

JOURNAL OF APPLIED RESEARCH VOL. 18, No 2 '2022

PLANT VARIETIES STUDYING

AND PROTECTION

PRINT ISSN 2518-1017
ONLINE ISSN 2518-7457

**VARIETY STUDYING
AND VARIETY SCIENCE**

PLANT PHYSIOLOGY

**BREEDING AND SEED
PRODUCTION**

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)
Н. В. Лещук (відповідальний секретар)
М. З. Антонюк
Б. Барнабас (Угорщина)
Я. Бріндза (Словацька Республіка)
Р. А. Вожегова
Н. Е. Волкова
О. В. Галаєв
Б. В. Дзюбецький
О. В. Дубровна
Є. Л. Кордюм
В. М. Меженський
В. В. Моргун
О. І. Моргунов (Туреччина)
Л. М. Присяжнюк
О. І. Присяжнюк
О. І. Рибалка
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
НАСІННЕЗНАВСТВА
ТА СОРТОВИВЧЕННЯ НААН
ІНСТИТУТ ФІЗІОЛОГІ РОСЛИН
І ГЕНЕТИКИ НАН УКРАЇНИ

Журнал виходить чотири рази на рік
Заснований у 2005 р.

Свідоцтво про державну реєстрацію
КВ 21882–11782ПР
від 23.02.2016

За достовірність викладених
у публікаціях фактів відповідають
автори

Рекомендовано до друку
Вченою радою Українського інституту
експертизи сортів рослин
(Протокол № 10 від 28.07.2022)

Адреса редакційної колегії:

Український інститут
експертизи сортів рослин,
вул. Генерала Родимцева, 15,
м. Київ, 03041, Україна

<http://journal.sops.gov.ua/>
e mail: journal@sops.gov.ua
Тел.: +38 044 258 34 56

Науковий
редактор: Сорочинський Б. В.
Технічний редактор Половинчук О. Ю.
Комп'ютерне
верстання Бойко А. І.

Підписано до друку 01.08.2022
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, 2022

© Селекційно генетичний інститут –
Національний центр насіннезнавства
та сортівивчення, 2022

© Інститут фізіології рослин і генетики
НАН України, 2022

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)

N. Leshchuk (Executive Secretary)

M. Antonyuk

B. Barnabas (Hungary)

J. Brindza (Slovak Republic)

R. Vozhehova

N. Volkova

O. Halaiev

B. Dziubetskyi

O. Dubrovna

Y. Kordium

V. Mezhenskyi

V. Morhun

A. Morgunov (Turkey)

L. Prysiazniuk

O. Prysiazniuk

O. Rybalka

V. Sokolov

B. Sorochnytskyi

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

Founded in 2005

State registration certificate
KB 21882–11782П of 23.02.2016

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. 10, July 28, 2022)

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

<http://journal.sops.gov.ua/>
e mail: journal@sops.gov.ua
Phone: +38 044 258 34 56

Science editor:	B. V. Sorochnytskyi
Technical editor	O. Yu. Polovynchuk
Computer aided makeup	A. I. Boyko

Signed to print 01.08.2022
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, 2022

© Plant Breeding & Genetics Institute –
National Center of Seeds and Cultivar
Investigation, 2022

© Institute of Plant Physiology and
Genetics, National Academy of Sciences
of Ukraine, 2022

ЗМІСТ

СОРТОВИВЧЕННЯ ТА СОРТОЗНАВСТВО

В. Ф. Горобець, Т. О. Щербакова
Походження сортів півоній Herbaceous hybrid Group колекції Національного ботанічного саду імені М. М. Гришка НАН України та перспективи їх використання

ФІЗІОЛОГІЯ РОСЛИН

О. О. Молодченкова, М. А. Литвиненко, Л. Т. Міщенко, О. В. Ришчакова, Л. Я. Безкровна, Я. С. Фанін, П. С. Тихонов
Окиснювальні та антиоксидантні процеси в рослинах пшениці за інфікування септоріозом

