Bmag0323, Bmac0337, Bmag0760, LOXC, GBM1166, GBM1227, GMS061, UMB702, Bmag0357 and Bmag0387 [26, 27]. These microsatellite loci were selected based on information from previous barley studies [26, 27], particularly those localized on the 5H chromosome containing the frost resistance QTL, primarily in the region of the main *Fr-H1* and *Fr-H2* genes. Alleles of the 5H chromosome microsatellites can potentially contribute to frost

resistance in barley genotypes. Where available, information on the quality of PCR products, the level of polymorphism (PIC, or Polymorphic Information Content) and genetic diversity was also taken into account.

PCR amplification was performed using a C1000 Touch thermocycler (Bio-Rad, USA). Commercial PCR reagents/kits (Thermo Fisher Scientific, USA) were used to prepare the PCR mixture: Taq DNA polymerase PCR buffer (10×) [200 mM Tris-HCl (pH 8.4), 500 mM KCl], MgCl₂ (50 mM), Dream Taq DNA polymerase (5 U/μl), dNTP mix (10 mM each), Tween-20 (Serva, Germany) and oligonucleotides (Metabion, Germany). The PCR reaction mixture (1×) in a volume of 25 μL contained: 50 mM KCl, 20 mM Tris-HCl (pH 8.4), 2 mM MgCl₂, 0.01% Tween 20, 0.2 mM each of dNTPs (deoxynucleoside triphosphates), 0.25 μM each of a pair of oligonucleotide primers, 50 ng of DNA and 0.5 units of *Taq* polymerase.

Each microsatellite region was amplified using specific primer pairs of oligonucleotide primers. The sequences of these primers and the PCR amplification conditions were described previously [26, 27].

The products of the PCR amplification reaction were separated by electrophoresis using 4% agarose and 10% PAGE gels in 1× TCE. To visualize the PCR-amplified DNA products in the agarose gels, an aqueous solution of ethidium bromide, an intercalating dye, was used at a final concentration of 0.5 μg/ml. This forms a stable compound with the DNA fragments that appear as bands when the gel is irradiated with UV light. To visualize the PCR products in the PAGE gel, a silver staining procedure was performed [25].

The Gel Doc XR+ visualisation system (Bio-Rad, USA) was used to document the electrophoretic distribution of PCR products in gels. The digitized gels were processed using ImageLab software, which is designed for basic and advanced image analysis. The size of the PCR products was determined relative to the 50 bp and/or 100 bp DNA Ladder molecular weight markers (Fermentas/Thermo Fisher Scientific, USA), which contain fragments of known sizes in bp covering the range of microsatellite locus allele sizes (100–400 bp).

The correspondence between the data obtained on the allele cleavage of polymorphic microsatellite (MS) loci in the F₂ population and the theoretically expected data was calculated using the chi-squared (χ^2) statistical method.

Research results

The success of genetic analysis depends on the genetic polymorphism of the trait under consi-

deration [15]. Therefore, winter barley varieties 'Akademichnyi', 'Luran', 'Khutorok' and facultative barley varieties 'Grabe', 'Timofey', 'Snihova Koroleva', which differed significantly in terms of frost resistance, were used as parental components for the initial crossing to create RILs [28]. 'Akademichnyi' has a high level of frost resistance, 'Khutorok' and 'Timofey' have an above-average level, 'Grabe' and 'Snihova Koroleva' have a below-average level, and 'Luran' has a low level. Since winter and facultative barley varieties form frost resistance through different physiological mechanisms [13], three crossing combinations were used to create RILs: 'Akademichnyi' / 'Luran' (winter / winter), 'Timofey' / 'Snihova Koroleva' (facultative / facultative) and 'Khutorok' / 'Grabe' (winter / facultative). In the first two combinations of crossings, the effects of alleles of genes/loci for resistance to low temperatures can be determined against the background of winter or alternative development, respectively. In the third combination, the differences in the varieties' developmental types are taken into account.

As a result of implementing the above scheme (see Materials and Methods), a set of 265 recombinant-inbred F₉ lines from the cross 'Khutorok' / 'Grabe' was created, and the creation of RILs from the crosses 'Akademichnyi' / 'Luran' (170 F₄ lines) and 'Timofey' / 'Snihova Koroleva' (145 F₅ lines) is ongoing. The main condition for creating RILs is to minimize the effect of selection for the trait under study as much as possible [29]. To avoid the effects of negative temperature on the reproduction of RIL generations, F₁₋₄ plants of the 'Khutorok' / 'Grabe' cross combination were grown in light chambers in the phytotron greenhouse (two generations per year). Plants F₅₋₉ of the 'Akademichnyi' / 'Luran' cross combination and F₁₋₅ of the 'Timofey' / 'Snihova Koroleva' cross combination were grown on the vegetation site during spring planting with spring sprouts.

In parallel with creating the RIL sets, we evaluated the polymorphism of the parental genotypes at 14 microsatellite loci (Bmag812, Bmag0222, Bmag0223, Bmag0323, Bmac0337, Bmag0760, LOXC, GBM1166, GBM1227, GMS061, UMB702, Bmag0357, Bmag0387 and Bmag0113a). These loci are located on chromosome 5H [26, 27], including in the area of the frost resistance QTL, particularly the main *Fr-H1* and *Fr-H2* genes [30]. The presence of polymorphism enables us to estimate the contribution of allelic differences at the studied microsatellite loci to the population of recombinant-inbred barley lines' overall frost resistance.

Of the microsatellite loci studied, nine out of 14 were found to be non-polymorphic. A 280 bp

allele was detected at the UMB702 locus in all six genotypes studied, as well as a 165 bp allele at the GBM1166 locus, a 123 bp allele at the Bmag0387 locus, a 145 bp allele at the Bmag0357 locus and 300/310 bp alleles at the GBM1227 locus. 190 bp and 153 bp alleles were detected at the Bmag812 and Bmag0113a loci, respectively. A 130 bp allele was detected at the Bmag0337 locus, and a 182 bp allele at the LOXC locus.

At the same time, microsatellite analysis of loci Bmag0223, Bmag0760, Bmag0222, GMS061 and Bmag0323 revealed polymorphisms in one or more crossing combinations between parental varieties. These polymorphic regions provide an opportunity to manipulate genetic diversity. For instance, allelic polymorphism between the parents was detected at the microsatellite locus Bmag0223 in the initial genotypes of the 'Akademichnyi' / 'Luran' combination. The parental genotype 'Akademichnyi' had a 160 bp allele, while the second parental genotype of this combination, 'Luran', had a 150 bp allele (Fig. 1B).

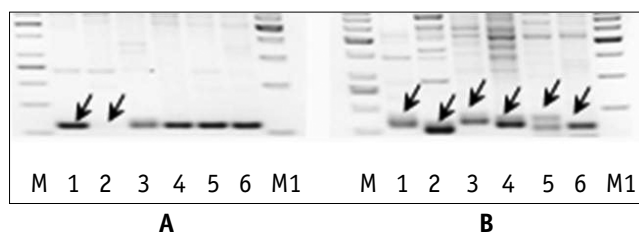


Fig. 1. Electrophoregram of DNA amplification products of the original barley parental genotypes at the microsatellite loci of chromosome 5H:

A – Bmag0760; B – Bmag0223; 1–6 – varieties: 'Akademichnyi' (1), 'Luran' (2), 'Snihova Koroleva' (3), 'Timofey' (4), 'Khutorok' (5), 'Grabe' (6); M – 50 bp DNA Ladder molecular weight marker, M1 – 100 bp DNA Ladder molecular weight marker

At the Bmag0760 locus, the varieties 'Akademichnyi' and 'Luran' had 110 bp and null alleles, respectively (Fig. 1A). At locus Bmag0222, 'Akademichnyi' exhibited genotypes with two different allelic variants, measuring 155 bp and 160 bp respectively. Only the 155 bp allele was detected in 'Luran'. Both varieties were also present at the GMS061 locus, with 145 bp and

140 bp alleles, respectively. At the Bmag0323 locus, the allelic difference between the parental genotypes of the 'Akademichnyi' / 'Luran' combination was not detected either. Both varieties were heterogeneous, carrying two 148 bp and two 165 bp alleles.

PCR analysis of two initial genotypes, 'Timofey' and 'Snihova Koroleva', revealed allelic polymorphism with the microsatellite marker Bmag0223 (160 and 170 bp alleles, respectively). Both parents exhibited heterogeneity at the Bmag0323 locus, with alleles of 148 bp and 160 bp. Alleles of 150 bp at the Bmag0222 locus, 110 bp at the Bmag0760 locus, and 145 bp at the GMS061 locus were also identified in both parental genotypes.

For the initial genotypes of the 'Khutorok' / 'Grabe' combination with the Bmag0223 microsatellite marker, a 127 bp allele was detected in 'Khutorok', and two allelic variants of 127 and 160 bp were detected in 'Grabe'. No allelic differences were found between the parental genotypes 'Khutorok' and 'Grabe' at other microsatellite loci. Both genotypes have the same allelic variants: 160 bp at the Bmag0222 locus; 110 bp at the Bmag0760 locus; 145 bp at the GMS061 locus; and 155/148 bp at the Bmag0323 locus.

The DNA of F_1 hybrids and individual plants from the F_2 populations of certain crossing combinations was analyzed at the above polymorphic MS loci. Thus, at the Bmag0223 locus, the presence of a combination of alleles of parental genotypes of 160/170 bp was observed in the F_1 hybrid plants 'Timofey' / 'Snihova Koroleva' (Table 1), as would be expected with codominant inheritance of a microsatellite marker. A similar pattern was observed for F_1 hybrids resulting from the cross between 'Akademichnyi' / 'Luran' with this microsatellite marker. Two alleles of 150/160 bp from both initial genotypes were detected in each of the studied F_1 plants.

One hundred and seventeen plants of the F_2 population 'Akademichnyi' / 'Luran' were identified according to the alleles of the microsatellite locus Bmag0223. The results of the analysis revealed that a 160 bp microsatellite allele of the Bmag0223 locus was present in 32 individual plants, a trait inherited from the 'Akademichnyi' parent (Fig. 2). A microsatellite

Table 1
Differences of parental varieties (P_1 , P_2) and genotypes of F_1 hybrids at microsatellite loci Bmag0223, Bmag0760 and GMS061

Locus	Crossbreeding combination (P_1 / P_2)	P_1	P_2	F_1
Bmag 0223	'Timofey' / 'Snihova Koroleva'	160	170	160/170
Bmag 0223	'Akademichnyi' / 'Luran'	160	150	150/160
Bmag0760	'Akademichnyi' / 'Luran'	110	n. a.	110
GMS061	'Akademichnyi' / 'Luran'	140/145	140/145	140

allele of 150 bp was detected in the other 25 samples studied, which corresponds to the original parental variety 'Luran'. The heterozygous state of the locus and the presence of two fragments, one of 150 bp and one of 160 bp, which are found in both original parental genotypes, were detected in 60 out of 117 analysed plants. When the two parental varieties differ in two alleles of the same locus and codominant inheritance is observed in the F_2 generation, a 1:2:1 split should be observed. Thus, in F_2 'Akademichnyi' / 'Luran', in the DNA analysis of 117 individual plants, 29.25 homozygous plants

were theoretically expected to have the 'Akademichnyi' allele in their genotype, 29.25 plants to have the 'Luran' allele, and 58.5 heterozygous plants to carry the alleles of both parents. The actual cleavage at the Bmag0223 locus corresponded to the theoretically expected ratio. The χ^2 criterion was 0.99 with $\chi^2_{0.05} = 5.99$ for $df = 2$. The codominant nature of allele inheritance in F_1 hybrids and the correspondence of the actual cleavage to the theoretically expected ratio of genotypes of the F_2 population makes it possible to use the Bmag0223 marker locus in the analysis of RILs in further studies.

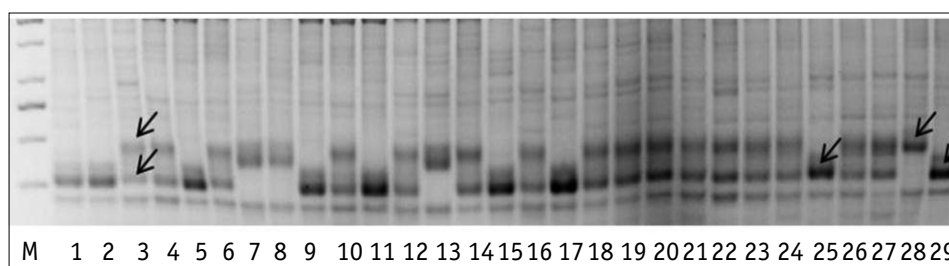


Fig. 2. Electrophoregram of DNA amplification products of F_2 'Akademichnyi' / 'Luran' plants at the Bmag0223 microsatellite locus:

1–27 – individual F_2 plants; 28 – 'Akademichnyi'; 29 – 'Luran'; Arrows indicate genotype variants.
M – 50 bp DNA Ladder molecular weight marker

According to PCR analysis of F_1 hybrids of this crossing combination at the Bmag0760 locus, only the 110 bp allele inherent in the 'Akademichnyi' variety was detected in all plants, since the null allele (absence of a PCR fragment) was noted for the 'Luran' variety at this locus. To avoid false results, further use of Bmag0760 should include checks for the presence of the null allele.

According to the results of the PCR analysis, the 145 bp allele was detected in the F_1 hybrids

resulting from the cross 'Akademichnyi' / 'Luran', as well as in all the plants in the F_2 population, using the GMS061 microsatellite marker (Fig. 3). This indicates that individual plants of parental genotypes with the same allele were involved in the primary cross, taking into account the genetic heterogeneity detected in the original varieties at this locus. As the same allele was detected in all F_2 plants, further use of this marker to analyze RILs for allele effects is not possible or informative.

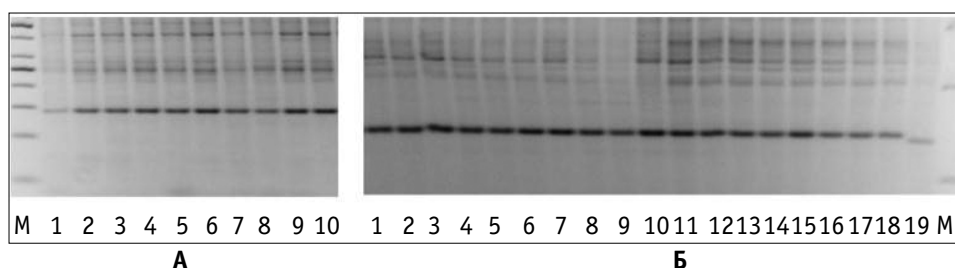


Fig. 3. Electrophoregram of PCR amplification products of DNA from F_1 and F_2 hybrids of the crossing combination 'Akademichnyi' / 'Luran' at the GMS061 locus:

A 1–10 – F_1 plants, M – 50 bp DNA ladder molecular weight marker; B 1–17 – individual F_2 plants, 18 – 'Luran'; 19 – 'Akademichnyi'; M 1 – 100 bp DNA ladder molecular weight marker

Conclusions

A set of 265 recombinant inbred F_9 lines was created by crossing the 'Khutorok' and 'Grabe' varieties. The creation of RILs from crosses between 'Akademichnyi' and 'Luran' (170 F_4 lines)

and 'Timofey' and 'Snihova Koroleva' (145 F_5 lines) is ongoing. Allelic differences were revealed at five microsatellite loci (Bmag0223, Bmag0760, Bmag0222, GMS061 and Bmag0323) between the parental varieties in one or more crossing combinations. The codominant nature

of allele inheritance in F_1 hybrids, and the fact that the actual cleavage corresponds to the theoretically expected ratio of genotypes in the F_2 population, means that the Bmag0223 marker locus can be used to identify RIL genotypes obtained from crossing the 'Khutorok' and 'Grabe' varieties, or the 'Akademichnyi' and 'Luran' varieties, and to study the effects of alleles at this locus on frost resistance. However, the presence of intra-varietal variation at the Bmag0222 and Bmag0223 loci, or a null allele at the Bmag0760 locus, in the parental genotypes complicates the evaluation and interpretation of the results, and precludes the use of such markers to identify RIL genotypes created using the 'Akademichnyi', 'Grabe' and 'Luran' varieties.

References

- Karsai, I., Hayes, P. M., Kling, J., Matus, I. A., Mészáros, K., Láng, L., Bedő, Z., & Sato, K. (2004). Genetic variation in component traits of heading date in *Hordeum vulgare* subsp. *spontaneum* accessions characterized in controlled environments. *Crop Science*, 44(5), 1622–1632. <https://doi.org/10.2135/cropsci2004.1622>
- von Zitzewitz, J., Szűcs, P., Dubcovsky, J., Yan, L., Francia, E., Pecchioni, N., Casas, A., Chen, T. H. H., Hayes, P. M., & Skinner, J. S. (2005). Molecular and structural characterization of barley vernalization genes. *Plant Molecular Biology*, 59(3), 449–467. <https://doi.org/10.1007/s11103-005-0351-2>
- Stelmakh, A. F., Balvinska, M. S., Fayt, V. I., & Zacharova, O. O. (2017). Evaluation of systems regulating initial development rate in barley (*Hordeum vulgare* L.) of autumn sowing. *Collected Scientific Articles Plant Breeding and Genetics Institute – National Center of Seed and Cultivars Investigation*, 29, 50–59. [In Ukrainian]
- Linchevskyj, A., & Legkun, I. (2020). A new attitude to barley culture and selection in the conditions of climate change. *Bulletin of Agricultural Science*, 98(9), 34–42. <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202009-05> [In Ukrainian]
- Demydov, O. A., Hudzenko, V. M., & Vasylykivskyi, S. P. (2016). Impact of weather conditions during the growing season on winter barley yield in the Forest-Steppe zone of Ukraine. *Plant Varieties Studying and Protection*, 4, 39–43. [https://doi.org/10.21498/2518-1017.4\(33\).2016.88670](https://doi.org/10.21498/2518-1017.4(33).2016.88670) [In Ukrainian]
- Visioni, A., Tondelli, A., Francia, E., Psarayi, A., Malosetti, M., Russell, J., Thomas, W., Waugh, R., Pecchioni, N., Romagosa, I., & Comadran, J. (2013). Genome-wide association mapping of frost tolerance in barley (*Hordeum vulgare* L.). *BMC Genomics*, 14(1), Article 424. <https://doi.org/10.1186/1471-2164-14-424>
- Ahres, M., Gierczik, K., Boldizsár, Á., Vitámvás, P., & Galiba, G. (2020). Temperature and light-quality-dependent regulation of freezing tolerance in barley. *Plants*, 9(1), Article 83. <https://doi.org/10.3390/plants9010083>
- Zavalypich, N. O. (2019). Features of wintering of winter barley plants, depending on the timing of sowing in the Northern Steppe of Ukraine. *Grain Crops*, 3(2), 312–317. <https://doi.org/10.31867/2523-4544/0091>
- Petcu, E., Perbea, M., Duță, Z., & Ionescu, D. (2000). Study on the relationship between frost resistance and free proline content in some winter wheat and barley genotypes. *Romanian Agricultural Research*, 13–14, 37–41.
- Gut, M., Bichoński, A., & Węgrzyn, S. (2004). Heritability, variation and relationship between frost resistance of winter barley and some of its characters. *Electronic Journal of Polish Agricultural Universities*, 7(1), Article 02. <http://www.ejpau.media.pl/volume7/issue1/agronomy/art-02.html>
- Liang, X., Hu, G., McDougall, L., Werth, J., Yang, R., Yang, J., Evans, C., & Satterfield, K. (2024). Small stomates and xylem vessels associated with freeze tolerance in winter barley. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 210(4), Article e12737. <https://doi.org/10.1111/jac.12737>
- Linchevskyi, A. A., Legkun, I. B., Babash, A. B., & Shcherbyna, Z. V. (2017). Priorities of barley (*Hordeum vulgare* L.) breeding for modern conditions of grain production in Ukraine. *Collected Scientific Articles Plant Breeding and Genetics Institute – National Center of Seed and Cultivars Investigation*, 30, 23–39. [In Ukrainian]
- Yarmolska, O. Ye., Feoktistov, P. O., & Gavrilo, S. V. (2022). Formation of frost resistance of barley plants with different types of rosettes during hardening on different photoperiods. *Agrarian Innovations*, 13, 167–172. <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2022.13.25> [In Ukrainian]
- Kato, K. (1992). Ecological and genetic studies on heading time and its constituent traits in wheat. *Memoirs of the Faculty of the Agriculture, Kochi University*, 39, 1–58.
- Ternovskaya, T. K., & Vdovichenko, Zh. V. (2003). Dependence of genetic analysis results in self-pollinating cereal species on the nature of the mapping population. *Cytology and Genetics*, 3, 67–79.
- Rollins, J. A., Drosse, B., Mulki, M. A., Grando, S., Baum, M., Singh, M., Ceccarelli, S., & von Korff, M. (2013). Variation at the vernalisation genes *Vrn-H1* and *Vrn-H2* determines growth and yield stability in barley (*Hordeum vulgare*) grown under dryland conditions in Syria. *Theoretical and Applied Genetics*, 126(11), 2803–2824. <https://doi.org/10.1007/s00122-013-2173-y>
- Saisho, D., Ishii, M., Hori, K., & Sato, K. (2011). Natural variation of barley vernalization requirements: implication of quantitative variation of winter growth habit as an adaptive trait in East Asia. *Plant and Cell Physiology*, 52(5), 775–784. <https://doi.org/10.1093/pcp/pcr046>
- Shahinnia, F., Rezai, A., Sayed-Tabatabaei, B. E., Komatsuda, T., & Mohammadi, S. A. (2006). QTL mapping of heading date and plant height in barley cross "Azumamugi" × "Kanto Nakate Gold". *Iranian Journal of Biotechnology*, 4(2), 88–94. https://www.ijbiotech.com/article_6982.html
- Mikołajczak, K., Ogródowicz, P., Gudyś, K., Krystkowiak, K., Sawikowska, A., Frohmberg, W., Górny, A., Kędziora, A., Jankowiak, J., Józefczyk, D., Karg, G., Andrusiak, J., Krajewski, P., Szarejko, I., Surma, M., Adamski, T., Guzy-Wróbelska, J., & Kuczyńska, A. (2016). Quantitative trait loci for yield and yield-related traits in spring barley populations derived from crosses between European and Syrian cultivars. *PLOS ONE*, 11(5), Article e0155938. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0155938>
- Ogródowicz, P., Kuczyńska, A., Mikołajczak, K., Adamski, T., Surma, M., Krajewski, P., Ćwiek-Kupczyńska, H., Kempa, M., Rokicki, M., & Jasińska, D. (2020). Mapping of quantitative trait loci for traits linked to fusarium head blight in barley. *PLOS ONE*, 15(2), Article e0222375. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0222375>
- Ajayi, O. O., Bregitzer, P., Klos, K., Hu, G., Walling, J. G., & Mahalingam, R. (2023). QTL mapping of shoot and seed traits impacted by drought in barley using a recombinant inbred line population. *BMC Plant Biology*, 23(1), Article 283. <https://doi.org/10.1186/s12870-023-04292-x>
- Mikołajczak, K., Ogródowicz, P., Ćwiek-Kupczyńska, H., Weigelt-Fischer, K., Mothukuri, S. R., Junker, A., Altmann, T., Krystkowiak, K., Adamski, T., Surma, M., Kuczyńska, A., & Krajewski, P. (2020). Image phenotyping of spring barley (*Hordeum vulgare* L.) RIL population under drought: selection of traits and biological interpretation. *Frontiers in Plant Science*, 11, Article 743. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00743>
- Cabeza, A., Casas, A. M., Pérez-Torres, A., Ciudad, F. J., & Igarua, E. (2025). Root system architecture in a barley RIL population: Agronomic effects of seedling and adult root