СЕЛЕКЦІЯ ТА НАСІННИЦТВО

М. А. Литвиненко, Є. А. Голуб, Т. М. Хоменко
Ефективність використання пшенично житніх транслокацій (ПЖТ) 1AL/1RS і 1BL/1RS у селекції пшениці м'якої озимої

Л. А. Мурашко, Т. І. Муха, О. В. Гуменюк, Ю. М. Судденко, Н. В. Новицька, О. М. Мартинов
Створення вихідного селекційного матеріалу пшениці м'якої озимої з комплексом господарсько цінних ознак

О. О. Парфенюк, С. Г. Труш
Селекція високопродуктивних гібридів буряків цукрових з поліпшеною формою коренеплоду

РОСЛИННИЦТВО

Н. В. Василенко, І. В. Правдзіва
Урожайність та борошномельні властивості сортів пшениці м'якої ярої залежно від умов вирощування

М. І. Кулик, І. І. Рожко
Інтродуковані та зареєстровані сорти проса прутоподібного (*Panicum virgatum* L.) як вихідний матеріал для селекції за продуктивністю біомаси

Р. І. Топко, Г. М. Ковалишина
Дистанційний спектральний аналіз сортів та ліній пшениці озимої в період цвітіння

CONTENTS

VARIETY STUDYING AND VARIETY SCIENCE

V. F. Gorobets, T. O. Shcherbakova
78 The origin of Herbaceous hybrid Group peony cultivars of the M. M. Gryshko National Botanical Garden of NAS of Ukraine collection and the prospects for their use

PLANT PHYSIOLOGY

O. O. Molodchenkova, M. A. Lytvynenko, L. T. Mishchenko, O. V. Ryshchakova, L. Ya. Bezкровna, Ya. S. Fanin, P. S. Tikhonov
90 Oxidizing and antioxidant processes in wheat plants infected by *Septoria tritici* Rob.

BREEDING AND SEED PRODUCTION

M. A. Lytvynenko, E. A. Holub, T. M. Khomenko
98 Efficiency of using of wheat rye translocations (WRT) 1AL/1RS and 1BL/1RS in soft winter wheat breeding

L. A. Murashko, T. I. Mukha, O. V. Humenyuk, Yu. M. Suddenko, N. V. Novytska, O. M. Martynov
110 Creation of the initial breeding material of soft winter wheat with a complex of economically valuable traits

O. O. Parfeniuk, S. H. Trush
118 Breeding of highly productive sugar beet hybrids with improved beet root shape

PLANT PRODUCTION

N. V. Vasylenko, I. V. Pravdziva
127 Yielding capacity and flour milling properties of spring bread wheat varieties depending on growing environmental conditions

M. I. Kulyk, I. I. Rozhko
136 Introduced and registered switchgrass varieties (*Panicum virgatum* L.) as a source material for breeding for biomass productivity

R. I. Topko, H. M. Kovalyshyna
148 Remote spectral analysis of varieties and lines of winter wheat during the flowering period

The origin of Herbaceous hybrid Group peony cultivars of the M. M. Gryshko National Botanical Garden of NAS of Ukraine collection and the prospects for their use

V. F. Gorobets, T. O. Shcherbakova*

*M. M. Gryshko National Botanical Garden of the National Academy of Sciences of Ukraine, 1 Tymiriazivska St., Kyiv, 03004, Ukraine, *e mail: Shcherbakova@ukr.net*