- traits. *Field Crops Research*, 324, Article 109806. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2025.109806>
24. Bregitzer, P., Ajayi, O., Gao, D., Esvelt Klos, K., & Mahalingam, R. (2023). Registration of Golden Promise/Otis barley recombinant inbred line mapping population. *Journal of Plant Registrations*, 18(1), 197–203. <https://doi.org/10.1002/plr.2.20337>
 25. Balvinska, M. S., Volkova, N. E., Kolesnyk, O. O., Solodenko, A. Ye., & Chebotar, S. V. (2015). *Differentiation, Identification, Determination of Typicity and Hybrid Status of Agricultural Crops by DNA Profiling: Methodical Recommendations*. Astroprynt. [In Ukrainian]
 26. Varshney, R. K., Marcel, T. C., Ramsay, L., Russell, J., Röder, M. S., Stein, N., Waugh, R., Langridge, P., Niks, R. E., & Graner, A. (2007). A high density barley microsatellite consensus map with 775 SSR loci. *Theoretical and Applied Genetics*, 114(6), 1091–1103. <https://doi.org/10.1007/s00122-007-0503-7>
 27. Hearnden, P. R., Eckermann, P. J., McMichael, G. L., Hayden, M. J., Eglinton, J. K., & Chalmers, K. J. (2007). A genetic map of 1,000 SSR and DArT markers in a wide barley cross. *Theoretical and Applied Genetics*, 115(3), 383–391. <https://doi.org/10.1007/s00122-007-0572-7>
 28. Balvinska, M. S., Naguliak, O. I., & Fayt, V. I. (2020). Polymorphism and selection of barley frost-resistant genotypes of autumn-sown barley by DNA markers of chromosome 5H. *The Bulletin of Kharkiv National Agrarian University. Series Biology*, 3, 87–97. <https://doi.org/10.35550/vbio2020.03.087> [In Ukrainian]
 29. Stelmakh, A. F., Fayt, V. I., & Pohrebniuk, O. O. (2009). Development of recombinant inbred line sets in winter bread wheat. *Collected Scientific Articles Plant Breeding and Genetics Institute – National Center of Seed and Cultivars Investigation*, 14, 9–18. [In Ukrainian]
 30. Rapacz, M., Tyrka, M., Gut, M., & Mikulski, W. (2010). Associations of PCR markers with freezing tolerance and photosynthetic acclimation to cold in winter barley. *Euphytica*, 175(3), 293–301. <https://doi.org/10.1007/s10681-010-0127-x>

УДК 633.16 [“321:324”+“324”]:575.162

Файт В. І.*, **Бальвінська М. С.**, **Феоктістов П. О.**, **Гаврилов С. В.**, **Федорова В. Р.** Створення вихідного матеріалу для маркування та картування QTL морозостійкості озимого ячменю. *Plant Varieties Studying and Protection*. 2025. Т. 21, № 2. С. 76–82. <https://doi.org/10.21498/2518-1017.21.2.2025.333451>

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

Мета. Створити набори рекомбінантно-інбредних ліній для маркування та картування QTL морозостійкості озимого ячменю. **Методи.** Гібридизація, штучна яровизація, вирощування рослин в умовах подовженого дня світлих камер фітотрона та на вегетаційному майданчику за природної тривалості дня, виділення ДНК за допомогою ЦТАБ-буфера, спектрофотометричне визначення концентрації ДНК, полімеразна ланцюгова реакція з направленими праймерами, електрофорез в агарозному та поліакриламідному гелях, метод математичної статистики хі-квадрат (χ^2). **Результати.** Методом НОН (SSD) – нащадки однієї насінини (single seed descent) – з максимальним уникненням дії добору створено набір з 265 рекомбінантно-інбредних ліній F_9 комбінації схрещування сортів ‘Хуторок’ / ‘Grabe’, що різняться за рівнем морозостійкості, типом розвитку та іншими ознаками. Триває створення рекомбінантно-інбредних ліній від схрещування сортів ‘Академічний’ / ‘Luran’ (170 ліній F_4) і ‘Тимофей’ / ‘Снігова королева’ (145 ліній F_5). Оцінено поліморфізм батьківських генотипів за 14 мікросателітними локусами хромо-

соми 5H, зокрема локалізованих в області ключових генів QTL морозостійкості *Fr-H1* і *Fr-H2*. Виявлено алельні відмінності між батьківськими сортами в декількох комбінаціях схрещування за низкою проаналізованих мікросателітних локусів. Досліджено характер успадкування алелів поліморфних МС-локусів у гібридів F_1 трьох комбінацій схрещування та рослин популяцій F_2 ‘Академічний’ / ‘Luran’. **Висновки.** Створені рекомбінантно-інбредні лінії придатні для використання у генетичних дослідженнях з метою ідентифікації, маркування, картування головних генів та QTL якісних і кількісних ознак ячменю, передусім морозостійкості. Визначено поліморфні мікросателітні локуси, що можуть бути застосовані для подальшого аналізу популяції рекомбінантно-інбредних ліній, маніпулювання генетичним різноманіттям, простеження успадкування, визначення ефектів їхніх алелів або генів, тісно зчеплених з ними за рівнем морозостійкості, та інших ознак ячменю.

Ключові слова: *Hordeum vulgare* L.; рекомбінантно-інбредні лінії; мікросателітні локуси; ПЛР-аналіз; морозостійкість.

Надійшла / Received 26.05.2025
Погоджено до друку / Accepted 21.06.2025

Залежність посівних якостей насіння буряку цукрового від його обробки цинкомістким препаратом

О. М. Ганженко*, М. П. Продиус

Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН, вул. Клінічна, 25, м. Київ, 03110, Україна,

*e-mail: ganzhenko74@gmail.com

Мета. Встановити оптимальну норму застосування препарату YaraVita Teprosyn NP+Zn для забезпечення найвищих показників посівної якості насіння буряку цукрового. **Методи.** Біологічні (проведення лабораторного дослідження) та статистичні (описова статистика, дисперсійний, кореляційний та регресійний аналізи). **Результати.** За результатами лабораторних досліджень встановлено, що варіація енергії проростання насіння буряку цукрового певною мірою залежала від його обробки препаратом (добрином) YaraVita Teprosyn NP+Zn (15,5%) та партії насіння (12,7%), втім найбільше на неї вплинула генетична відмінність досліджуваних вітчизняних гібридів (61,1%). Щодо варіації лабораторної схожості, то на 41,6% вона була спричинена використанням уже згаданого добрива, а на 36,7% – генетичною відмінністю. Залежно від норми застосування препарату YaraVita Teprosyn NP+Zn змінювалася й енергія проростання насіння. Зокрема, за внесення 3 л/т вона підвищилася до 84,9% (контрольний варіант – 80,7%), а за 6 л/т – до 88,6%. Подальше збільшення кількості добрива до 9 л/т істотно не вплинуло на енергію проростання, а використання максимальної для дослідження норми – 12 л/т – взагалі її знизило до 86,9%. Підвищення лабораторної схожості насіння також досягли завдяки його обробці препаратом YaraVita Teprosyn NP+Zn у нормі 3 л/т – від 86,6% (контроль) до 91,8%, а також 6 л/т – до 96,6%. Наступне збільшення норми – до 9 та 12 л/т – спричинило зменшення лабораторної схожості. У цих варіантах дослідження вона дорівнювала 96,3 та 91,9% відповідно. Було встановлено рівняння регресії, які дають змогу прогнозувати значення енергії проростання та лабораторної схожості насіння й оптимізувати норми внесення YaraVita Teprosyn NP+Zn. **Висновки.** Оптимальна норма застосування цинкомісткого препарату YaraVita Teprosyn NP+Zn, що забезпечує максимальну енергію проростання насіння буряку цукрового, для гібрида 'ТЦБ 0904' становить 9 л/т, а для 'Рутенія 11' – 6 л/т. Найвищої лабораторної схожості в досліді досягли за використання 6 л/т цього добрива. Водночас перевищення оптимальних норм може призвести до пригнічення енергії проростання, хоча вирішальне значення для неї має генетичний потенціал гібрида, а також до зниження лабораторної схожості насіння, на яку передусім впливає його обробка вказаним цинкомістким препаратом. Розроблені регресійні моделі є цінним інструментом для прогнозування посівних якостей насіння та раціонального застосування добрива YaraVita Teprosyn NP+Zn у виробничих умовах.

Ключові слова: гібрид; енергія проростання; лабораторна схожість; лабораторний дослід; оптимальна норма.

Вступ

Буряк цукровий (*Beta vulgaris* L.) – одна з найважливіших з погляду економіки сільськогосподарських культур, що забезпечує майже 30% світового щорічного виробництва цукру [1] та є основним його джерелом для Європи. Крім того, ця сільськогосподарська культура більше за інші поглинає вуглекис-

лого газу та виділяє кисню, а тому має позитивний екологічний ефект [2]. Її насичена простими вуглеводами біомаса є цінною сировиною для годівлі свійських тварин і виробництва біопалива [3], біопластику та хімічних речовин [4]. Через кліматичні зміни, спричинені надмірною експлуатацією викопних джерел енергії, збільшилася потреба в альтернативних – біоетанолі та біогазі [5, 6]. Для їхнього виробництва застосовують цукромістку біомасу буряку цукрового, а тому ця культура набуває особливої актуальності. Вона посідає власне місце в циркулярній економіці та є важливим ком-

Oleksandr Hanzhenko

<https://orcid.org/0000-0002-8118-1645>

Mykola Prodyus

<https://orcid.org/0009-0002-0608-7648>



© 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.

понентом багатьох нових побічних технологічних продуктів [7].

Біологічний потенціал продуктивності буряку цукрового є досить високим та залежить від сортового складу, ґрунтового-кліматичних умов і технологічних аспектів вирощування [8]. Для сучасних гібридів його реалізація можлива лише за наявності широкого спектра макро- та мікроелементів, що сприяють інтенсивному росту та розвитку рослин [9]. Важливий мікроелемент для буряку цукрового – цинк. Він є каталізатором багатьох ферментних систем, необхідних для синтезу білків та обміну вуглеводів, а його дефіцит у чорноземних ґрунтах за вирощування рослин у сівоzmіні призводить до зменшення врожайності коренеплодів і технологічної якості. Саме тому за нестачі цинку варто застосовувати цинкомісткі добрива [10]. Також цей мікроелемент відіграє важливу роль у розвитку хлоропластів і регулюванні основних процесів росту, відповідає за обмін ауксинів. Його низький вміст у рослинах знижує їхню толерантність проти хвороб та стресів [11]. Позакореневе підживлення рослин буряку цукрового цинком значно поліпшує їхній ріст і характеристики врожайності завдяки балансу поглинання та транспортування поживних речовин [12].

Європейський зелений курс передбачає зменшення обсягів використання хімічних добрив і засобів захисту під час вирощування сільськогосподарських культур, а тому підвищується роль мікродобрив та препаратів біологічного походження. Перевага надається тим з них, що максимально засвоюються рослинами [13, 14]. Останні на початкових фазах росту не можуть поглинати поживні речовини з ґрунту, адже ще не мають розвинених кореневої системи та листового апарату для позакореневого підживлення. Найдієвішим способом забезпечення рослин буряку цукрового необхідними елементами живлення в цей період є обробка насіння стимулювальними препаратами [15]. Отже, дослідження впливу норми застосування цинкомісткого препарату YaraVita Teprosyn NP+Zn на посівні якості обробленого ним насіння є актуальним.

Мета досліджень – установити оптимальну норму застосування препарату YaraVita Teprosyn NP+Zn для забезпечення найвищих показників посівної якості насіння буряку цукрового.

Матеріали та методика досліджень

Дослідження проводили впродовж 2024–2025 рр. у контрольованих умовах лабораторії насіннезнавства, насінництва та розсадництва Інституту біоенергетичних культур і цук-

рових буряків НААН за схемою двофакторного дослідження в чотириразовій повторності. Вивчали вплив норм застосування (Фактор В) препарату YaraVita Teprosyn NP+Zn – 6, 9, 12 л/т – на посівні якості обробленого ним насіння буряку цукрового вітчизняних гібридів ‘ПЦБ 0904’ та ‘Рутенія 11’ (Фактор А). Для аналізу використовували дві партії насіння (Фактор С) врожаю 2023 та 2024 рр., яке напередодні проведення лабораторного дослідження обробляли згаданим добривом. Контроль було оброблено лише дистильованою водою без додавання препарату.

Облік енергії проростання здійснювали через чотири доби, а лабораторної схожості – через 10, відповідно до ДСТУ 2292 [16]. Отримані експериментальні дані обробляли методами описової статистики, регресійного та дисперсійного аналізу, використовуючи програмне середовище Statistica 6.0 [17].

‘ПЦБ 0904’ – одноростковий триплоїдний гібрид урожайно-цукристого напрямку, стійкий проти цвітухи та церкоспорозу. До Державного реєстру сортів рослин його внесено у 2011 р. (Свідоцтво № 110316).

‘Рутенія 11’ – гібрид урожайно-цукристого напрямку. Характеризується стійкістю проти церкоспорозу та цвітухи. До Державного Реєстру його включено у 2023 р. (Свідоцтво № 230266).

YaraVita Teprosyn NP+Zn – це препарат, спеціально розроблений компанією Yara для обробки насіння широкого спектра сільськогосподарських культур, зокрема й буряку цукрового. Він містить 9% азоту, 6,6% фосфору та 18% цинку. Забезпечує дружні сходи внаслідок формування міцної кореневої системи, завдяки чому в рослин посилюються імунітет та стійкість проти стресів [18].

Результати досліджень

За результатами досліджень встановлено, що посівні якості насіння вітчизняних гібридів буряку цукрового, обробленого препаратом YaraVita Teprosyn NP+Zn, залежать від норми його застосування. Так, у гібрида ‘ПЦБ 0904’ за внесення 3 л/т вказаного добрива енергія проростання зростала від 77,4% (контроль) до 82,1% (водночас найменша істотна різниця становила $НІР_{0,05} = 3,0\%$); за використання 6 л/т вона продовжила неістотно збільшуватися (в межах НІР) – до 84,1% – та продемонструвала значний приріст, як порівняти з попереднім варіантом, за внесення 9 л/т – до 87,4%. Подальше підвищення норми препарату до 12 л/т пригнітило енергію проростання. У цьому варіанті дослідження вона становила 84,0% (табл. 1).

Таблиця 1

Вплив норми препарату YaraVita Teprosyn NP+Zn на енергію проростання насіння гібридів буряку цукрового (2024–2025 рр.)

Фактор А – гібрид	Фактор В – норма витрати препарату, л/т					Середнє за фактором А
	0	3	6	9	12	
‘ТЦБ 0904’	77,4	82,1	84,1	87,4	84,0	83,0
‘Рутенія 11’	84,0	87,8	93,1	92,5	89,8	89,4
Середнє за фактором В	80,7	84,9	88,6	89,9	86,9	86,0
НІР _{0,05} : А = 0,9%; В = 1,5%; АВ = 3,0%						

Енергія проростання насіння вітчизняного гібрида буряку цукрового ‘Рутенія 11’ також залежала від застосування препарату YaraVita Teprosyn NP+Zn. За норми 3 л/т вона зростала з 84,0% (на необробленому контролі) до 87,8%, а за 6 л/т – до 93,1%, що є суттєвим збільшенням, як порівняти з попереднім варіантом. Підвищення норми препарату до 9 та 12 л/т, навпаки, спричинило зниження енергії проростання, яка становила 92,5 та 89,8% відповідно.

У середньому за двома дослідженими гібридами використання препарату YaraVita Teprosyn NP+Zn у нормі 3 л/т дало змогу підвищити енергію проростання на 4,2% (НІР_{0,05} = 1,5%), або з 80,7% (контроль) до 84,9%. Значний ріст цього показника – до 88,6% – спостерігали й за збільшення норми, яка в наступному варіанті становила 6 л/т. Водночас за використання 9 л/т добрива енергія проростання суттєво не підвищувалася, а за 12 л/т – взагалі знижувалася до 86,9%.

Середній показник енергії проростання насіння гібрида ‘ТЦБ 0904’ був значно нижчим, ніж у ‘Рутенія 11’ – 83,0 проти 89,4% (НІР_{0,05} = 0,9%).

Показником швидкості та дружності проростання насіння за оптимальних умов, що відображає його життєздатність і можливість швидко утворювати нормально розвинені проростки, є енергія проростання. Її варіація, як видно з результатів дисперсійного аналізу, на 61,1% спричинена генетичною відмінністю досліджуваних гібридів (рис. 1). Остання ж свідчить, що ‘ТЦБ 0904’ та ‘Рутенія 11’ мають різний генетичний потенціал швидкості та синхронності процесів проростання насіння.