Purpose. To analyze the origin of the Herbaceous Hybrid Group peony cultivar collection of the M. M. Gryshko National Botanical Garden (NBG) National Academy of Sciences of Ukraine (NAS) and to determine the prospects for their use in breeding work and decorative horticulture. **Methods.** The object of research was peonies of the Herbaceous Hybrid Gp of the NBG peony collection. The plants are grown on sunny open experimental and exposition plots of the NBG. Cultivars studies and phenological observations of plants were carried out during 2012–2022. **Results.** Varietal diversity of Herbaceous Hybrid Gp peonies of the NBG collection was analyzed by origin. The analysis showed that 122 varieties were created by US breeders, of which the Saunders breeding is represented by the largest number of varieties in the collection. 38 varieties are of Ukrainian breeding and created in the NBG. The analysis of hybrids obtained by distant crosses made it possible to identify combinations that give fertile offspring and to create promising double and triple hybrids. For decorative horticulture, 165 varieties of world and domestic breeding are recommended. They were grouped into four groups by flower color and two groups by the beginning of flowering. Plants of the early group start flowering before May 22 (± 4 days). The flowering of the late group of varieties occurs at the beginning of the flowering of the variety 'Red Charm' (May 22 ± 4 days) and later. **Conclusions.** For more than 50 years of introductory work with peony Herbaceous Hybrid Gp, 133 varieties of world breeding were tested at NBG. The main number of varieties was included in the collection in the first years of the 21st century. A comparative study of new varieties showed that most of them are sterile. Varieties 'Dreamtime', 'Greenland', 'Quitzin', 'Lavender Whisper', 'Lemon Chiffon', 'Pastelegance', 'Pastelorama', 'Salmon Dream', 'Sunny Boy', 'Sunny Girl', 'Sunny Day', 'The Mackinac Grand', 'Vanilla Schnapps', 'Triphena Parkin', 'Pink Vanguard', 'Lavender Whisper', were fertile and can be successfully used in the hybridization process. It was revealed that the source of early flowering of varieties created in the NBG was introduced wild species of herbaceous peonies: *P. peregrina*, *P. wittmanniana*, *P. arietina*. Peonies with double or semi double flowers can be obtained by using *P. officinalis* 'Rubra Plena' with double flowers as a maternal component, and *P. lactiflora* varieties ('President Taft', 'La Pionce', 'Lord Kitchener', 'Adolphe Rousseau', 'M lle Janne Riviere') as paternal one also with terry flowers.

Keywords: interspecies hybridization; crossing; flowering.

Introduction

The collection of peonies of the M. M. Gryshko National Botanical Garden (NBG) National Academy of Sciences is currently the largest in Ukraine and the richest in Eastern Europe. Having the status of a national treasure, the collection reflects a long period of historical development of the peony culture, which is a source of enormous genetic diversity and the

basis of domestic breeding [1–3]. The mobilized varieties serve as the basis for morphological and biological studies of plants, study of the rhythms of their growth and development, and features of adaptation under conditions of introduction [4, 5]. On the basis of the collected gene pool, methods of variety assessment and cultivation technologies are being developed. The collection is a standard for the State Variety Testing, a source of replenishment and expansion of the collections of regional botanical gardens and material for horticulture and greening. The collection also has scientific and educational value for breeders, amateurs, students of biological

Vasyl Gorobets

<http://orcid.org/0000.0001.6315.9033>

Tetiana Shcherbakova

<http://orcid.org/0000.0003.1763.6841>

and agricultural specialties, and schoolchildren [2, 3].

Currently, the collection is a generic complex of *Paeonia* L., represented by three life forms and numbering 10 species, 650 varieties and 17 promising hybrid forms. It includes varieties of all garden peony groups:

Lactiflora Gp (varieties based on a single species *P. lactiflora* Pall.),

Herbaceous Hybrid Gp (varieties obtained by hybridization of herbaceous peonies of different species),

Lutea Hybrid Gp (*P. lutea* Delavay ex Franch. (*P. delavayi* Franch.) and *P. × suffruticosa* Andrews varieties were used to create cultivars),

Itoh Gp (obtained by crossing plants of different life forms),

Suffruticosa Gp (based on *P. × suffruticosa*) [1, 2].