Значно меншим був вплив партії насіння (12,7%) та його обробки препаратом YaraVita Teprosyn NP+Zn (15,5%). Це означає, що дія добрива впродовж перших чотирьох діб проявлялася не повною мірою, а енергія проростання набагато більше залежала від генетичних особливостей гібридів буряку цукрового, ніж від умов, в яких формувалося насіння протягом 2023–2024 рр. Ефекти від спільної дії двох факторів – Гібрида × Партії насіння та Препарату × Партії насіння – становили

6,4 та 2,6% відповідно. Вплив неврахованих чинників був на рівні 1,8%, водночас відносна помилка середнього значення енергії проростання в досліді (Р) дорівнювала 1,2%.

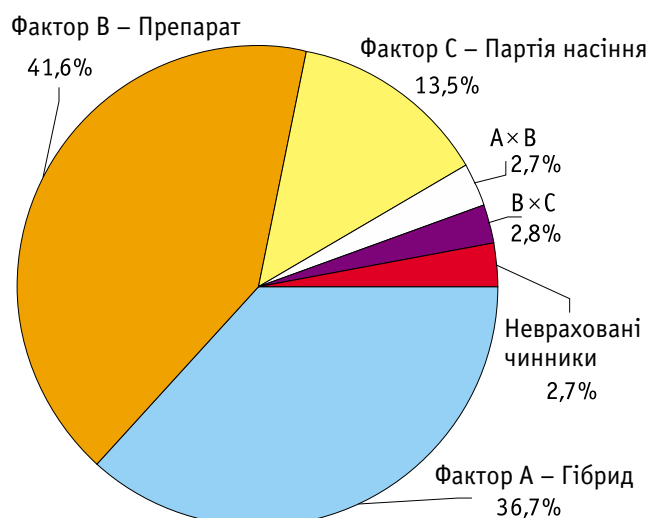


Рис. 1. Вплив факторів дослідження на енергію проростання насіння

Результати регресійного аналізу вказують на наявність тісного зв'язку між енергією проростання насіння та нормою його обробки препаратом YaraVita Teprosyn NP+Zn, водночас розміщення точок свідчить про криволінійний тип залежностей, які з високим рівнем істотності можуть бути апроксимовані поліномами другого роду (рис. 2). Використовуючи для гібрида ‘ТЦБ 0904’ рівняння регресії: $y = -0,119x^2 + 2,0452x + 77,157$ (коефіцієнт детермінації: $R^2 = 0,9347$), де y – енергія проростання насіння (%), x – норма обробки насіння препаратом YaraVita Teprosyn NP+Zn (л/т), а для ‘Рутенія 11’: $y = -0,1508x^2 + 2,3512x + 83,461$, можна визначити енергію проростання насіння, спрогнозувати її значення та оптимізувати норму застосування препарату YaraVita Teprosyn NP+Zn.

Норма застосування препарату YaraVita Teprosyn NP+Zn суттєво вплинула на показник лабораторної схожості обробленого ним насіння. Так, у гібрида ‘ТЦБ 0904’ за внесення 3 л/т добрива він зріс на 5,5%, тобто з 85,3% (на контролі) до 90,8% (НІР_{0,05} = 3,1%) (табл. 2),

Таблиця 2

Вплив норми препарату YaraVita Teprosyn NP+Zn на лабораторну схожість насіння гібридів буряку цукрового (2024–2025 рр.)

Фактор А – гібрид	Фактор В – норма препарату, л/т					Середнє за фактором А
	0	3	6	9	12	
‘ТЦБ 0904’	85,3	90,8	95,3	95,0	88,4	90,9
‘Рутенія 11’	88,0	92,8	97,9	97,6	95,5	94,4
Середнє за фактором В	86,6	91,8	96,6	96,3	91,9	92,8
НІР _{0,05} : А = 1,0%; В = 1,6%; АВ = 3,1%						

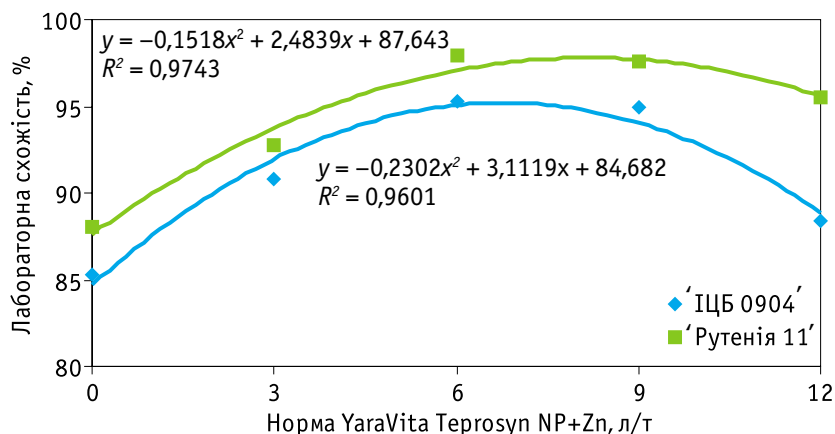


Рис. 2. Залежність енергії проростання насіння буряку цукрового від гібрида та норми застосування препарату YaraVita Teprosyn NP+Zn (2024–2025 рр.)

а за 6 л/т – збільшився ще на 4,5%, або до 95,3%. Подальше підвищення норми спричинило зниження лабораторної схожості: несуттєве (в межах НІР) – до 95,0% – за 9 л/т, а також доволі істотне – до 88,4% – за 12 л/т.

Лабораторна схожість насіння гібрида 'Рутенія 11' за його обробки 3 л/т препарату YaraVita Teprosyn NP+Zn зросла на 4,8%, тобто з 88,0% (на контролі) до 92,8% (НІР_{0,05} = 3,1%). Зі збільшенням норми до 6 л/т спостерігали підвищення вказаного показника ще на 5,1% – до 97,9%. Водночас за використання 9 та 12 л/т добрива лабораторна схожість, як порівняти з попереднім варіантом, знизилася – на 0,3 та 2,4%, або до 97,6 та 95,5% відповідно.

У середньому за двома досліджуваними гібридами використання мінімальної норми – 3 л/т – препарату YaraVita Teprosyn NP+Zn дало змогу підвищити лабораторну схожість насіння від 86,6% (контроль) до 91,8% (НІР_{0,05} = 1,6%). Суттєвий ріст цього показника – до 96,6% – спостерігали й за внесення 6 л/т вказаного добрива. Подальше підвищення норми до 9 та 12 л/т (максимальна норма) спричинило зниження лабораторної схожості – відповідно до 96,3% (неістотно) та 91,9% (істотно).

Середній показник лабораторної схожості насіння гібрида 'ІЦБ 0904' був значно нижчим, ніж у 'Рутенія 11' – 90,9% (НІР_{0,05} = 1,0%) проти 94,4%. На її варіацію, як видно з результатів дисперсійного аналізу, найбільше (41,6%) вплинуло використання препарату YaraVita Teprosyn NP+Zn, дещо менше (36,7%) – генетична відмінність досліджуваних гібридів (рис. 3). Крім того, істотними виявились ефекти від спільної дії факторів Гібрид × Препарат (2,7%) та Препарат × Партія насіння (2,8%). Вплив неврахованих чинників у досліді сумарно становив 2,7%, а відносна похибка середнього значення лабораторної схожості насіння (P) дорівнювала 1,2%.

Ефект від застосування YaraVita Teprosyn NP+Zn повною мірою проявився на десятий день, оскільки цей препарат містить важливі на ранніх стадіях розвитку рослин елементи (азот, фосфор і цинк).

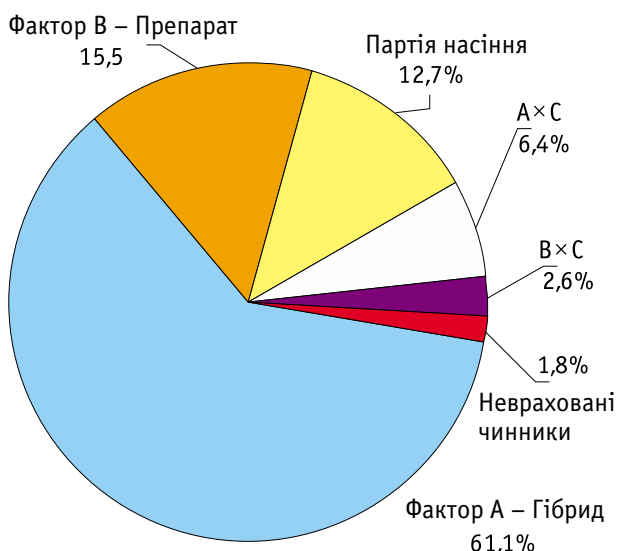


Рис. 3. Вплив факторів дослідження на лабораторну схожість насіння

Результати регресійного аналізу свідчать про наявність тісного ($R^2 = 0,96–0,97$) зв'язку між лабораторною схожістю насіння гібридів 'ІЦБ 0904' та 'Рутенія 11' та нормою його обробки препаратом YaraVita Teprosyn NP+Zn. Характер розміщення точок вказує на криволінійний тип залежностей, які з високим рівнем адекватності можуть бути апроксимовані поліномами другого роду (рис. 4).

Використовуючи для гібрида 'ІЦБ 0904' рівняння регресії: $y = -0,2302x^2 + 3,1119x + 84,682$ ($R^2 = 0,9601$), де y – лабораторна схожість насіння (%), x – норма обробки насіння препаратом YaraVita Teprosyn NP+Zn (л/т), а

для 'Рутенія 11': $y = -0,1518x^2 + 2,4839x + 87,643$ ($R^2 = 0,9743$), можна досить точно визначити лабораторну схожість насіння,

спрогнозувати її значення та оптимізувати норму застосування препарату YaraVita Teprosyn NP+Zn.

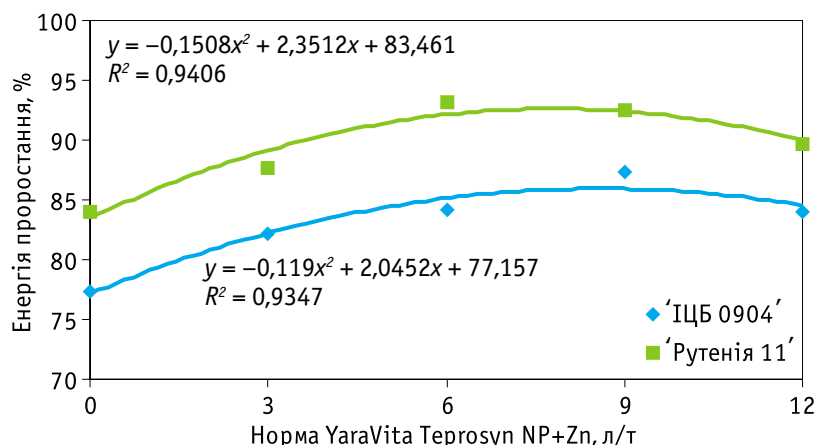


Рис. 4. Залежність лабораторної схожості насіння буряку цукрового від гібрида та норми застосування препарату YaraVita Teprosyn NP+Zn (2024–2025 рр.)

Висновки

Оптимальна норма застосування цинкомісткого препарату YaraVita Teprosyn NP+Zn, що забезпечує максимальну енергію проростання насіння буряку цукрового, для гібрида 'ІЦБ 0904' становить 9 л/т, а для 'Рутенія 11' – 6 л/т. Найвищої лабораторної схожості в досліді досягли за використання 6 л/т цього добрива. Водночас перевищення оптимальних норм може призвести до пригнічення енергії проростання, хоча вирішальне значення для неї має генетичний потенціал гібрида, а також до зниження лабораторної схожості насіння, на яку передусім впливає його обробка вказаним цинкомістким препаратом. Розроблені регресійні моделі є цінним інструментом для прогнозування посівних якостей насіння та раціонального застосування добрива YaraVita Teprosyn NP+Zn у виробничих умовах.

References

- Dohm, J. C., Minoche, A. E., Holtgräwe, D., Capella-Gutiérrez, S., Zakrzewski, F., Tafer, H., Rupp, O., Sörensen, T. R., Stracke, R., Reinhardt, R., Goesmann, A., Kraft, T., Schulz, B., Stadler, P. F., Schmidt, T., Gabaldón, T., Lehrach, H., Weisshaar, B., & Himmelbauer, H. (2013). The genome of the recently domesticated crop plant sugar beet (*Beta vulgaris*). *Nature*, 505(7484), 546–549. <https://doi.org/10.1038/nature12817>
- Shpaar, D. (Ed.). (2005). *Sugar beets (growing, harvesting, storage)*. National Scientific Center "Institute of Agrarian Economics". [In Ukrainian]
- Hanzhenko, O. M. (2023). *Agroecological foundations of the formation of productivity of sugar crops for biofuels*. Nilan-LTD. [In Ukrainian]
- Usmani, Z., Sharma, M., Diwan, D., Tripathi, M., Whale, E., Jayakody, L. N., Moreau, B., Thakur, V. K., Tuohy, M., & Gupta, V. K. (2022). Valorization of sugar beet pulp to value-added products: A review. *Bioresource Technology*, 346, Article 126580. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.126580>
- Tse, T. J., Wiens, D. J., & Reaney, M. J. T. (2021). Production of Bioethanol – A Review of Factors Affecting Ethanol Yield. *Fermentation*, 7(4), Article 268. <https://doi.org/10.3390/fermentation7040268>
- Beigbader, J.-B., de Medeiros Dantas, J. M., & Lavoie, J.-M. (2021). Optimization of Yeast, Sugar and Nutrient Concentrations for High Ethanol Production Rate Using Industrial Sugar Beet Molasses and Response Surface Methodology. *Fermentation*, 7(2), Article 86. <https://doi.org/10.3390/fermentation7020086>
- Čirić, M., Popović, V., Prodanović, S., Živanović, T., Ikanović, J., & Bajić, I. (2024). Sugar Beet: Perspectives for the Future. *Sugar Tech*, 26(5), 1208–1219. <https://doi.org/10.1007/s12355-024-01462-5>
- Prysiashniuk, O. I., Prysiashniuk, L. M., Melnyk, S. I., & Hryniv, S. M. (2022). *Sugar beet – breeding, seed production and cultivation technology*. Tvory. [In Ukrainian]
- Hospodarenko, H. M. (Ed.). (2020). *Agrochemical component of sugar beet growing technology*. SIK HRUP Ukraina. [In Ukrainian]
- Zhao, X., Song, B., Ishfaq, M., Adil, M. F., Lal, M. K., Wu, Z., Jia, Q., & Huang, W. (2023). Zinc amendment increases the yield and industrial quality of *Beta vulgaris* L. cultivated in Northeast China. *Field Crops Research*, 298, Article 108973. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2023.108973>
- Ghadirnezhad Shiade, S. R., Fathi, A., Taghavi Ghasemkheili, F., Amiri, E., & Pessarakli, M. (2022). Plants' responses under drought stress conditions: Effects of strategic management approaches – a review. *Journal of Plant Nutrition*, 46(9), 2198–2230. <https://doi.org/10.1080/01904167.2022.2105720>
- Zewail, R. M. Y., El-Gmal, I. S., Khaitov, B., & El-Desouky, H. S. A. (2020). Micronutrients through foliar application enhance growth, yield and quality of sugar beet (*Beta vulgaris* L.). *Journal of Plant Nutrition*, 43(15), 2275–2285. <https://doi.org/10.1080/01904167.2020.1771580>
- Paika, D., Jeske, M., Łukanowski, A., Baturo-Cieśniewska, A., Prus, P., Maitah, M., Maitah, K., Malec, K., Rymarz, D., Muhire, J. de D., & Szwarc, K. (2022). Can cold plasma be used for boosting plant growth and plant protection in sustainable plant production? *Agronomy*, 12(4), Article 841. <https://doi.org/10.3390/agronomy12040841>
- Helepciuc, F.-E., & Todor, A. (2022). Improving the authorization of microbial biological control products (MBCP) in the European Union within the EU green deal framework. *Agro-*

- ному, 12(5), Article 1218. <https://doi.org/10.3390/agronomy12051218>
15. Palamarchuk, V. D., Doronin, V. A., Kolisnyk, O. M., & Aliexsieiev, O. O. (2022). *Fundamentals of seed science (theory, methodology, practice)*. Druk. [In Ukrainian]
 16. Institute of Sugar Beet of the Ukrainian Academy of Agrarian Sciences. (1995). *Sugar beet seeds. Methods for determining germination, uniformity and good quality: State Standard of Ukraine 2292:1995*. Derzhspozhyvstandart Ukrainy. [In Ukrainian]
 17. Ermantraut, E. R., Prysiashniuk, O. I., & Shevchenko, I. L. (2007). *Statistical analysis of agronomic study data in the Statistica 6.0 software suite*. PolihrafKonsaltnyh [In Ukrainian]
 18. YaraVita TEPROSYN NP+Zn. <https://www.yara.ua/products/yaravita/yaravita-teprosyn-npzn> [In Ukrainian]

UDC 633.63; 631.53.027.2

Hanzhenko, O. M.*, & **Prodyus, M. P.** (2025). Dependence of sugar beet seed sowing qualities on zinc-containing preparation treatment. *Plant Varieties Studying and Protection*, 21(2), 83–88. <https://doi.org/10.21498/2518-1017.21.2.2025.333452>

*Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet, NAAS of Ukraine, 25 Klinichna St., Kyiv, 03110, Ukraine, *e-mail: ganzhenko74@gmail.com*

Purpose. To establish the optimal rate of application of YaraVita Teprosyn NP+Zn preparation, to ensure the highest sowing quality of sugar beet seeds. **Methods.** Biological (conducting laboratory experiments) and statistical (descriptive statistics, variance, correlation and regression analyses). **Results.** Laboratory studies showed that the variation in the germination energy of sugar beet seeds depends to some extent on their treatment with the YaraVita Teprosyn NP+Zn fertiliser preparation (15.5%), as well as on the seed batch (12.7%). However, genetic differences between the domestic hybrids studied had the greatest influence (61.1%). As for the variation in laboratory similarity, 41.6% was caused by the aforementioned fertiliser and 36.7% by genetic differences. The germination energy of the seeds also changed depending on the application rate of YaraVita Teprosyn NP+Zn. Specifically, germination energy increased to 84.9% when 3 l/t was applied (compared to 80.7% for the control variant), and to 88.6% when 6 l/t was applied. Increasing the amount of fertiliser further to 9 l/t did not significantly affect germination energy; in fact, using the maximum rate for the experiment (12 l/t) reduced it to 86.9%. An increase in laboratory germination was achieved by treating the seeds with YaraVita Teprosyn NP+Zn at rates of 3 and 6 l/t, increasing the percentage from

86.6% (control) to 91.8% and 96.6%, respectively. However, a further increase in the amount of fertiliser to 9 or 12 l/t resulted in a decrease in laboratory germination. In these variants of the experiment, the figures were 96.3% and 91.9%, respectively. Regression equations were established to predict the germination energy and laboratory germination of seeds, as well as to optimise the application rates of YaraVita Teprosyn NP+Zn. **Conclusions.** The optimal application rate of the zinc-containing preparation YaraVita Teprosyn NP+Zn for maximising the germination energy of sugar beet seeds was found to be 9 l/t for the 'ITsB 0904' hybrid and 6 l/t for the 'Ruteniia 11' hybrid. The highest laboratory germination rate was achieved using 6 l/t of this fertiliser. However, exceeding the optimal rates can lead to inhibition of germination, although the genetic potential of the hybrid is also important for this. It can also lead to a decrease in laboratory germination, which is primarily influenced by treatment with the specified zinc-containing preparation. The developed regression models are valuable tools for predicting sowing quality and the rational use of YaraVita Teprosyn NP+Zn fertiliser under production conditions.

Keywords: hybrid; germination energy; laboratory germination; laboratory experiment; optimal dose; varietal characteristics.