Varieties of peonies of the Herbaceous Hybrid Gp are promising for the introduction and use. The group includes varieties created by hybridization of species of herbaceous peonies of diverse ecological and geographical origin: *P. officinalis* L. (South-Western and Eastern Europe, the Mediterranean), *P. lactiflora* (South-East Asia), *P. anomala* L. (South and Central Asia), *P. arietina* G. Anderson (Southeastern Europe, Caucasus), *P. officinalis* L. (Central and Southeastern Europe), *P. peregrina* Mill. (Southeastern Europe), *P. tenuifolia* L. (Balkan Peninsula, Caucasus, Crimea, Siberia), *P. daurica* subs. *wittmanniana* (Hartwiss ex. Lindl.) D.Y. Hong (Western Caucasus) and others [6, 7].

The species have different ploidy; therefore, most of the Herbaceous Hybrid Gp varieties were obtained by distant hybridization are tetraploids or triploids [8–10]. Such varieties are characterized by a wide range of morphological features, which increases their decorativeness and adapts well to new cultivation conditions. They differ from other groups in early flowering periods, originality of the coloring (bright red, coral pink, yellow flowers in the color of flowers) and flower shape (simple, semi-double and double) [11, 12].

The first attempts to create interspecific peony hybrids were made in Europe in the middle of the 19th century. French breeder V. Lemoine first crossed *P. lactiflora* with *P. wittmanniana* and obtained hybrids ('Avant Garde', 'Le Printemps', 'Mai Fleuri', 'Russi Major') with an early flowering period. The German breeder G. Arends, crossing *P. peregrina* with *P. wittmanniana*, obtained hybrid forms with light yellow and pink flowers.

Three of his varieties are registered in the Peony Registry of the American Peony Society: 'Alpha', 'Mai Königin', 'Reine de Mai' [13]. In England, P. Barr was engaged in peony interspecific hybridization. Having done a lot of work on crossing *P. officinalis* and *P. arietina* and their breeding forms, he received a number of seedlings, among which he selected the variety 'Northern Glory'.

At the end of the XIX – beginning of the XX century American breeders A. Saunders, L. Glasscock, E. Auten crossed *P. lactiflora* and *P. officinalis* and obtained about a hundred interspecific hybrids. Also, from crossing *P. officinalis* and *P. tenuifolia*, L. Glascock obtained hybrid forms, one of which was registered as 'Laddie' variety. Professor A. Sanders made a particularly great contribution to the creation of new varieties. His work made it possible to extend the flowering period of peonies by two to three weeks compared with varieties based on *P. officinalis*, *P. tenuifolia* and interspecific hybrids obtained by W. Lemoine. He created new peony varieties with flowers of scarlet, red, light cherry, pale lilac, waxy hue with an interesting border of petals, as well as the color of bone and opal. But the greatest achievement was to obtain a pink color with orange-pink, coral, cherry shades, which were previously present only in Chinese bush peonies and never seen in herbaceous varieties [1, 13].

The success of distant hybridization has inspired many breeders to develop a whole group of early flowering varieties. So, W. Krekler created more than 400 varieties, including: 'A. Krekler', 'Abalone Pearl', 'Abalone Pink', 'All My Love', 'Allen Lewis' and others. W. Mains received now widely known varieties 'Buckeye Belle', 'Bill Krekler', 'Walter Mains', 'Goody'. W. Bockstoce made himself famous for varieties 'Henry Bockstoce', 'Diana Parcks', 'Carol', 'Bess Bockstoce'. Currently, 1127 varieties of Herbaceous Hybrid Gp are registered in the Peony Registry of the American Peony Society [13].

In Ukraine, varieties of the described peony group began to appear after the Second World War and are cultivated in the collections of botanical gardens, arboretums and amateur flower growers. Peony collection of the NBG is the most represented in terms of assortment.