Надійшла / Received 09.04.2025
Погоджено до друку / Accepted 24.06.2025

Інтенсивність відростання вегетативної маси верби залежно від сортових особливостей, виду садивного матеріалу та умов його зберігання

В. О. Данюк*, В. А. Доронін

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

Мета. Встановити особливості відростання наземної маси енергетичної верби прутьоподібної та тритичинкової після скошування залежно від сортових особливостей, виду садивного матеріалу та застосування азотних добрив. Зокрема, визначити висоту пагонів, їхній діаметр і кількість, а також площу листків. **Методи.** Дослідження виконували на дослідному полі Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН України (с. Ксаверівка, Білоцерківський р-н, Київська обл.) упродовж 2023–2024 рр. Вивчали особливості відростання двох видів енергетичної верби (третичинкової сорту 'Панфільська' та прутьоподібної сорту 'Збруч') у другому циклі після скошування пагонів. Досліди закладали у 2020 р. живцями, які зберігали різними способами, а скошування проводили у 2023-му після трьох років вегетації та перед початком сокоруху. Висоту та діаметр пагонів вимірювали, починаючи з травня і до завершення вегетаційного періоду, в одну й ту саму дату кожного місяця. **Результати.** Встановлено, що стебла рослин, одержаних із пагонів верби прутьоподібної, як порівняти з тритичинковою, мали достовірно вищу інтенсивність відростання. Їхньою максимальною висотою на перший рік після скошування відзначився сорт 'Збруч' (із застосуванням добрив). **Висновки.** Найліпші показники висоти та діаметра стебел у другому циклі вирощування після скошування біомаси фіксували в рослин, одержаних із пагонів енергетичної верби прутьоподібної сорту 'Збруч'. Ці пагони зберігали в контейнерах, а їхні зрізи обробляли вапном.

Ключові слова: енергетична верба; біометричні показники; садивний матеріал; вегетативна маса.

Вступ

Швидкорослими енергетичними деревними рослинами вважаються ті, що у сприятливих для них умовах здатні за три – чотири роки сформувати річний приріст сухої біомаси. Для інтенсивнішого росту та розвитку їх обробляють хімічними розчинами. У помірних широтах найрозповсюдженішими є різні види енергетичної верби й тополі, а також їхні гібриди [1–3].

Плантації енергетичної верби створюють, висаджуючи живці або пагони швидкорослих сортів, зазвичай спареними рядами. За допомогою спеціальної техніки через кожні два – чотири роки, в період від припинення й до відновлення сокоруху, скошують наземну частину кущів. Потім її подрібнюють на щепу або складають у штабелі на просушування. Також можливе тюкування зрізаних пагонів [4–6]. Навесні на місці зрізаних рослин відростає рясна молода поросль, яку через два – чотири роки скошують для одержання

енергетичної сировини. Дотримуючись такої схеми, плантації інтенсивно використовують протягом 20–25 років [7–9].

Якщо зі зрошенням на добре організованих плантаціях за дворічний цикл вирощування можна отримати понад 130 т свіжої біомаси на гектар за рік, то без нього врожайність лишається на рівні 30–35 т [10–12].

Найперспективнішими біоенергетичними культурами (одержання енергії через спалювання) для України є буряки цукрові, сорго цукрове, просо прутьоподібне (світграс), міскантус, верба, тополя, ріпак і кукурудза [13–15]. Щодо енергетичної верби, то декілька її видів як іноземної, так і вітчизняної селекції рекомендовано для вирощування в нашій державі [16, 17].

Нині вивчають різні способи заготівлі та зберігання садивного матеріалу, а також вплив конкретних факторів на його якість і подальшу продуктивність рослин. Дослідження з цього напрямку дасть змогу визначити, як на процес відростання енергетичної верби у другому циклі вегетації після скошування впливає застосування добрив.

Мета дослідження – визначити інтенсивність відростання пагонів енергетичної верби, оцінити їхню висоту та діаметр залежно

Viktoriia Daniuk
<https://orcid.org/0009-0004-0985-4480>
Volodymyr Doronin
<https://orcid.org/0000-0001-9355-881X>



© 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.

від сортових особливостей, використання різних видів садивного матеріалу, способів його зберігання та підживлення рослин мінеральними добривами у другому циклі після скошування.

Матеріали та методика досліджень

Дослідження проводили протягом 2023–2024 рр. на дослідному полі Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН України (с. Ксаверівка, Білоцерківський р-н, Київська обл.) в умовах Правобережного Лісостепу (центральної частини). Це зона нестійкого зволоження з помірно континентальним кліматом. Рельєф – слабкохвилястий, а саме: рівнина з незначним нахилом поверхні. Ґрунт – чорнозем типовий вилугуваний, середньоглибокий, малогумусний, грубопилувато-легкосуглинковий на карбонатному лесі. Вміст гумусу становить 2,64% (за методом Тюріна), рухомих форм фосфору та обмінного калію (за Чириковим) – 180 та 160 мг/кг відповідно, легкогідролізованого азоту (за Корнфілдом) – 280 мг/кг. Кислотність ґрунту (рН) – 6,6, глибина гумусового горизонту – 100–120 см.

Вивчали два види енергетичної верби: трищинкову (*Salix triandra* L.) сорту 'Панфільська' (власник – дослідна станція Національного наукового центру «Інститут землеробства НААН») та прутоподібну (*Salix viminalis* L.) сорту 'Збруч' (Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН України). Обидва культивари належать до вітчизняної селекції та внесені до Державного реєстру сортів рослин, придатних для поширення в Україні.

Первинний дослід було закладено в першій декаді квітня 2020 року. Загальна площа ділянок становила 990,88 м², повторність – чотириразова. Розміщення варіантів і повторень – рендомізоване. Ширина міжрядь – 70 см, крок садіння в рядку – 70 см. Як садивний матеріал використовували живці та пагони. Пагони перед садінням нарізали на живці, які зберігали у сховищі за різних умов: у контейнерах, у контейнерах з обробкою зрізів вапном, у прошарку піску, у прошарку піску з обробкою зрізів вапном, у поліетиленових мішках та в поліетиленових мішках з обробкою зрізів вапном [18]. Через три роки вегетації енергетичну вербу скошували. Перед початком нового вегетаційного періоду рослини підживлювали аміаковою селітрою, також щорічно вносили гранульоване добриво N₁₀₅. Для контролю приросту в одну й ту саму дату кожного місяця, починаючи з травня й до закінчення вегетації, вимірювали висоту та діаметр пагонів.

Веgetаційний період 2023 року виявився спекотним і посушливим. Середня добова температура повітря становила 15,34 °С та перевищувала усереднене багаторічне значення на 2,74 °С. Дефіцит вологи спостерігався в усі місяці, крім квітня, та був на рівні 150,8 мм. Це негативно вплинуло на ріст і розвиток рослин. За місяцями вегетаційного періоду опади розподілялися нерівномірно, а усереднена добова температура була вищою за багаторічну норму. У травні під час відростання пагонів вона становила 15,49 °С, що на 0,59 °С більше, ніж середнє багаторічне значення. Це свідчить про достатню забезпеченість рослин теплом. Найсприятливішими для росту та розвитку енергетичної верби були квітень і липень, коли показники середньої добової температури повітря (на 0,5 та 2,14 °С) та вологозабезпеченості були вищими за усереднені багаторічні значення.

Веgetаційний період 2024 року також був спекотним і посушливим. Середня добова температура повітря становила 16,45 °С та перевищувала усереднене багаторічне значення на 3,85 °С. Дефіцит вологи – на рівні 154,81 мм – спостерігався майже постійно. Це негативно вплинуло на ріст і розвиток рослин. За місяцями вегетаційного періоду опади розподілялися нерівномірно, а середня добова температура була вищою за багаторічну норму. В період відростання пагонів (травень) вона становила 16,2 °С, що на 1,3 °С більше, ніж усереднене багаторічне значення. Це свідчить про достатню забезпеченість рослин теплом.

Результати досліджень

За результатами першого циклу дослідження з'ясовано, що висота рослин енергетичної верби залежала від сортових особливостей. Вид садивного матеріалу як на початку вегетації навесні, так і восени на цей показник не впливав. Достовірно більшим приростом висоти з-поміж двох аналізованих характеризувався сорт верби прутоподібної 'Збруч'.

Особливості відростання енергетичної верби за умови внесення добрив вивчали протягом другого циклу після скошування. Окрім підживлення аміаковою селітрою, на висоту стебел у цей період впливали сортові особливості та вид садивного матеріалу. Вихід останнього залежав від інтенсивності формування вегетативної маси – висоти пагонів, їхнього діаметра та кількості.

У першу дату обліку (перше травня, через місяць після зрізання) рослини, що одержали позакореневе підживлення, продемон-

стрували достовірно більший приріст стебел, як порівняти з контролем обох культиварів

верби, незалежно від виду садивного матеріалу (рис. 1).

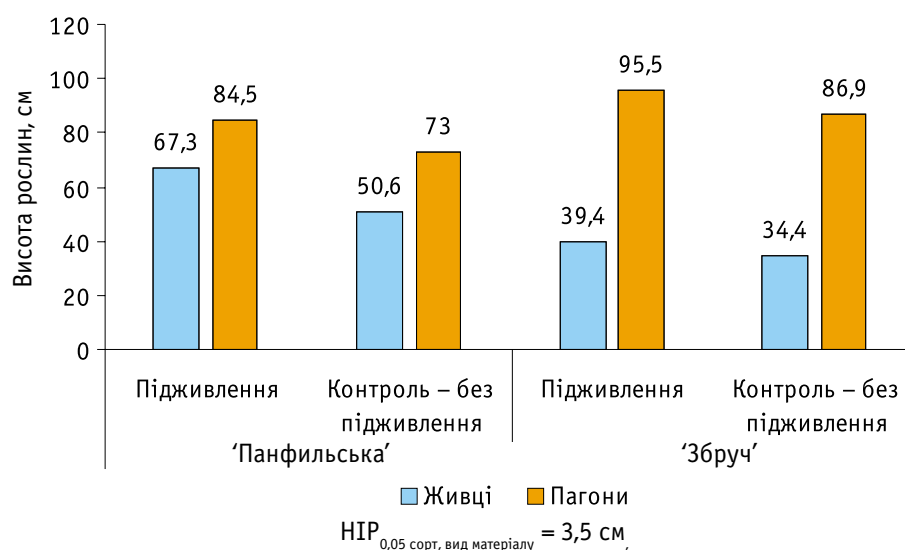


Рис. 1. Висота рослин залежно від виду садивного матеріалу та сортових особливостей станом на 01.05 (середнє за 2023–2024 рр.)

Якщо без застосування добрив висота рослин сорту 'Панфільська', отриманих із живців, становила 60,6 см, а з пагонів – 73,0 см, то за їхнього внесення вона значно збільшилася – на 6,7 та 11,5 см відповідно. Аналогічну залежність спостерігали й для сорту 'Збруч'.

У середньому за два роки висота одержаних із живців стебел (як у контролі, так і за підживлення мінеральними добривами) була достовірно більшою у сорту 'Панфільська',

порівнюючи зі 'Збручем'. Водночас 'Збруч' мав значну перевагу над 'Панфільською' за висотою стебел, вирощених із пагонів, – на 13,9 см із використанням добрив і на 11,0 см у контрольному варіанті.

Такі самі тенденції простежувалися й за показником товщини (діаметра) стебел, що відростали. Його достовірного збільшення, незалежно від виду садивного матеріалу та сорту, було досягнуто завдяки підживленню рослин аміаковою селітрою після зрізання (рис. 2).

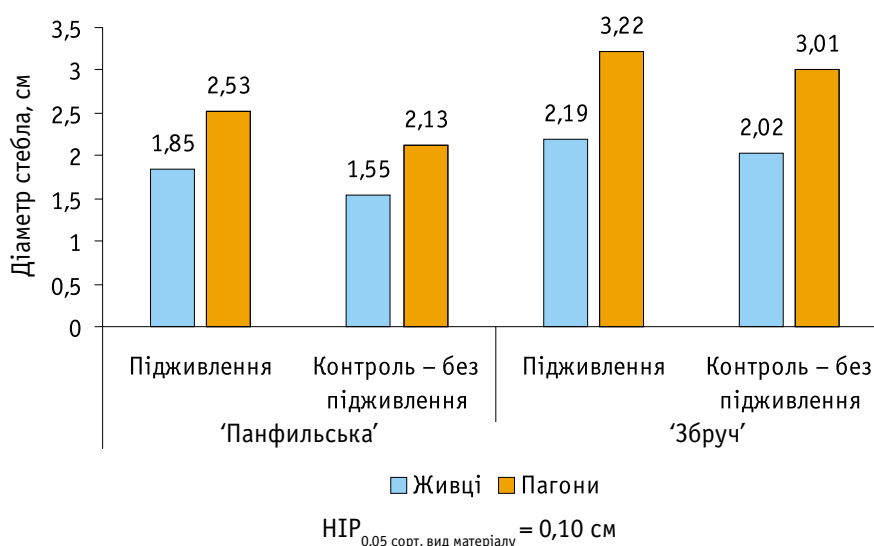


Рис. 2. Діаметр енергетичної верби залежно від виду садивного матеріалу та сортових особливостей станом на 01.05 (середнє за 2023–2024 рр.)

Незалежно від виду садивного матеріалу, верба тритичинкова мала перевагу над прутоподібною за діаметром. Підживлення аміако-

вою селітрою сприяло збільшенню товщини стебел сорту 'Панфільська', отриманих із живців, на 0,29 см, із пагонів – на 0,40 см.

Для культивару ‘Збруч’ ці показники становили відповідно 0,17 та 0,21 см, як порівняти з контролем.

Інтенсивність відростання стебел у варіанті зі внесенням мінеральних добрив після зрізання рослин першого циклу вегетації була достовірно вищою, ніж у контролі. Її максимальні значення серед досліджуваних сортів продемонстрував ‘Збруч’, незалежно від способу зберігання садивного матеріалу.

Значною висотою живців (за умови застосування добрив) характеризувалися рослини енергетичної тритичинкової верби сорту ‘Панфільська’, вирощені з пагонів, які зберігалися в прошарку піску у сховищі (92,11 см) та у поліетиленових мішках у сховищі з обробкою зрізів вапном (92,51 см). Інтенсивність відростання стебел цього ж сорту, отриманих із живців, була достовірно меншою (таблиця).

Таблиця

Відростання рослин верби залежно від виду садивного матеріалу, умов його зберігання та підживлення станом на 01.05 (середнє за 2023–2024 рр.)

Варіант			‘Панфільська’		‘Збруч’	
вид садивного матеріалу	спосіб зберігання	удобрення	висота пагонів, см	діаметр пагонів, см	висота пагонів, см	діаметр пагонів, см
Живці	У контейнерах у сховищі	Без добрив, контроль	50,11	1,62	26,68	2,05
		Підживлення	69,34	2,21	39,34	2,17
	У контейнерах з обробкою зрізів вапном	Без добрив, контроль	50,21	1,62	35,11	2,12
		Підживлення	62,13	1,83	46,71	2,25
	У прошарку піску у сховищі	Без добрив, контроль	46,68	1,54	35,48	1,97
		Підживлення	62,06	1,72	36,87	2,18
Пагони	У прошарку піску з обробкою зрізів вапном	Без добрив, контроль	49,04	1,54	33,2	1,93
		Підживлення	70,8	1,67	37,39	2,13
	У поліетиленових мішках	Без добрив, контроль	57,12	1,43	41,49	2,04
		Підживлення	71,11	1,75	44,49	2,24
	У поліетиленових мішках у сховищі з обробкою зрізів вапном	Без добрив, контроль	53,49	1,57	24,01	1,84
		Підживлення	68,3	1,93	31,42	2,14
Пагони	У контейнерах у сховищі	Без добрив, контроль	68,55	2,21	90,43	2,77
		Підживлення	77,25	2,74	95,61	3,22
	У контейнерах з обробкою зрізів вапном	Без добрив, контроль	75,14	2,14	87,75	3,02
		Підживлення	84,34	2,47	99,78	3,30
	У прошарку піску у сховищі	Без добрив, контроль	75,81	2,17	87,84	3,16
		Підживлення	92,11	2,51	93,69	3,18
Пагони	У прошарку піску з обробкою зрізів вапном	Без добрив, контроль	69,36	2,1	85,54	3,09
		Підживлення	76,48	2,6	95,87	3,2
	У поліетиленових мішках	Без добрив, контроль	74,96	2,01	85,12	3,01
		Підживлення	84,21	2,47	95,98	3,16
	У поліетиленових мішках у сховищі з обробкою зрізів вапном	Без добрив, контроль	73,99	2,14	84,81	2,99
		Підживлення	92,51	2,39	92,31	3,25
НІР _{0,05} загальне			8,45	0,28	12,20	0,32
НІР _{0,05} вид матеріалу			1,72	0,08	3,49	0,10
НІР _{0,05} способи зберігання			2,44	0,08	3,52	0,10
НІР _{0,05} підживлення			4,22	0,14	6,10	0,12

За інших способів зберігання обох видів садивного матеріалу сорту ‘Панфільська’ інтенсивність відростання стебел (як у контролі, так і за підживлення добривами) була достовірно нижчою. Найменший приріст висоти станом на 01.05 спостерігали в рослин, одержаних із живців, які тримали в прошарку піску, – 46,68 см у контролі та 62,06 см зі внесенням добрив.

Як порівняти види садивного матеріалу, то достовірно більшим приростом товщини та висоти стебел відзначилися рослини, одержані завдяки висаджуванню пагонів. Зберігання останніх у прошарку піску у сховищі та в поліетиленових мішках у сховищі з обробкою зрізів вапном забезпечило максимальні показники висоти стебел, од-

нак їхня товщина була більшою в інших варіантах.

Інтенсивність відростання отриманих із пагонів рослин була достовірно більшою в сорту ‘Збруч’, порівнюючи з ‘Панфільською’. Формуванню максимальної висоти стебел цього культивару верби прутopodobної сприяло зберігання садивного матеріалу в контейнерах з обробкою зрізів вапном – 99,78 см, у поліетиленових мішках у сховищі – 95,98 см, а також у контейнерах у сховищі – 95,61 см.

Висновки

Відростання садивного матеріалу залежало від його виду та сортових особливостей. Найліпші показники висоти та діаметра сте-

бел у другому циклі вирощування після скошування біомаси фіксували в рослин, одержаних із пагонів енергетичної верби пруті-подібної сорту 'Збруч'. Ці пагони зберігали в контейнерах, а їхні зрізи обробляли вапном.