The purpose of the research is to analyze the origin of the Herbaceous Hybrid Group peony varieties from the collection of the M. M. Gryshko National Botanical Garden of NAS of Ukraine (NBG) and to determine the prospects for their use in breeding work and ornamental horticulture.

Materials and methods

Plants of peony varieties of the Herbaceous Hybrid Gp of the NBG peony collection were the object of research. Varieties of the Herbaceous Hybrid Gp were included to the collection by exchange and purchase of planting material (parts of rhizomes with three or four rudimentary shoots) with botanical institutions, amateur flower growers and garden centers in Ukraine and the world. The introduction forecast was carried out using the methods proposed by P. E. Bulakh [14], taking into account the varietal characteristics of the plants.

All available variety descriptions and variety descriptions from the Peony Registry of the American Peony Society were used for variety identification [13]. Plants of the peony collection are grown in the open sunny experimental and exposition areas of the NBG. The sites are located on the Pechersk slopes of the Kyiv Upland in the natural landmark “Zvirynets” (50°32' N and 30°33' E) in the southeastern part of Kyiv on the border of two physical and geographical zones: the forest zone of Polissia and Forest-Steppe zones. The climate is temperate continental. The average annual air temperature is 9.5 °C [15].

A comparative study of peonies of foreign breeding and varieties created in the NBG was carried out according to the method of V. M. Bylov [16] and the Method for conducting an examination of peony varieties (*Paeonia* L.) for Distinctness, *Uniformity and Stability* [17]. According to these methods, 6 plants of each variety were used for research [16, 17]. During 2012–2022 phenological observations of plants were carried out, the results were statistically processed [16, 18]. The most important indicators of the decorative variety value were singled out: the color of the flower and the beginning of flowering, according to which the varieties were grouped. Grouping varieties according to these parameters allows us to show the diversity of the peony assortment, which can be used in the selection of varieties for ornamental horticulture and breeding.

Although the weather conditions significantly shift the dates of the beginning of the variety flowering, however, the correlation between varieties regarding the timing of flowering is maintained: that is, the early-flowering variety always blooms earlier than the middle one, the middle one before the late one. Therefore, based on the determined timing of the beginning of each variety flowering, all varieties were divided into two groups relative to the beginning of flowering

of the medium-flowering variety ‘Red Charm’: group I – varieties blooming before the flowering of ‘Red Charm’, group II – after the beginning of its flowering [19]. Such a distribution of varieties into groups allows us to select varieties to expand the range of decorative flower arrangements. This distribution of varieties by groups makes it possible to choose varieties for expanding the range of flower arrangement decorativeness.

Results and discussion

Peony introduction and breeding started at the beginning of the NBG construction and development. The formation of the collection fund began in 1947, when 30 first varieties were obtained through the German company “Lange”. Later the collection was replenished with samples from other botanical gardens, experimental stations, scientific institutions and our own breeding.

The first varieties of the Herbaceous Hybrids group were included in the collection in 1971–1976 (Fig. 1). These are A. Saunders varieties, created in the 30–40s: ‘Carina’, ‘Cavatina’, ‘Early Daybreak’, ‘Legion of Honor’, ‘Reward’, ‘Rosy Cheek’, ‘Seraphim’; E. Auten varieties: ‘Auten’s Red’, ‘Early Scout’. Also ‘Mahogany’ (Glasscock, 1937), ‘Ann Zahller’ (Mains, 1956).

During the 80–90s of XX century 26 more varieties were introduced. The main number of varieties was included in the collection in the first years of the 21st century, which was due to the import of new varieties of world breeding to Ukraine and the need to test them in our conditions. In particular, during 2000–2019 the collection fund was enriched by 76 new varieties.

In total, over 50 years of introduction work with peony Herbaceous Hybrid Gp, 133 varieties of world breeding were tested in the NBG.