References

- Katelevskyi, V. M. (2020). Giant miscanthus yield in the Forest-Steppe of Ukraine under new cultivation practices. *Scientific Papers of the Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet*, 28, 221–229. <https://doi.org/10.47414/np.28.2020.244149> [In Ukrainian]
- Zhang, H., Zhang, Z., Qi, X., Yu, J., Cai, J., & Yang, Z. (2019). Manganese Monoxide/Biomass-Inherited Porous Carbon Nanostructure Composite Based on the High Water-Absorbent Agaric for Asymmetric Supercapacitor. *ACS Sustainable Chemistry and Engineering*, 7(4), 4284–4294. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.8b06049>
- Krzyżaniak, M., Stolarski, M. J., Szczukowski, S., Tworowski, J., Bieniek, A., & Mleczek, M. (2015). Willow biomass obtained from different soils as a feedstock for energy. *Industrial Crops and Products*, 75, 114–121. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.06.030>
- El Bassam, N. (2010). *Handbook of Bioenergy Crops: A Complete Reference to Species, Development and Applications*. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781849774789>
- Fuchylo, Ya. D. (2011). *Plantation Forestry: Theory, Practice, Prospects*. Lohos. [In Ukrainian]
- Roik, M. V., Humenyk, M. Ya., & Mamaisur, V. V. (2013). Prospects for Growing Energy Willow for Solid Biofuel Production. *Bioenergy*, 2, 18–19. [In Ukrainian]
- 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
- Oliinyk, Ye., & Yelovikova, T. (2007). Cultivation of Energy Plantations. *Ahrosektor*, 7–8, 21–22. [In Ukrainian]
- Roik, M. V., Sinchenko, V. M., Fuchylo, Ya. D., Humenyk, M. Ya., Hnap, I. V., Zaimenko, N. V., Rakhmetov, D. B., Kurylo, V. L., Furman, V. A., Makukh, Ya. P., Ivanina, V. V., Sliusar, I. T., Kalenska, S. M., Sabluk, V. T., Hryshchenko, O. M., Hanzhenko, O. M., Tanchyk, S. P., Balahura, O. V., Buzynnyi, M. V., ... Melnychuk, H. A. (2015). *Energy Willow: Cultivation Technology and Application*. Nilan-LTD. <https://doi.org/10.47414/978-966-924-087-3> [In Ukrainian]
- Fuchylo, Ya. D., Zelinskyi, B. V., Ivaniuk, I. D., & Zelinska, L. H. (2023). *Cultivation of energy willow plantations on marginal lands of Kyiv Polissia*. NOVOhrad. [In Ukrainian]
- Fuchylo, Ya. D., Sinchenko, V. M., & Humenyk, M. Ya. (2016). Specifics of growing energy willow. *Bioenergy*, 1, 11–13. [In Ukrainian]
- Sinchenko, V. M., & Melnychuk, H. A. (2018). Economic efficiency of growing energy willow in Ukraine. *Bioenergy*, 1, 41–45. [In Ukrainian]
- Verwijst, T., & Nordh, N.-E. (2010). *The effects of first-year shoot cut back on willow biomass production during the first and second cutting cycle*. Stockholm. <https://www.osti.gov/etdweb/servlets/purl/981897>
- Volk, T. A., Abrahamson, L. P., Buchholz, T., Caputo, J., & Eisenbies, M. (2014). Development and deployment of willow biomass crops. In *Cellulosic Energy Cropping Systems* (pp. 201–217). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781118676332.ch12>
- Labrecque, M., Teodorescu, T. I., Cogliastro, A., & Daigle, S. (1993). Growth patterns and biomass productivity of two *Salix* species grown under short-rotation intensive culture in southern Quebec. *Biomass and Bioenergy*, 4(6), 419–425. [https://doi.org/10.1016/0961-9534\(93\)90063-a](https://doi.org/10.1016/0961-9534(93)90063-a)
- Amichev, B. Y., Hangs, R. D., Bélanger, N., Volk, T. A., Vujanovic, V., Schoenau, J. J., & Van Rees, K. C. J. (2014). First-Rotation Yields of 30 Short-Rotation Willow Cultivars in Central Saskatchewan, Canada. *BioEnergy Research*, 8(1), 292–306. <https://doi.org/10.1007/s12155-014-9519-4>
- Doronin, V. A., Kravchenko, Yu. V., Dryha, V. V., & Doronin, V. V. (2018). Formation of Miscanthus Planting Material in the Second Year of Vegetation Depending on the Elements of Its Cultivation Technology. *Bioenergy*, 2, 28–31. [In Ukrainian]
- Daniuk, Yu. S., & Daniuk, V. O. (2022). Growth of vegetative mass of willow as affected by varietal characteristics and planting material. *Bioenergy*, 1–2, 48–50. <https://doi.org/10.47414/be.1-2.2022.271363> [In Ukrainian]

UDC 633.63; 631.53.027.2

Daniuk, V. O.*, & Doronin, V. A. (2025). The intensity of willow vegetative mass regrowth depending on varietal characteristics, type of planting material, and storage conditions. *Plant Varieties Studying and Protection*, 21(2), 89–93. <https://doi.org/10.21498/2518-1017.21.2.2025.337839>

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

Purpose. To establish the characteristics of regrowth of the above-ground mass of the basket willow and almond willow after harvesting, depending on varietal characteristics, type of planting material, and the use of nitrogen fertilizers. In particular, to determine the height of shoots, their diameter and number, as well as the leaf area. **Methods.** The study was conducted in the experimental field of the Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine in Ksaverivka village, Bila Tserkva district, Kyiv region, from 2023 to 2024. It examined the regrowth characteristics of two types of energy willow ('Panfylska' variety of the almond willow and 'Zbruch' variety of the basket willow) in the second cycle after harvesting the shoots. Experiments were set up in 2020 using cuttings stored in various ways. Harvesting took place

in 2023, after three years of vegetation and before sap flow began. The height and diameter of the shoots were measured from May until the end of the growing season, on the same date each month. **Results.** The stems of plants obtained from the shoots of the basket willow were found to have a significantly higher regrowth intensity than those of the almond willow. The 'Zbruch' variety (with fertilisers) was distinguished by its maximum height in the first year after harvesting. **Conclusions.** The best stem height and diameter indicators in the second growing cycle after harvesting were recorded in plants obtained from the shoots of the 'Zbruch' variety of energy willow. These shoots were stored in containers and their cuts were treated with lime.

Keywords: energy willow; biometric indicators; planting material; vegetative mass.

Надійшла / Received 20.06.2025
Погоджено до друку / Accepted 14.07.2025

Особливості росту іноземних сортів верби прутоподібної (*Salix viminalis* L.) на вилугуваних чорноземах Центрального Лісостепу

Я. Д. Фучило*, Т. А. Левчук

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

Мета. Проаналізувати особливості росту плантацій шістьох сортів верби прутоподібної протягом восьми років їхнього культивування в умовах Правобережного Лісостепу України та встановити оптимальний вік заготівлі біомаси. **Методи.** Польовий, лабораторний, аналітичний і статистичний. **Результати.** Проведені біометричні дослідження восьмирічних пагонів плантацій продемонстрували їхню відмітність за висотою, діаметром та масою. Найбільшими ці показники були в культивару 'Inger' – 6,42 м, 3,3 см та 1,76 кг відповідно, дещо меншими – 6,25 м, 3,1 см та 1,67 кг – у 'Tordis'. Висота решти сортів варіювала в межах 5,90 м ('Warm-maz') – 6,13 м ('Wilhelm'), діаметр змінювався від 1,85 см ('Gigantea') до 2,55 см ('Marzencinski'), а суха маса пагонів становила 0,89 кг ('Gigantea') – 1,05 кг ('Marzencinski'). Продуктивність сухої біомаси була на рівні 9,55 т/га ('Gigantea') – 36,9 т/га ('Inger'). У всіх досліджуваних культиварів спостерігали суттєве зменшення річних приростів за висотою (в 'Tordis' – після п'ятирічного віку, у 'Wilhelm', 'Inger', 'Gigantea' та 'Marzencinski' – після чотирирічного, у 'Warm-maz' – після трирічного) та діаметром (у 'Wilhelm' – після п'яти років, у 'Tordis' – після трьох, у решти – після чотирьох). **Висновки.** Першу заготівлю біомаси досліджуваних плантацій доцільно виконувати в чотирирічному віці, а наступні – у три- або дворічному.

Ключові слова: біоенергетика; енергетичні вербові плантації; ріст за висотою; ріст за діаметром; вік заготівлі біомаси.

Вступ

Екологічні та кліматичні проблеми спонукають світову спільноту до пошуку альтернативних легко відновлюваних джерел енергії [1, 2]. Паризькою кліматичною угодою, ратифікованою Україною, передбачено у другій половині XXI століття сповільнити темпи зростання температури повітря до рівня, який здатна контролювати природа. Для цього планується знизити викиди парникових газів, щорічно залучаючи по 100 млрд доларів на заміну традиційних джерел енергії відновлювальними [3].

Імпорт викопних енергоносіїв до України становить майже 15 млрд доларів [4]. Водночас відновлювальні джерела енергії все ще недостатньо використовуються, хоча останніми роками їхня частка в енергобалансі нашої держави дещо збільшилася. Так, у 2012 р. обсяги заміщення природного газу біопаливом становили лише 1,1 млрд м³, а у 2020-му цей показник зріс до 5,2 млрд м³ [5].

Найперспективнішим видом біоенергетики в Україні, де склалися сприятливі ґрунтово-кліматичні умови для вирощування рослин, є фітоенергетика. До її основних переваг належать екологічна чистота викидів, нейтральний баланс вуглекислого газу в атмосфері, досить висока тепловіддача та низький уміст шкідливих речовин, які виділяються під час згоряння [6]. Зокрема, утворюється у 20–30 разів менше оксиду сірки та в 3–4 рази менше зольних елементів, як порівняти з вугіллям [7]. Побічним продуктом у процесі виробництва газоподібного та рідкого біопалива є органічна речовина, що може бути використана як органічне добриво. Після згоряння твердого біопалива лишаються зольні речовини, які містять значну кількість калію, кальцію, магнію та інших важливих для рослин елементів живлення [7].

На території нашої держави можна успішно вирощувати велику кількість видів і сортів енергетичних культур, тому важливе значення мають дослідження, спрямовані на добір найперспективніших з них [8–10]. У Європі та Північній Америці енергетичну біомасу найчастіше отримують із різних сортів та гібридів верби прутоподібної (*Salix viminalis* L.). Попри те, що ці культурні форми виведено на основі одного виду, вони можуть суттєво різнитися між собою за біолого-екологічними

Yaroslav Fuchylo

<https://orcid.org/0000-0002-2669-5176>

Tymur Levchuk

<https://orcid.org/0009-0002-3600-2756>



© 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.

особливостями та інтенсивністю накопичення енергетичної біомаси.

Мета досліджень – проаналізувати особливості росту плантацій шістьох сортів верби прутіподібної протягом восьми років їхнього культивування в умовах Правобережного Лісостепу України та встановити оптимальний вік заготівлі біомаси.

Матеріали та методика досліджень

Дослідження проводили на дослідному полі Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН України (с. Ксаверівка Друга, Білоцерківський р-н, Київська обл.). Ґрунти – чорноземи типові глибокі малогумусні, грубопилувато-середньосуглинкові зі вмістом гумусу 3,05%; $\text{pH}_{\text{водне}}$ – 6,5, уміст легкогідролізованого азоту – 12,77, рухомого фосфору (за Чириковим) – 189,0, рухомого калію – 113,0 мг/кг ґрунту.

Погодні умови років досліджень були відносно сприятливими для росту енергетичних плантацій верби, хоча й характеризувалися дещо вищою температурою та меншою вологістю, як порівняти з середніми багаторічними значеннями.

Вивчали шість культиварів *Salix viminalis* L.: ‘Tordis’, ‘Inger’ і ‘Wilhelm’ шведської селекції та ‘1047’ (‘Gigantea’), ‘1057’ (‘Marzencinski’) та ‘082’ (‘Warm-maz’) – польської. П’ять із них виведено з різних форм верби прутіподібної, й лише один – ‘Inger’ – є міжвидовим гібридом верб тритичинкової (*S. triandra* L.) та прутіподібної [11, 12].

Насадження було створено навесні 2015 року однорічними живцями по чотири спарені ряди кожного сорту. Схема садіння: $0,75 \times 1,50 \times 0,75$ м. Густота – 15,0 тис. шт./га.

Навесні 2023 року надземну частину плантацій було зрізано та досліджено. Це дало змогу виявити особливості росту та продуктивності насаджень протягом восьми років. Зокрема, завдяки використанню методів лісової таксації [13] вдалося установити річні прирости стовбурів середнього розміру за висотою та діаметром на висоті 1,3 м.

Завдання цієї роботи – визначити оптимальний вік заготівлі біомаси насаджень, основні характеристики яких опубліковано раніше [14, 15]. У процесі досліджень послуговувалися загальноприйнятими науковими методами [16]; опрацювання та аналіз отриманих результатів здійснювали за допомогою ПК.

Результати досліджень

На момент досліджень (весна 2023 року) восьмирічної надземної біомаси плантацій верби прутіподібної збільшення рослин за

діаметром та висотою значно сповільнилося (рис. 1). Також фіксували ознаки припинення росту та деградацію.

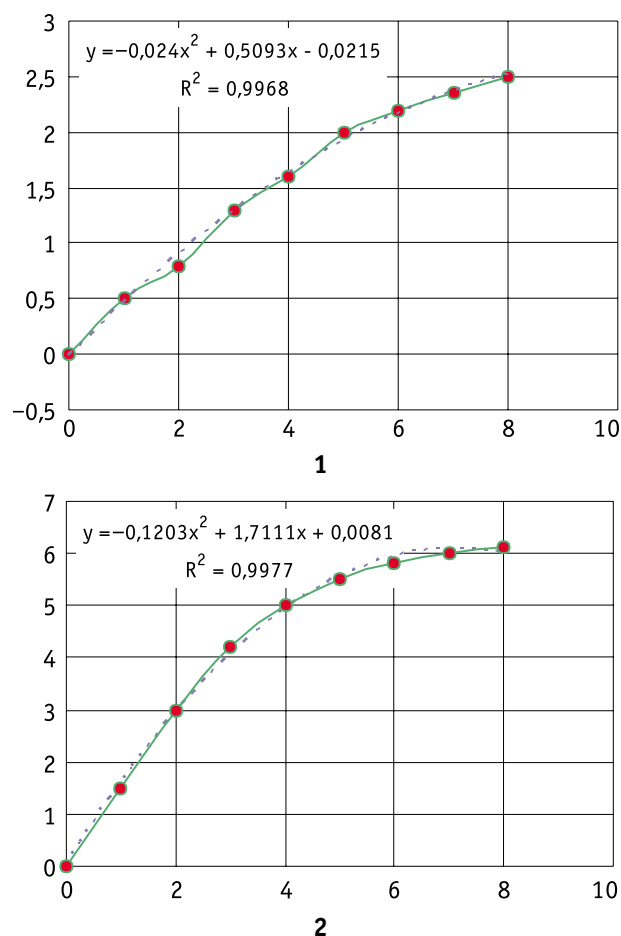


Рис. 1. Хід росту середніх стовбурів сорту верби прутіподібної ‘Wilhelm’ (без кори) за діаметром, см (1) і висотою, м (2)

На рисунку 1 річний приріст за діаметром дерев сорту ‘Wilhelm’ розташований поруч із прямою лінією, хоча з певною тенденцією до зниження в останні роки. Під час досліджень висота та діаметр стовбурів середнього розміру становили 1,3 м та 2,5 см відповідно. Власне, зменшення приросту за висотою було найсуттєвішим. Якщо за перші чотири роки вона досягла значення 5,0 м, то впродовж наступних чотирьох збільшилася лише на 1,13 м. Суха маса середнього пагона сорту ‘Wilhelm’ становила 0,995 кг. Отже, насадження такого типу доцільно зрізувати для отримання енергетичної біомаси після четвертого року вирощування.

Товща блакитна лінія на всіх представлених графіках зображує фактичний хід росту дерев, а тонка чорна – моделі цих процесів, одержані за допомогою пакета Statistika. Також на рисунках простежується тісна кореляція отриманих формул із фактичними дани-

ми. Це забезпечує високий рівень апроксимації (R^2), який у всіх випадках перевищує 0,99.

Культивар 'Tordis' хоч і мав схожі з попереднім сортом прирости (рис. 2), але характеризувався більшими, ніж у нього, діаметром (3,1 см без кори) та висотою (6,25 м). Зокрема, через швидші темпи росту у восьмирічному віці. Абсолютно суха маса середнього стовбура 'Tordis' становила 1,67 кг.

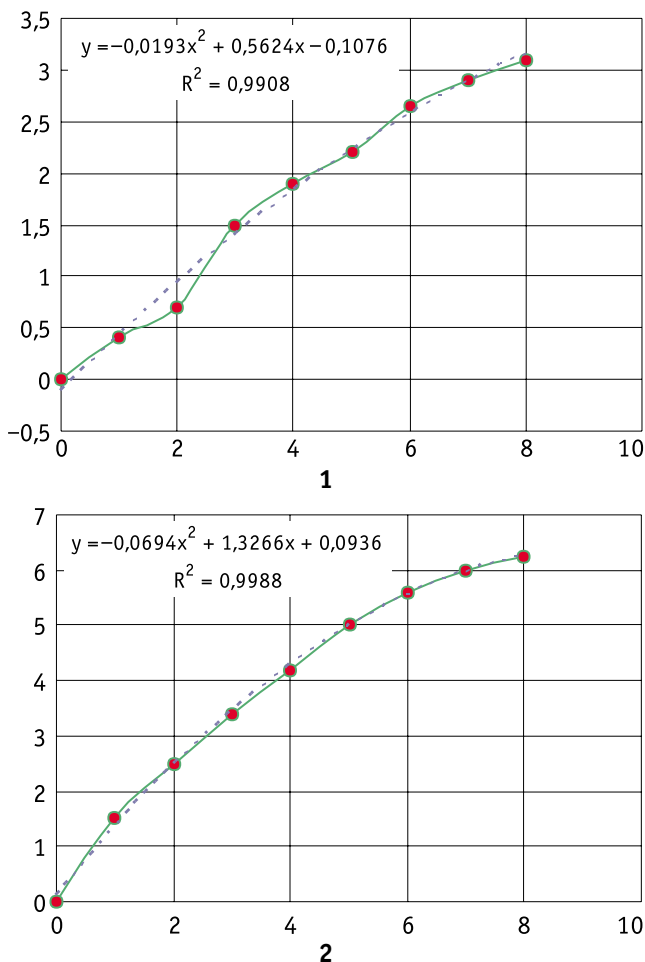


Рис. 2. Хід росту середніх стовбурів сорту верби прутоподібної 'Tordis' (без кори) за діаметром, см (1) і висотою, м (2)

З-поміж усіх досліджуваних саме рослини сорту 'Inger' мали найбільший діаметр (3,3 см) у восьмирічному віці, а також максимальні висоту (6,42 м) та масу (1,76 кг) (рис. 3). Найінтенсивніше вказані показники зростали до чотирирічного віку, тому доцільно заготовляти енергетичну біомасу на плантаціях цього культивуру в чотири – п'ять років.

Слід зауважити, що 'Inger' є єдиним гібридом між вербами тритичинковою та прутоподібною серед усіх описаних у роботі сортів. Це підтверджує висновки канадських дослідників [17] про те, що ліпші вкоріненість живців і ріст пагонів у провінції Альберта мають

види верб, пристосовані до низинних умов із частими повеннями. Саме такою є поширена в Україні *S. triandra* [18, 19].

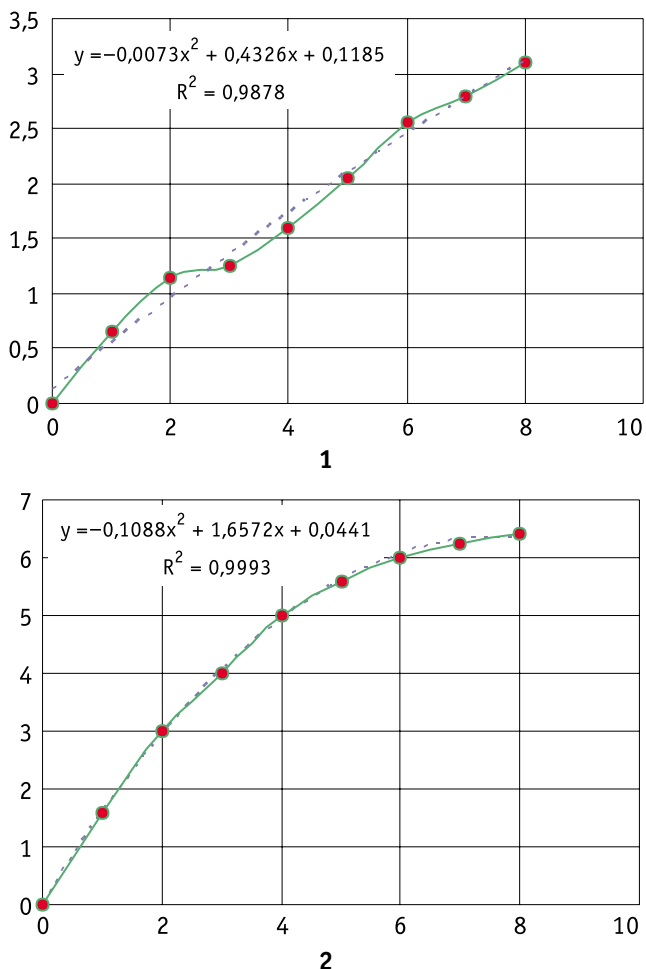


Рис. 3. Хід росту середніх стовбурів сорту верби прутоподібної 'Inger' (без кори) за діаметром, см (1) і висотою, м (2)

У сорту '082', або 'Warm-maz', з трирічного віку суттєво знизився приріст за висотою, а з чотирирічного – за діаметром (рис. 4), що вказує на доцільність заготівлі біомаси у тричотири роки. У восьмирічному віці пагони цього культивуру досягли 5,9 м, діаметр становив 2,3 см, а суха маса – 0,938 кг.

Схожа ситуація склалася із сортом '1047', або 'Gigantea', приріст якого за висотою та діаметром різко зменшився після чотирьох років (рис. 5). Тому саме цей вік слід вважати оптимальним для заготівлі енергетичної біомаси. Суха біомаса одного середнього восьмирічного стовбура культивуру становила 0,89 кг за висоти 5,97 м та діаметра 1,85 см.

Сорт '1057' ('Marzencinski') мав дещо вищі показники, як порівняти з двома іншими польськими культиварами. Його висота становила 6,11 м, діаметр – 2,55 см, а суха маса – 1,05 кг.

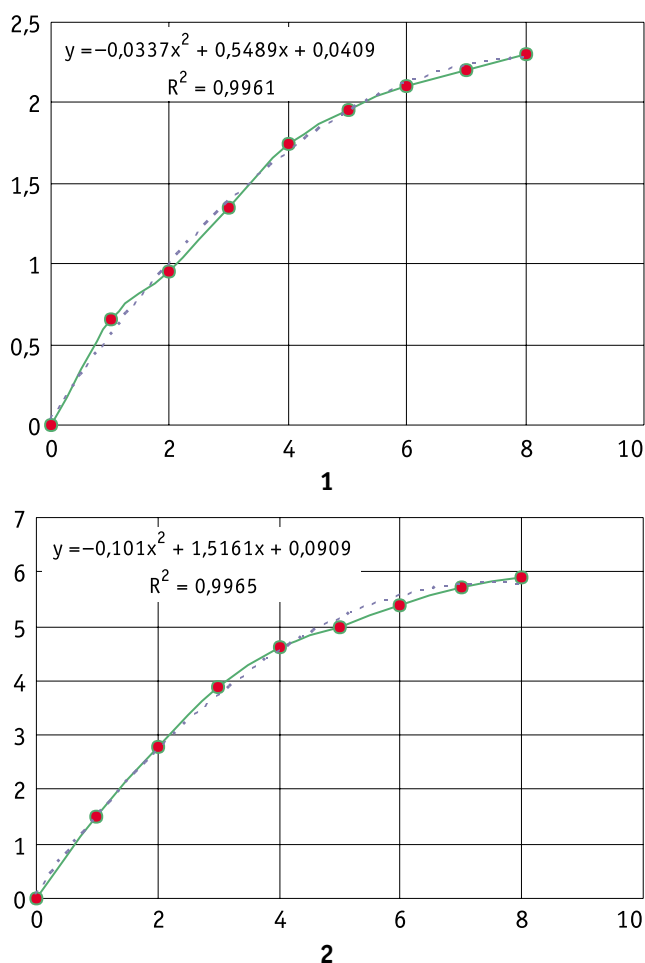


Рис. 4. Хід росту середніх стовбурів сорту верби прутоподібної '082' (без кори) за діаметром, см (1) і висотою, м (2)

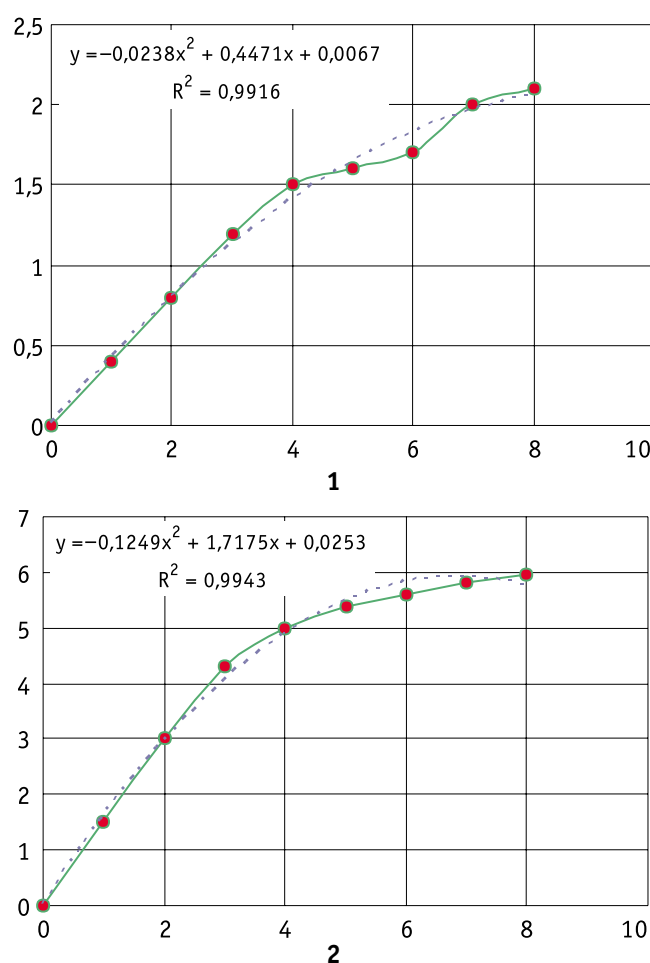


Рис. 5. Хід росту середніх стовбурів сорту верби прутоподібної '1047' (без кори) за діаметром, см (1) і висотою, м (2)

Отже, плантації досліджуваних сортів певною мірою різнилися між собою за висотою, діаметром та масою пагонів (а відповідно, й за продуктивністю біомаси). Найбільшими ці біометричні показники були в культивару 'Inger' – 6,42 м, 3,3 см та 1,76 кг відповідно, дещо меншими – 6,25 м, 3,1 см та 1,67 кг – у 'Tordis'. Висота решти сортів варіювала в межах 5,90 м ('Warm-maz') – 6,13 м ('Wilhelm'), діаметр змінювався від 1,85 см ('Gigantea') до 2,55 см ('Marzencinski'), а суха маса пагонів становила 0,89 кг ('Gigantea') – 1,05 кг ('Marzencinski').

Максимальною продуктивністю біомаси у восьмирічному віці відзначилися сорти 'Inger' та 'Wilhelm' – 36,9 та 31,10 т/га відповідно, а мінімальною – 9,55 т/га – 'Gigantea'. Врожайність культивару 'Tordis' становила 11,0 т/га, 'Marzencinski' та 'Warm-maz' – 19,65 і 20,0 т/га.

Продуктивність залежала не лише від розмірів і маси пагонів. Кількість останніх на одну рослину та збереженість рослин кожного сорту також значною мірою впливали на цей

показник [14, 15]. Водночас у всіх досліджуваних сортів спостерігали суттєве зменшення річних приростів за висотою (в 'Tordis' – після п'ятирічного віку, у 'Wilhelm', 'Inger', 'Gigantea' та 'Marzencinski' – після чотирирічного, у 'Warm-maz' – після трирічного) та діаметром (у 'Wilhelm' – після п'яти років, у 'Tordis' – після трьох, у решти – після чотирьох).

Заготівлю енергетичної біомаси на плантаціях верби найчастіше здійснюють із періодичністю що три роки [20–22]. Утім, як показали наші дослідження, перше зрізання надземної частини в багатьох випадках доцільніше виконувати у чотирирічному віці. Це зумовлено тим, що дерева протягом першого року ростуть із живців, витрачаючи багато пластичних речовин на формування кореневих систем, а тому не можуть повною мірою проявити свій потенціал до накопичення біомаси в наземній частині. Початок росту наступних генерацій є значно інтенсивнішим завдяки добре розвинутим кореневим системам. Це дає змогу скоротити вік їхньої ротації до трьох або двох років.

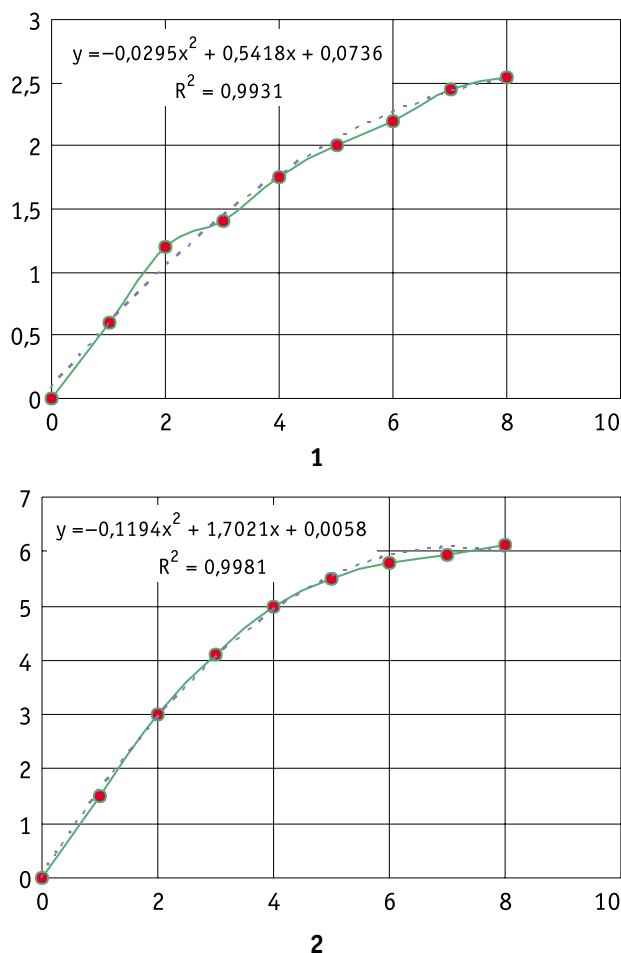


Рис. 6. Хід росту середніх стовбурів сорту верби прутоподібної '1057' (без кори) за діаметром, см (1) і висотою, м (2)

Висновки

Серед верб, які вирощують на енергетичну біомасу, переважають сорти та гібриди верби прутоподібної (*Salix viminalis* L.). Вони можуть суттєво різнитися між собою як за біолого-екологічними особливостями й морфометричними показниками, так і за продуктивністю біомаси.

Проведені біометричні дослідження шести культиварів, вирощених на вилугуваних чорноземах Правобережного Лісостепу України, показали їхню відмітність за середньою висотою восьмирічних пагонів рослин, усередненим діаметром пагона на висоті 1,3 м та сухою масою середніх пагонів. Найбільшими ці показники були в сорту 'Inger' – 6,42 м, 3,3 см та 1,76 кг відповідно, дещо меншими – 6,25 м, 3,1 см та 1,67 кг – у 'Tordis'. Висота решти культиварів варіювала в межах 5,90 м ('Warm-maz') – 6,13 м ('Wilhelm'), діаметр змінювався від 1,85 см ('Gigantea') до 2,55 см ('Marzencinski'), а суха маса пагонів становила 0,89 кг ('Gigantea') – 1,05 кг ('Marzencinski').

Максимальною продуктивністю біомаси у восьмирічному віці відзначилися сорти 'Inger' та 'Wilhelm' – 36,9 та 31,10 т/га відповідно, а мінімальною – 9,55 т/га – 'Gigantea'. Врожайність культивуру 'Tordis' становила 11,0 т/га, 'Marzencinski' та 'Warm-maz' – 19,65 і 20,0 т/га. Продуктивність залежала не лише від розмірів і маси пагонів. Кількість останніх на одну рослину та збереженість рослин кожного сорту також значною мірою впливали на цей показник.

У насадженнях усіх досліджуваних сортів спостерігали суттєве зменшення річних приростів за висотою та діаметром після досягнення рослинами трьох – п'яти років (переважно чотирьох). Тому в цьому віці доцільно проводити першу заготівлю енергетичної біомаси.

References

- Ahmad, M., Ahmed, Z., Majeed, A., & Huang, B. (2021). An environmental impact assessment of economic complexity and energy consumption: Does institutional quality make a difference? *Environmental Impact Assessment Review*, 89, Article 106603. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2021.106603>
- Adedoyin, F. F., Alola, A. A., & Bekun, F. V. (2020). An assessment of environmental sustainability corridor: The role of economic expansion and research and development in EU countries. *Science of The Total Environment*, 713, Article 136726. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.136726>
- Adoption of the Paris agreement. 2015. <https://unfccc.int/resource/docs/2015/cop21/eng/l09r01.pdf>
- Solarin, S. A. (2020). An environmental impact assessment of fossil fuel subsidies in emerging and developing economies. *Environmental Impact Assessment Review*, 85, Article 106443. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2020.106443>
- State Statistics Service of Ukraine. (2020). *Energy balance of Ukraine for 2020*. https://www.ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2021/energ/En_bal/Bal_2020_ue.xls [In Ukrainian]
- Teske, S., & Pregger, T. (2019). Introduction. In *Achieving the Paris Climate Agreement Goals* (pp. 1–4). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-05843-2_1
- Sinchenko, V. M. (Ed.). (2023). *Energy willow: Cultivation and use technology*. Tvory. [In Ukrainian]
- Neves, A., Godina, R., Azevedo, S. G., & Matias, J. C. O. (2020). A comprehensive review of industrial symbiosis. *Journal of Cleaner Production*, 247, Article 119113. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119113>
- Mundaca, L., Ürge-Vorsatz, D., & Wilson, C. (2018). Demand-side approaches for limiting global warming to 1.5 °C. *Energy Efficiency*, 12(2), 343–362. <https://doi.org/10.1007/s12053-018-9722-9>
- Pittau, F., Lumia, G., Heeren, N., Iannaccone, G., & Habert, G. (2019). Retrofit as a carbon sink: The carbon storage potentials of the EU housing stock. *Journal of Cleaner Production*, 214, 365–376. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.12.304>
- El Bassam, N. (2012). *Handbook of Bioenergy Crops: A Complete Reference to Species, Development and Applications*. Earthscan.
- Caslin B., Finnan J., McCracken A. (Eds). *Willow Varietal Identification Guide*. Teagasc.
- Pasternak, V. P., & Nazarenko, V. V. (2019). *Forest Inventory*. Kharkiv National Agrarian University. [In Ukrainian]
- Fuchylo, Ya. D., & Levchuk, T. A. (2024). Productivity of the rod-shaped willow depends on varietal characteristics and frequency of biomass harvesting. *Bioenergy*, 1, 16–18. <https://doi.org/10.47414/be.2024.no1.pp16-18>

15. Fuchylo, Ya. D., & Levchuk, T. A. (2024). Productivity of six varieties of basket willow in a three-year cycle of biomass harvesting. *Bioenergy*, 2, 35–37. <https://doi.org/10.47414/be.2024.No2.pp35-37>
16. Sinchenko, V. M. (Ed.). (2018). *Methodology for research into energy plantations of willows and poplars*. Komprint. [In Ukrainian]
17. Pollock, A., Grant, K. R., & Schoonmaker, A. (2025). Size Influences on the Survival of Willow Cuttings Under Operational Field Conditions. *Ecology and Evolution*, 15(1), Article e70835. <https://doi.org/10.1002/ece3.70835>
18. Fuchylo, Ya. D., & Sbytna, M. V. (2017). *Willows of Ukraine: Biology, ecology, use* (2nd ed., rev. and enl.). Komprint. [In Ukrainian]
19. *Salix triandra*. (2020). *Willows of Northern Europe: A guide to the identification and ecology of a northern keystone plant group*. https://willows-of-northern-europe.org/Salix_triandra.html
20. Borz, S. 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>
21. Livingstone, D., Smyth, B. M., Lyons, G., Foley, A. M., Murray, S. T., & Johnston, C. (2022). Life cycle assessment of a short-rotation coppice willow riparian buffer strip for farm nutrient mitigation and renewable energy production. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 158, Article 112154. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112154>
22. Quinn, R. J., Ha, H., Volk, T. A., Brown, T. R., Bick, S., Malmsheimer, R. W., & Fortier, M. P. (2020). Life cycle assessment of forest biomass energy feedstock in the Northeast United States. *GCB Bioenergy*, 12(9), 728–741. <https://doi.org/10.1111/gcbb.12725>

UDC 662.631:620.952

Fuchylo, Ya. D., & Levchuk, T. A. (2025). Growth characteristics of foreign willow (*Salix viminalis* L.) varieties on leached chernozems of the Central Forest-Steppe. *Plant Varieties Studying and Protection*, 21(2), 94–99. <https://doi.org/10.21498/2518-1017.21.2.2025.333455>

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

Purpose. To analyze the growth characteristics of six varieties of basket willow plantations over eight years of cultivation in the Right-Bank Forest-Steppe of Ukraine. Establish the optimal age for harvesting biomass. **Methods.** Field, laboratory, analytical and statistical. **Results.** Biometric studies of eight-year-old shoots from plantations revealed differences in their height, diameter, and weight. The cultivar 'Inger' had the highest values: 6.42 m, 3.3 cm, and 1.76 kg, respectively. The values were slightly lower for 'Tordis': 6.25 m, 3.1 cm, and 1.67 kg. The heights of the other varieties ranged from 5.90 m ('Warm-maz') to 6.13 m ('Wilhelm'), the diameters ranged from 1.85 cm ('Gigantea') to 2.55 cm ('Marzencinski'), and the dry weights of the shoots ranged from 0.89 kg ('Gigantea') to 1.05 kg

('Marzencinski'). Dry biomass productivity ranged from 9.55 t/ha ('Gigantea') to 36.9 t/ha ('Inger'). A significant decrease in annual height growth was observed in all the studied cultivars: after five years in 'Tordis', after four years in 'Wilhelm', 'Inger', 'Gigantea', and 'Marzencinski', and after three years in 'Warm-maz'. A significant decrease in diameter growth was observed after five years in 'Wilhelm', after three years in 'Tordis', and after four years in the rest. **Conclusions.** The first harvesting of biomass from the studied plantations should be carried out at the age of four years, and the subsequent harvesting at the age of three or two years.

Keywords: bioenergy; energy willow plantations; height growth; diameter growth; age of biomass harvesting.

Надійшла / Received 09.04.2025
Погоджено до друку / Accepted 20.06.2025

Сортові особливості формування врожаю картоплі різних груп стиглості у Правобережному Лісостепу України

В. В. Яценко*, Н. В. Яценко

Уманський національний університет, вул. Інститутська, 1, м. Умань, Черкаська обл., 20301, Україна,
*e-mail: slaviksklavyn16@gmail.com

Мета. Встановити особливості формування продовольчої та насінневої фракцій урожаю сортів картоплі різних груп стиглості, а також біохімічні показники. **Методи.** Впродовж 2021–2024 рр. у польових умовах Лісостепу (м. Умань, 48°46'N, 30°14'E) досліджували 15 сортів картоплі (ранньостиглі: 'Рудольф' St, 'Мадейра', 'Санібель', 'Прада'; середньостиглі: 'Доната' St, 'Рікарда', 'Альянс', 'Містерія', 'Алюетт', 'Княжа'; пізньостиглі: 'Промінь' St, 'Родео', 'Случ', 'Тоскана', 'Бурана'). Було проаналізовано їхню відмітність за стеблоутворювальною здатністю, густотою стеблостою, кількістю, масою та фракційним складом товарних бульб у куші; врожайність та якісні показники бульб. **Результати.** За результатами досліджень визначено найперспективніші сорти картоплі з погляду одержання товарного врожаю для споживання. Найбільшу густоту стеблостою – 256,1 тис. шт./га – утворили ранньостиглі культивари, істотно меншу – 213,0 і 207,1 тис. шт./га – середньо- та пізньостиглі відповідно. Показник кількості бульб несуттєво варіював між групами стиглості – 8,8; 7,7 і 8,9 шт. А от маса бульб змінювалася істотно та становила 55,9 г у ранніх сортів, 85,6 – у середньостиглих, а також 109,6 г – у пізньостиглих. Її максимальні значення продемонстрували культивари 'Мадейра' (63,4 г), 'Містерія' (101,0 г) та 'Родео' (128,7 г). Найліпшими за показником загального товарного врожаю виявилися 'Прада' та 'Княжа' – 24,42 і 24,26 т/га, 'Алюетт' – 28,55, 'Случ' і 'Тоскана' – 41,69 і 43,21 т/га. Також було встановлено, що в ранньостиглих сортів переважає насіннева частка використання врожаю – 52% проти 48%, а в середньо- та пізньостиглих – продовольча – 63% проти 37% та 60% проти 40% відповідно. Отримані дані свідчать про тісний зв'язок між групою стиглості та структурою врожаю за цільовим призначенням, що є важливим для оптимізації напрямів використання сортів у системі вирощування, зберігання й реалізації продукції. **Висновки.** Сорти картоплі різних груп стиглості суттєво відрізняються за морфологічними ознаками та продуктивністю. Дані щодо їхньої відмітності за співвідношенням насінневої та продовольчої часток урожаю мають важливе прикладне значення для регіональної агротехнологічної практики. Зважаючи на те, що ранньостиглі сорти формують більшу частку насінневої картоплі, їх доцільно використовувати як джерела високоякісного посадкового матеріалу з можливістю прискореного оновлення сортового складу. Натомість середньостиглі та пізньостиглі культивари з вищим відсотком продовольчого врожаю є придатнішими для забезпечення стабільного продовольчого фонду. Такий підхід дає змогу підвищити ефективність використання сортових ресурсів, оптимізувати структуру посівів та сформувати адаптовану систему картоплевищництва, орієнтовану на потреби внутрішнього ринку й насінневого забезпечення.

Ключові слова: стеблостій; маса бульби картоплі; врожайність; крохмаль; суха речовина.

Вступ

Картопля (*Solanum tuberosum* L.) – одна з найважливіших продовольчих культур України, що задовольняє значну частину харчових потреб населення та слугує основою для насінневого матеріалу. Проте 2025 року в нашій державі спостерігається її дефіцит, що зумовлено зниженням посівних площ і врожайності. Якщо у 2022 р. площа під цією культурою становила приблизно 1,2 млн га з валовим виробництвом понад 20,9 млн т, то у 2024-му середні показники врожайності досягали

лише 15–25 т/га, що майже вдвічі менше, ніж у попередні періоди (35–60 т/га). Це призвело до зниження загального виробництва орієнтовно на 18% (приблизно на 4 млн т), як порівняти з 2023 роком, і, відповідно, до значного дефіциту продукції. Внаслідок цього відбулося зростання цін на картоплю до 25–30 гривень за кілограм, а також виникла потреба в імпорті, зокрема з Польщі та Литви [1, 2].

З огляду на такі тенденції, актуальним є пошук способів підвищення ефективності картоплярського виробництва через оптимізацію сортового складу відповідно до регіональних ґрунтово-кліматичних умов. Одним із ключових аспектів є аналіз співвідношення насінневої та продовольчої часток урожаю серед сортів різних груп стиглості, що дає змогу цілеспрямовано формувати структуру

Viacheslav Yatsenko
<https://orcid.org/0000-0003-2989-0564>
Nataliia Yatsenko
<https://orcid.org/0000-0003-3752-314X>



© 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.

посівів та планувати напрями використання продукції. Ранньостиглі культивари, які формують більшу частину насінневого матеріалу, можуть бути джерелом якісної садивної картоплі для прискореного оновлення сортового складу. Натомість середньо- та пізньостиглі сорти з вищим відсотком продовольчої продукції є важливими для стабільного забезпечення внутрішнього ринку [3, 4].

Завдяки досягненням сучасної селекційної науки створено широкий спектр сортів картоплі, що характеризуються різним терміном дозрівання, значною врожайністю, підвищеною стійкістю проти збудників хвороб і шкідників, а також адаптованістю до механізованого вирощування. Результати досліджень вітчизняних та іноземних науковців свідчать, що потенційна врожайність новітніх сортів картоплі може досягати 80–100 т/га і більше [5], однак фактичні показники в Україні лишаються значно нижчими.

Підтверджено вагому роль сортового складу у збільшенні врожайності та поліпшенні якості продукції сільськогосподарських культур [6, 7]. За даними В. Д. Паламарчука та співавторів [8], впровадження у господарствах двох-трьох сортів картоплі з різними термінами дозрівання дає змогу підвищити стабільність виробництва, особливо за несприятливих агрокліматичних умов.

Сорти картоплі відрізняються за термінами дозрівання, стійкістю проти фітопатогенів, морфологічними та якісними показниками бульб, а також за вимогами до теплового режиму, вологості та родючості ґрунту. Крім того, вони мають неоднаковий рівень чутливості до застосування мінерального живлення.

Завдяки здатності формувати глибоко розвинену кореневу систему середньопізні сорти є більш стійкими проти абіотичних стресових факторів (посухи, дефіциту вологи та елементів живлення), а тому мають вищу врожайність [9]. Коренева система ранніх культиварів менш розвинена. Через це вони сприйнятливіші до ураження хворобами й формують менші врожаї, що характеризуються нижчим умістом крохмалю та гіршою лежкістю бульб. Водночас вказані недоліки компенсуються можливістю одержання ранньої продукції [10]. Зменшенню втрат урожаю від фітофторозу сприяє використання сортів із різним терміном дозрівання [11]. Останні також демонструють варіативну реакцію на рівень і співвідношення мінерального живлення, на середньому агрофоні якого ($N_{60}P_{60}K_{60}$) зі збільшенням тривалості вегетаційного періоду зростає продуктивність картоплі [12, 13]. Внесення підвищених норм добрив ($N_{120}P_{120}K_{120}$)

зумовлює значне збільшення врожайності середньоранніх і середньостиглих сортів, які можуть значно перевищувати інші групи за показниками продуктивності.

У дослідженнях А. І. Павлова [14], що мають практичну цінність для селекції, розглянуто спадковість господарсько-цінних ознак у гібридному потомстві картоплі. Зокрема, проаналізовано вплив сортових особливостей на продуктивність і вміст крохмалю, а також враховано кореляційні зв'язки, що є важливими за добору сортів.

Г. С. Балашова та ін. [15] вивчали сортоспецифічні особливості насінневого розмноження у складних агроекологічних умовах. Вчені надали конкретні рекомендації щодо культиварів для повторного літнього вирощування, але недостатньо розкрили фізіолого-біохімічні аспекти формування насінневої продуктивності.

М. В. Остренко зі співавторами [16] здійснили практично орієнтоване оцінювання агрономічних властивостей сортів картоплі та виокремили сорт 'Щедрик' як перспективний за продуктивністю в умовах Правобережного Лісостепу України. Проте дослідження охоплювало лише ранньостиглу групу культиварів, що обмежило можливості узагальнення отриманих результатів. Відсутність порівняльного аналізу з середньо- та пізньостиглими сортами не дала змоги комплексно оцінити адаптивно-продуктивний потенціал різних груп стиглості в регіональних умовах. Тому для формування науково обґрунтованих рекомендацій щодо сортової політики в зоні Лісостепу доцільно вивчати ширший спектр культиварів із різною тривалістю вегетаційного періоду. Це забезпечить одержання більш репрезентативної оцінки сортових ресурсів і сприятиме раціоналізації агротехнологічних підходів у регіональному картоплярстві.

Серед наукових праць, тематично наближених до цього напрямку досліджень, варто виокремити роботу А. С. Дарманського [17], в якій проведено комплексне оцінювання 10 сортів картоплі різних груп стиглості – ранньостиглих, середньостиглих та пізньостиглих – за рівнем урожайності у степовій зоні України. Аналіз такого широкого спектра культиварів із відмітною тривалістю вегетаційного періоду має прикладне значення, оскільки дає змогу об'єктивно порівняти їхню продуктивність у конкретних ґрунтово-кліматичних умовах. Цей підхід є важливим з погляду диференційованого, доцільного використання сортів у регіонах із контрастними агрокліматичними режимами відповідно до агротехнологічних вимог, строків дозрівання

та цільового призначення врожаю. Сорти середньої та пізньої груп стиглості продемонстрували найвищу врожайність. Вона залежала від таких морфологічних показників, як кількість стебел, маса бульб із куща та товарна частка врожаю. Найліпшою адаптивністю характеризувалися культивари 'Случ', 'Промінь' і 'Скарб'. Одержана інформація має практичне значення для добору сортів, придатних до вирощування в умовах посушливого Степу, та підкреслює важливість адаптивних властивостей.

С. А. Вдовенко та співавтори [18] провели дослідження, пов'язані з формуванням врожаю насінневої картоплі в умовах Правобережного Лісостепу. Зокрема, проаналізували, як на її продуктивність впливають різні системи живлення, застосування регуляторів росту та позакоренових підживлень. Також автори оцінили ефективність використання органічних і мінеральних добрив, сидерації з метою оптимізації росту та розвитку рослин. Було визначено, що частка насінневої фракції залежно від варіанту варіювала в межах 43–57%, а приріст її врожаю становив 2,4–11,4 т/га. Інше дослідження С. А. Вдовенка [19], пов'язане з використанням регуляторів росту, продемонструвало підвищення врожайності насінневої картоплі на 0,4–3,4 т/га залежно від варіанту.

Варто вказати на відсутність публікацій із результатами порівняння продуктивності різностиглих сортів картоплі в умовах Лісостепу для продовольчих і насінницьких цілей. Так, немає жодних даних щодо частки насінневої фракції врожаю, вирощеного з продовольчою метою, зокрема, для використання в домашніх господарствах.

Мета досліджень – вивчити особливості формування продовольчої та насінневої фракцій урожаю сортів картоплі різних груп стиглості та виділити найперспективніші за комплексом господарсько-цінних ознак сорти, адаптовані для впровадження у виробництво в умовах Лісостепу.

Матеріали та методика досліджень

Дослідження виконували протягом 2021–2024 рр. у польових і лабораторних дослідах кафедри рослинництва Уманського національного університету (м. Умань, 48°46'N, 30°14'E) в умовах Правобережного Лісостепу України.

Ґрунт дослідного поля – чорнозем опідзолений малогумусний важкосуглинковий на карбонатному лесі. Характеризується глибоким заляганням карбонатів (115–120 см) і невисоким умістом гумусу в орному шарі. Ступінь

насиченості ґрунтового профілю основами – 91,0–91,8%, реакція ґрунтового розчину – слабкокисла (рН 5,91–6,44). Гідролітична кислотність становить 2,46 мг-екв/100 г ґрунту, вміст рухомих форм фосфору та калію (за Чириковим) – 97,47–132,02 мг/кг ґрунту, а легкогідролізованого азоту (за Корнфілдом) – 61,48–92,51 мг/кг ґрунту.

Погодні умови 2021–2022 сільськогосподарського року характеризувалися близьким до середньобогаторічного температурним режимом і значно нижчим, ніж у попередні роки, рівнем опадів. Показники температури повітря 2022, 2023 і 2024 рр. (зокрема, в липні 2022 р., червні 2023-го, травні та липні 2024 р.) були вищими за багаторічні, а от значення кількості опадів, навпаки, істотно поступалися їм (табл. 1).

Таблиця 1

Кліматична карта за період вегетації рослин картоплі (за даними метеостанції «Умань»)

Місяць	2021	2022	2023	2024
Кількість опадів, мм				
Квітень	49,9	57,7	129,6	56,2
Травень	56,4	22,4	42,4	4,8
Червень	104,7	36,3	15,8	56,5
Липень	89,8	28,1	92,5	17,9
Серпень	69,9	44,4	12,0	17,7
Σ	370,7	188,9	292,3	153,1
Температура повітря, °C				
Квітень	7,4	8,6	8,8	13,0
Травень	14,0	14,5	15,4	15,3
Червень	19,8	20,5	19,6	21,2
Липень	23,0	21,0	21,3	24,3
Серпень	20,3	21,7	22,9	23,1
Х	16,9	17,3	17,6	19,4

Об'єктом дослідження слугували 15 сучасних насінневих і продовольчих сортів картоплі різних груп стиглості, представлених на вітчизняному ринку та поширених у зоні Лісостепу [20]. Багато з них мають іноземне походження або є гібридними розробками з високими агрономічними показниками (табл. 2).

За інформацією з оголошень насінневих постачальників України, насінневий матеріал переважної більшості сортів картоплі є доступним в репродукціях 1–2-го рівнів [21]. Найчастіше посадковий матеріал походить із сертифікованих господарств, що працюють з новими сортами (імпорт із Західної Європи, Ізраїлю, а також українські селекційні станції), а пропозиції від постачальників містять підтверджені дані щодо репродукції, якості та обмежених обсягів.

Архітектуру для порівняльного дослідження адаптивності, потенціалу врожайності та якісних характеристик у відмітні агрокліма-

Таблиця 2

Характеристика досліджуваних сортів картоплі [20]

Група стиглості	Сорт	Країна походження	Рекомендована зона*	Напрямок використання	Рік реєстрації
Ранньостиглі	‘Рудольф’ St	Велика Британія	Л	столовий	2016
	‘Мадейра’	Німеччина	Л	столовий	2018
	‘Санібель’	Німеччина	Л П	столовий	2019
	‘Прада’	Нідерланди	Л П	столовий	2020
	‘Княжа’	Україна	П	столовий	2020
Середньостиглі	‘Доната’ St	Німеччина	Л П	столовий	2019
	‘Рікарда’	Німеччина	Л П	столовий	2019
	‘Альянс’	Україна	Л П	столовий	2020
	‘Містерія’	Україна	П	столовий	2020
	‘Алюет’	Нідерланди	Л П	універсальний	2020
Пізньюстиглі	‘Промінь’ St	Україна	С Л	столовий	2006
	‘Родео’	Нідерланди	Л П	столовий	2010
	‘Случ’	Україна	Л П	столовий	2014
	‘Тоскана’	Німеччина	Л П	столовий	2015
	‘Бурана’	Німеччина	Л П	технічний	2016

* Л – Лісостеп, П – Полісся, С – Степ.

тичні періоди створили, включивши до переліку широкий спектр сортів – ранніх, середньостиглих та пізніх, що також дало змогу науково обґрунтувати їхнє використання з різною метою: для насінневого або продовольчого забезпечення, товарного вигляду й адаптації до місцевих умов. Завдяки такому підходу вдалося реалізувати порівняльний аналіз за основними господарсько-цінними показниками та рекомендувати оптимальний сортовий склад для Лісостепової зони України.

Отже, досліджувані сорти картоплі відображають добір із метою побудови комплексного аналізу сортопродуктивного потенціалу з огляду на строки стиглості, адаптаційний ресурс і перспективне використання в насінневому чи продовольчому напрямках.

Для кожної групи стиглості було обрано стандарт – зазвичай найбільш апробований і раніше зареєстрований сорт. Бульби висаджували у другій декаді квітня за такою схемою: ранньостиглі сорти – 70 × 30 см (47 619 росл./га); середньо- та пізньюстиглі – 70 × 35 см (40 816 росл./га). Площа облікової ділянки становила 150 м², повторення чотириразове. Попередник картоплі – гарбуз. Технологія вирощування була загальноприйнятою для Лісостепу України.

Облік і спостереження проводили відповідно до загальноприйнятих методик за такими показниками:

– біометричні дослідження виконували на 10 типових рослинах у двох несуміжних повтореннях у фазі повного відмирання бадилля (ВВСН 97–99), що забезпечило репрезентативність вибірки. Для фракціонування бульб за морфологічними ознаками здійснили морфологічний аналіз 100 типових рослин. Це дало змогу отримати об’єктивні кількісні характеристики структури врожаю, а

також забезпечило високу точність порівняння між сортами за основними морфометричними показниками [22];

– для визначення біохімічного складу бульб послуговувалися загальноприйнятими методами: вміст сухої речовини встановлювали гравіметричним методом (як співвідношення сирої маси та маси після висушування за 105 °C у сушильній шафі СНОЛ58/350А) відповідно до ДСТУ 7804:2015 [23], крохмалю – згідно з ДСТУ 4953:200 [24], а нітратів і нітритів – спектрометричним методом відповідно до ДСТУ ISO 6635: 2004 [24]. Розподіл товарного врожаю на продовольчу частину та насіннєвий матеріал виконували згідно зі стандартами [26–30].

Статистичну обробку отриманих результатів здійснювали, розраховуючи середнє арифметичне ($\bar{X}$) стандартного відхилення (SD) за допомогою програми Microsoft Excel 2019.

Результати досліджень

У процесі досліджень спостерігали значне варіювання стеблоутворювальної здатності залежно від варіанту та сортових особливостей картоплі. Серед ранньостиглих культиварів статистично істотно більшу кількість стебел в одному кущі сформували рослини ‘Княжої’ та ‘Пради’, з-поміж середньостиглих – ‘Альянсу’, серед пізньюстиглих – ‘Случі’, ‘Бурани’ й ‘Тоскани’. Істотно менше стебел, ніж у стандарті, утворили рослини середньостиглих сортів ‘Рікарда’ та ‘Містерія’ (табл. 3).

Аналогічна тенденція простежувалася й за густотою стеблостою. Виявлено, що сорти пізньюї групи стиглості, як порівняти з ранніми та середньостиглими, мали меншу стебло- та бульбоутворювальну здатність (але з більшою масою бульб). Варіювання показників кількості стебел і стеблостою у ранньостиглих

культиварів було слабким ($CV = 7\%$), а в середньо- та пізньостиглих – середнім.

Формуючи оптимальний фракційний склад урожаю, варто зважати, що на врожайність безпосередньо впливають кількість і маса бульб. Найбільше їх утворили ранньостиглі сорти 'Санібель', 'Прада' та 'Княжа'. З-поміж представників середньостиглої групи максимальною чисельністю бульб характеризувався 'Альянс', тоді як 'Рікарда' та 'Містерія' значно поступалися стандарту за цим показником. У пізньостиглих сортів кількість бульб

змінювалася в межах 7,6–9,8 шт./росл. (максимальні значення – 9,3–9,8 шт./росл. у 'Случі', 'Бурани' та 'Тоскани'), а їхня маса становила 99,4–128,7 г (табл. 3).

Найбільшою масою бульб відзначилися культивари 'Родео' (128,7 г) й 'Тоскана' (114,4 г). Також варто виділити 'Мадейру', 'Рікарду', 'Містерію' та 'Алюетт', що істотно переважали стандарт відповідної групи стиглості за вказаним показником. Варіювання параметрів структури врожаю між групами стиглості було незначним (табл. 3).

Таблиця 3

**Вплив різних груп стиглості на індивідуальну продуктивність сортів картоплі
(середнє за 2021–2024 рр.)**

Група стиглості	Сорт	Кількість стебел/кущ, шт.	Густота стеблостою, тис. шт./га	Кількість бульб, шт./росл.	Середня маса бульби, г
Ранньостиглі	'Рудольф' St	5,0	238,0	8,0	57,0
	'Мадейра'	5,0	238,0	7,5	63,4
	'Санібель'	5,2	247,5	9,0	53,0
	'Прада'	5,7	271,3	9,0	57,0
	'Княжа'	6,0	285,6	10,4	49,0
	$\bar{X}$	5,4	256,1	8,8	55,9
	SD	0,40	19,13	1,00	4,79
Середньостиглі	CV, %	7	7	11	9
	HIP _{0,05}	0,32	15,3	0,52	3,35
	'Доната' St	5,8	236,6	8,2	78,0
	'Рікарда'	4,6	187,7	6,9	94,7
	'Альянс'	6,1	248,9	8,9	68,0
	'Містерія'	4,2	171,4	6,5	101,0
	'Алюетт'	5,4	220,3	8,1	86,2
Пізньостиглі	$\bar{X}$	5,2	213,0	7,7	85,6
	SD	0,72	29,22	0,89	11,73
	CV, %	14	14	12	14
	HIP _{0,05}	0,31	12,8	0,46	5,14
	'Промінь' St	5,2	212,2	8,3	101,0
	'Родео'	4,9	199,9	7,6	128,7
	'Случ'	6,6	269,3	9,8	104,5
	'Тоскана'	5,8	236,6	9,3	114,4
	'Бурана'	6,5	265,2	9,8	99,4
	$\bar{X}$	5,8	207,1	8,9	109,6
	SD	0,68	27,67	0,87	10,88
	CV, %	12	13	10	10
	HIP _{0,05}	0,35	12,5	0,53	6,58

Ключовим критерієм оцінювання досліджуваних сортів є врожайність. Вона відображає комплексний вплив господарської діяльності та інших природних й економічних факторів. Тому ефективність будь-якого з них слід визначати саме за рівнем очікуваного збільшення врожаю. Добір та оцінювання нових сортів різних груп стиглості в умовах дослідження сприяли підвищенню врожайності ранньостиглих культиварів на 0,9–2,7 т/га, середньостиглих – до 2,3 т/га, а пізньостиглих – до 8,8 т/га (табл. 4).

Максимальну товарну врожайність серед ранньостиглих сортів продемонстрували 'Прада' та 'Княжа' – 24,4 та 24,3 т/га, тобто на 2,7 т/га (12,5%) і 2,6 т/га (11,8%) відповідно більше за контроль. У середньостиглій групі

вказаний показник варіював у межах 24,6–28,6 т/га, а найпродуктивнішим виявився сорт 'Алюетт' – 28,6 т/га, що на 2,3 т/га (8,9%) перевищує контроль. Найбільшою врожайністю – 34,4–43,2 т/га – характеризувалися пізньостиглі культивари. Зокрема, 'Случ' і 'Тоскана', продуктивність яких становила 41,7 і 43,2 т/га та була вищою від контролю на 7,3 т/га (21,2%) та 8,8 т/га (25,7%) відповідно (табл. 4).

Показник насінневої продуктивності картоплі істотно варіював як між окремими сортами, так і між групами стиглості. Найнижчим – 9,8 т/га – він був у середньостиглих культиварів (окрім сорту 'Алюетт' – 12,29 т/га, що на 5,29 т/га переважає контроль), а найвищим – до 15,71 т/га – у пізньостиглих. Серед

Таблиця 4

**Урожайність сортів картоплі різних груп стиглості
(середнє за 2021–2024 рр.)**

Група стиглості	Сорт	Урожайність за категоріями, т/га		
		товарна	продовольча	насіннава
Ранньостиглі	‘Рудольф’ St	21,71	13,46	8,25
	‘Мадейра’	22,63	10,64	12,0
	‘Санібель’	22,71	10,60	12,10
	‘Прада’	24,42	10,74	13,67
	‘Княжа’	24,26	10,18	14,08
	Х	23,14	11,13	12,02
	SD	1,04	1,18	2,06
Середньостиглі	‘Доната’ St	26,23	19,23	7,0
	‘Рікарда’	26,61	16,91	9,7
	‘Альянс’	24,57	14,72	9,85
	‘Містерія’	26,86	16,87	9,99
	‘Алюетт’	28,55	16,27	12,29
	Х	26,56	16,8	9,76
	SD	1,27	1,45	1,68
Пізнньостиглі	‘Промінь’ St	34,39	21,49	12,90
	‘Родео’	39,71	26,70	13,01
	‘Случ’	41,69	25,90	15,79
	‘Тоскана’	43,21	25,35	17,86
	‘Бурана’	39,67	20,68	19,0
	Х	39,73	24,02	15,71
	SD	2,98	2,45	2,48
	CV, %	8	10	16
	НІР _{0,05}	2,38	1,44	0,94

ранніх сортів максимальну врожайність насінневої фракції бульб (45–55 г) продемонстрували ‘Санібель’ і ‘Прада’ – 14,1 і 13,7 т/га відповідно, що на 2,0 та 1,6 т/га більше за контроль (табл. 4).

У ранньостиглих сортів завдяки більшій кількості бульб (але дрібніших) насіннева частка врожаю (52%) перевищувала продовольчу, а в середньо- та пізнньостиглих (37 і 40% відповідно), навпаки, суттєво поступалася їй.

За результатами аналізу якісних характеристик урожаю картоплі виявлено чітку закономірність: уміст крохмалю зростає зі збільшенням періоду вегетації (табл. 5). Тобто найменше його накопили ранні сорти. Максимальна концентрація у цій групі стиглості становила 12,7% (‘Санібель’) і 17,7% (‘Княжа’). Перевищення контрольного показника було на рівні 1,9–4,3%. Усереднений вміст вказаної речовини в середньостиглій

Таблиця 5

**Біохімічні показники бульб сортів картоплі різних груп стиглості
(середнє за 2021–2024 рр.)**

Група стиглості	Сорт	Уміст		
		крохмалю, %	сухих речовин, %	нітратів, мг/кг
Ранньостиглі	‘Рудольф’ St	9,4	16,5	67,0
	‘Мадейра’	11,3	17,0	62,0
	‘Санібель’	12,7	19,0	54,0
	‘Прада’	11,7	17,4	60,0
	‘Княжа’	13,7	22,0	49,0
	Х	11,8	18,4	58,4
Середньостиглі	‘Доната’ St	13,0	21,0	55,0
	‘Рікарда’	11,9	18,8	57,0
	‘Альянс’	14,2	22,6	46,0
	‘Містерія’	11,4	18,4	62,0
	‘Алюетт’	12,0	20,1	55,0
	Х	12,5	20,2	55,0
Пізнньостиглі	‘Промінь’ St	13,7	18,0	51,0
	‘Родео’	13,9	19,9	56,0
	‘Случ’	15,8	22,1	39,0
	‘Тоскана’	14,6	20,0	46,0
	‘Бурана’	24,1	22,8	40,0
	Х	16,4	20,6	46,4

групі – 12,5%. Максимальні значення – 14,2 та 13,0% – продемонстрували відповідно ‘Альянс’ і ‘Доната’ (контроль). Найбільше крохмалю накопичили пізньостиглі сорти – в середньому 16,4%. Лідерами в цій групі стали ‘Случ’ і ‘Бурана’ – 15,8 і 24,1%, що на 2,1 і 10,4% відповідно більше за контроль.

Енергетичну та біоенергетичну ефективність технології вирощування картоплі визначає вміст сухої речовини. У ранньостиглій групі його середній показник становив 18,4%, у середньостиглій – 20,2%, а в пізньостиглій – 20,6% (табл. 5). Лідер за накопиченням сухої речовини серед ранніх сортів – ‘Княжа’ (22,0%, тобто на 5,5% більше за контроль), з-поміж середньостиглих – ‘Альянс’ (22,6%, що на 1,6% перевищує контроль), серед пізніх – ‘Случ’ і ‘Бурана’ (22,1 та 22,8% відповідно).

Висновки

Основними структурними показниками, що безпосередньо впливають на загальну врожайність картоплі, є кількість і маса бульб. Найбільше їх сформували ранньостиглі сорти ‘Санібель’, ‘Прада’ та ‘Княжа’, що зумовило їхню перевагу у створенні насінневого фонду. Серед пізніх культиварів максимальною чисельністю бульб відзначилися ‘Случ’, ‘Бурана’ й ‘Тоскана’ (9,3–9,8 шт./росл.).

За показником маси бульб істотну перевагу над іншими сортами, а також контролем відповідної групи стиглості мали ‘Родео’ (128,7 г) й ‘Тоскана’ (114,4 г). Ранні культивари утворювали дрібніші бульби, однак із вищим відсотком насінневої фракції.

Урожайність як інтегральний показник комплексно характеризувала сортову реакцію на агроекологічні умови. Її найвищі значення серед ранньостиглих сортів продемонстрували ‘Прада’ та ‘Княжа’ [відповідно 24,4 та 24,3 т/га, що на 2,6–2,7 т/га ($\approx 12\%$) більше за контроль], з-поміж середньостиглих – ‘Алюетт’ (28,6 т/га, +2,3 т/га до контролю), а серед пізньостиглих – ‘Случ’ і ‘Тоскана’ [41,7 і 43,2 т/га, що більше за контроль на 7,3–8,8 т/га (до +25,7%)].

Насіннева продуктивність варіювала залежно від групи стиглості. Максимальні показники в ранніх сортів становили 14,1 т/га (‘Санібель’) та 13,7 т/га (‘Прада’), у середньостиглих – 12,29 т/га (‘Алюетт’), а в пізніх – до 15,71 т/га (‘Случ’ і ‘Бурана’).

У ранньостиглих сортів завдяки більшій кількості бульб (але дрібніших) насіннева частка врожаю (52%) перевищувала продовольчу, а в середньо- та пізньостиглих (37 і 40% відповідно), навпаки, суттєво поступалася їй.

Якісні характеристики врожаю залежать від тривалості вегетаційного періоду. Так, найвищий вміст крохмалю виявлено в пізньостиглих сортах ‘Бурана’ та ‘Случ’ – 15,8 і 24,1% відповідно, що суттєво перевищило контрольний показник. У середньостиглій групі лідером був ‘Альянс’ – 14,2%, а в ранньостиглій – ‘Княжа’ – 17,7%. Максимальний вміст сухої речовини також продемонстрували сорти пізньої групи стиглості, а саме: ‘Бурана’ (22,8%) та ‘Случ’ (22,1%). Це зумовило їхню придатність для перероблення та зберігання. Ранньостиглий сорт ‘Княжа’ (22,0%) та середньостиглий ‘Альянс’ (22,6%) теж характеризувалися високою цінністю. Варіація показників між групами стиглості була помірною, проте окремі культивари суттєво переважали контроль за рівнем продуктивності, крохмалистості та вмістом сухої речовини, що підтверджує доцільність їх використання залежно від цільового призначення врожаю – споживання у свіжому вигляді, насінництва або перероблення.

References

- Artiukh, T. M., Bezsmertna, O. V., & Melnyk, D. V. (2022). Problems and prospects of the potato market development in Ukraine. *Economy and Society*, 39. <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2022-39-54> [In Ukrainian]
- Kaminskyi, I. V., & Studzinska, I. I. (2024). Current state of potato production and market conditions in Ukraine. *Potato Research*, 48, 107–117. <https://doi.org/10.52087/0130-2094.2024.48.09>
- Niemets, L., Kandyba, Y., Kobylin, P., Kucheriava, H., & Krainiukov, O. (2020). Food security problems in Ukraine. *Education Excellence and Innovation Management: A 2025 Vision to Sustain Economic Development during Global Challenge: Proceedings of the 35th International Business Information Management Association Conference* (pp. 4955–4963). International Business Information Management Association. <https://ibima.org/accepted-paper/food-security-problems-in-ukraine>
- Niemets, L., Kobylin, P., & Telebienieva, I. (2024). Territorial features of the potato market in Ukraine. *Human Geography Journal*, 36, 26–35. <https://doi.org/10.26565/2076-1333-2024-36-02>
- Yatsenko, N., Ulianych, O., Yatsenko, V., Feshchenko, V., & Chubko, O. (2024). Adaptive variability of early potato in the Forest-Steppe of Ukraine. *Ukrainian Black Sea Region Agrarian Science*, 28(3), 67–77. <https://doi.org/10.56407/bs.agrarian/3.2024.67> [In Ukrainian].
- Ilchuk, R., Zaviriukha, P., Andrushko, O., Kosylovych, H., & Holychuk, Yu. (2023). Creation of potato hybrids (*Solanum tuberosum*) progeny with high field resistance against phytophthora. *Scientific Horizons*, 26(6), 22–31. <https://doi.org/10.48077/sci-hor.2023.22> [In Ukrainian]
- Yatsenko, V. V. (2024). Garlic variety model developed on the basis genotype collection of the Uman National University of Horticulture. *Bulletin of Uman National University of Horticulture*, 2, 18–24. <https://doi.org/10.32782/2310-0478-2024-2-18-25> [In Ukrainian]
- Palamarchuk, V. D., Doronin, V. A., Kolisnyk, O. M., & Aleksieiev, O. O. (2022). *Fundamentals of seed science (theory, methodology, practice)*. Druk. [In Ukrainian]
- Amdie, A., Afeta, T., & Bobo, T. (2017). Adaptability study of improved potato (*Solanum tuberosum* L.) varieties in highland

- of Guji zone, Southern Oromia. *Academic Research Journal of Agricultural Science and Research*, 5(3), 186–191.
10. Korol, L. V., Topchii, O. V., Ivanytska, A. P., Bezprozvana, I. V., Piskova, O. V., & Kostenko, A. V. (2023). Evaluation of the adaptive properties of potato varieties (*Solanum tuberosum* L.) according to the main economic and valuable characteristics. *Plant Varieties Studying and Protection*, 19(1), 4–14. <https://doi.org/10.21498/2518-1017.19.1.2023.277766> [In Ukrainian]
 11. Fedorchuk, S. V., Tsurkan, R. P., & Lisovyi, M. M. (2024). Phytophthora and Alternariosis of potatoes in the Polissya zone of Ukraine. *Scientific Bulletin of UNFU*, 34(6), 8–12. <https://doi.org/10.36930/40340601> [In Ukrainian]
 12. Powell, S. M., McPhee, J. E., Dean, G., Hinton, S., Sparrow, L. A., Wilson, C. R., & Tegg, R. S. (2020). Managing soil health and crop productivity in potato: A challenging test system. *Soil Research*, 58(8), 697–712. <https://doi.org/10.1071/SR20032>
 13. Mazur, O. V., Mazur, O. V., Liotka, H. V., & Myronova, H. V. (2021). Optimization of technological techniques of potato growing under the organic-mineral system fertilization under climate change. *Agriculture and Forestry*, 2(21), 120–128. <https://doi.org/10.37128/2707-5826-2021-2-10> [In Ukrainian]
 14. Pavlov, A. I. (2024). Productivity of the first tuber generation of hybrid populations of potatoes. *Foothill and Mountain Agriculture and Stockbreeding*, 75(1), 91–99. [In Ukrainian]
 15. Balashova, G. S., Kotov, B. S., Kotova, O. I., Yuziuk, S. M., & Yuziuk, O. O. (2020). Seed productivity of potato varieties of different ripeness groups in summer planting of freshly harvested tubers under the conditions of the Southern Steppe of Ukraine. *Taurian Scientific Herald*, 113, 10–16. <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2020.113.2> [In Ukrainian]
 16. Ostrenko, M., Pravdyva, L., Fedoruk, Yu., Grabovskiy, M., & Pravdyvyi, S. (2020). Potato productivity depending on variety specialties under cultivating in the right-bank Forest-Steppe of Ukraine. *Agrobiology*, 1, 120–127. <https://doi.org/10.33245/2310-9270-2020-157-1-120-127> [In Ukrainian]
 17. Darmanskyi, A., Ilchuk, R., & Konyk, H. (2024). The yield of early-ripening potato varieties under the influence of natural climate conditions of the Western Forest-Steppe. *Agroscience and Practice*, 3(1), 10–16. [https://doi.org/10.32636/agroscience.2024-\(3\)-1-2](https://doi.org/10.32636/agroscience.2024-(3)-1-2) [In Ukrainian]
 18. Vdovenko, S., Poltoretskyi, S., Polishchuk, M., & Verheles, P. (2023). Optimization of the feeding system of seed potatoes growing in the conditions of the forest steppe of the right bank. *Agriculture and Forestry*, 1, 62–73. <https://doi.org/10.37128/2707-5826-2023-1-5> [In Ukrainian]
 19. Vdovenko, S., Poltoretskyi, S., Polishchuk, M., & Verheles, P. (2022). Study of growth and development processes of seed potato plants depending on fertilizer, growth regulator and extra-root nutrients. *Agriculture and Forestry*, 27, 64–73. <https://doi.org/10.37128/2707-5826-2022-4-6> [In Ukrainian]
 20. Ministry of Agrarian Policy and Food of Ukraine. (2025). *State Register of Plant Varieties Suitable for Dissemination in Ukraine*. <https://minagro.gov.ua/storage/app/uploads/public/682/32a/234/68232a234a0e6566217572.xlsx> [In Ukrainian]
 21. Bondarchuk, A. A., & Koltunov, V. A. (Eds.). (2019). *Potato growing: Methods of experimental work*. Tvory. [In Ukrainian]
 22. EUROPLANT Group: List of varieties. <https://www.europlant.biz/en/list-of-varieties>
 23. Derzhspozhyvstandart Ukrainy. (2015). *DSTU 7804:2015. Fruit and vegetable products. Methods for determination of total solids or moisture*. Kyiv: Derzhspozhyvstandart Ukrainy. [In Ukrainian]
 24. Derzhspozhyvstandart Ukrainy. (2008). *DSTU 4953:2008. Fruits, vegetables and their processed products. Methods for determination of starch content*. Kyiv: Derzhspozhyvstandart Ukrainy. [In Ukrainian]
 25. Derzhspozhyvstandart Ukrainy. (2004). *DSTU ISO 6635:2004. Fruits, vegetables and processed products. Determination of nitrate and nitrite content by molecular absorption spectrometry*. Kyiv: Derzhspozhyvstandart Ukrainy. [In Ukrainian]
 26. Derzhspozhyvstandart Ukrainy. (2001). *DSTU 4013:2001. Variety and sowing qualities of seed potatoes. Technical specifications* (Effective from 01.01.2002; Adopted 30.03.2001). Kyiv: Derzhspozhyvstandart Ukrainy. [In Ukrainian]
 27. Derzhspozhyvstandart Ukrainy. (2009). *DSTU UN/ECE S-1:2009. Seed potatoes. Guidelines for the supply and quality control* (UN/ECE S-1:2007, IDT). Kyiv: Derzhspozhyvstandart Ukrainy. [In Ukrainian]
 28. Derzhspozhyvstandart Ukrainy. (2007). *DSTU UNECE FFV-30:2007. Early potatoes. Guidelines for the supply and quality control* (UNECE FFV-30:2001, IDT). Kyiv: Derzhspozhyvstandart Ukrainy. [In Ukrainian]
 29. Derzhspozhyvstandart Ukrainy. (2007). *DSTU UNECE FFV-31:2007. Ware potatoes. Guidelines for the supply and quality control* (UNECE FFV-31:2001, IDT). Kyiv: Derzhspozhyvstandart Ukrainy. [In Ukrainian]
 30. Derzhspozhyvstandart Ukrainy. (2007). *DSTU UNECE FFV-52:2007. Early and ware potatoes. Guidelines for the supply and quality control* (UNECE FFV-52:2007). Kyiv: Derzhspozhyvstandart Ukrainy. [In Ukrainian]

UDC 635.21:631.531(477.44)

Yatsenko, V. V.*, & **Yatsenko, N. V.** (2025). Varietal characteristics of potato yield formation in different maturity groups in the Right-Bank Forest-Steppe of Ukraine. *Plant Varieties Studying and Protection*, 21(2), 100–108. <https://doi.org/10.21498/2518-1017.21.2.2025.333457>

*Uman National University, 1 Instytutska St., Uman, Cherkasy region, 20301, Ukraine, *e-mail: slavivsklav16@gmail.com*

Purpose. To investigate the formation of food and seed fractions in the yield of different potato crop maturity groups, as well as the key biochemical indicators of the variety. **Methods.** Throughout 2021–2024, field trials were conducted in the Forest-Steppe zone (Uman, 48°46'N, 30°14'E) to evaluate 15 potato varieties, including early-maturing ('Rudolf' st, 'Madeira', 'Sanibel', 'Prada'), medium-maturing ('Donata' st, 'Ricarda', 'Alians', 'Misteriia', 'Alyuett', 'Kniazha'), and late-maturing ('Promin' st, 'Rodeo', 'Sluch', 'Toscana', 'Burana') varieties. The differences in their stem-forming ability, stem density, the number and weight of marketable tubers per plant, and the yield and quality of the tubers were analyzed. **Results.** Based on the collected data, the most promising varieties were identified for obtaining marke-

table potato yields at biological maturity for consumption. Early-maturing varieties produced the highest stem density (256.1 thousand stems/ha), while medium- and late-maturing varieties produced significantly lower densities (213.0 and 207.1 thousand stems/ha, respectively). The number of tubers per plant varied insignificantly between maturity groups, at 8.8, 7.7 and 8.9 respectively. However, tuber weight varied significantly, amounting to 55.9 g for early varieties, 85.6 g for medium-maturing varieties and 109.6 g for late-maturing varieties. The varieties 'Madeira' (63.4 g), 'Misteriia' (101.0 g) and 'Rodeo' (128.7 g) demonstrated the maximum values. The varieties with the highest total marketable yield were 'Prada' and 'Kniazha' with 24.42 and 24.26 t/ha respectively, followed by 'Alyuett' with 28.55 t/ha

and 'Sluch' and 'Toscana' with 41.69 and 43.21 t/ha respectively. It was also found that early-maturing varieties are predominantly used for seed production (52% versus 48%), while medium- and late-maturing varieties are predominantly used for food production (63% versus 37% and 60% versus 40%, respectively). The obtained data indicate a close relationship between maturity group and harvest structure by intended use, which is important for optimizing variety use in cultivation, storage and sales systems. **Conclusions.** Different maturity groups of potato varieties differ significantly in terms of morphological characteristics and productivity. Data on their distinctiveness in terms of the ratio of seed and food portions of the harvest is of great

practical importance for regional agricultural technology. Since early-maturing varieties produce a higher proportion of seed potatoes, they are a good source of high-quality planting material and allow for the accelerated renewal of variety composition. Conversely, medium- and late-maturing varieties with a higher percentage of food crops are better suited to ensuring a stable food supply. This approach increases the efficiency with which variety resources are used, optimizes crop structure, and establishes an adapted potato production system that focuses on the needs of the domestic market and seed supply.

Keywords: *stem density; potato tuber weight; yield; starch; dry matter.*

Надійшла / Received 19.05.2025
Погоджено до друку / Accepted 05.07.2025