The analysis of the origin of the introduced varieties showed that 121 varieties were created by US breeders (Fig. 2). Of them, the collection of A. Saunders (33 varieties), E. Auten (13 varieties), L. Glasscock (10), and U. Bockstoe (7 varieties). The collection also includes varieties created and registered in Canada, Belgium, Sweden, Russia, the Netherlands, and France.

A. Saunders used a range of species as parental forms, crossing *P. lactiflora* with *P. officinalis*, *P. peregrina*, *P. anomala* subsp. *veitchii* (Lynch) D.Y.Hong & K.Y.Pan, *P. daurica* subsp. *mlokosewitschii*. To obtain early varieties, Sanders included *P. tenuifolia* and *P. macrophylla* (*P. daurica* subsp. *macrophylla*) in the breeding process.

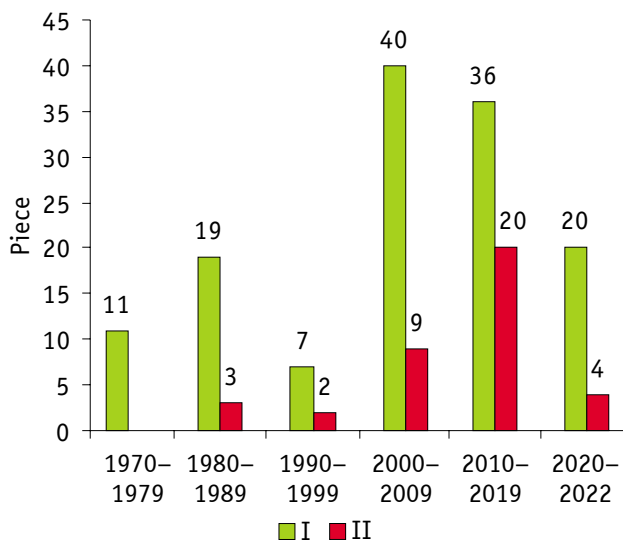


Fig. 1. The number of introduced varieties of world (I) and domestic breeding (II) in different years in the M. M. Gryshko National Botanical Garden of the NAS of Ukraine

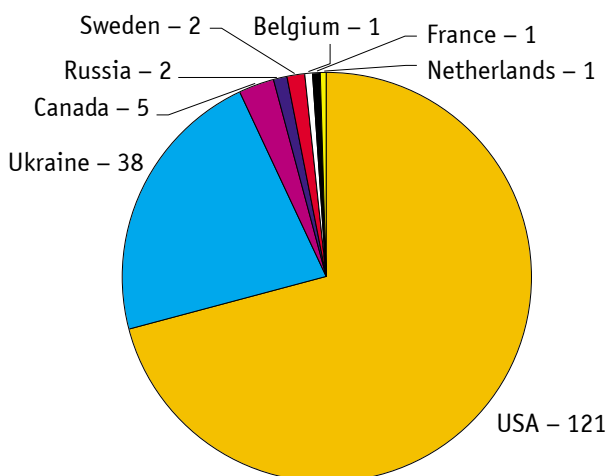


Fig. 2. Distribution of Herbaceous Hybrid Gp varieties of the peony collection of the M. M. Gryshko National Botanical Garden of the NAS of Ukraine by country of variety registration

The varieties of Auten, Glasscock and Bockstoe present in the collection owe their origin to *P. lactiflora* and *P. officinalis*.

It should be noted that the French cultivar 'Smoutii' (Smout / van Houtte, 1843) is the oldest one in the collection. The presence of *P. tenuifolia* genes in its genotype allows the variety to bloom already in the first decade of May.

From the data shown in Figures 1 and 2, it follows that 38 varieties of the Herbaceous Hybrid Gp collection are varieties of Ukrainian breeding created at the NBG. Breeding work with this group of cultivars was started at the NBG back in 1970 by V. F. Gorobets, Candidate of Biological Sciences, Leading Researcher of the Department of Flower and Ornamental

Plants. The priority direction of breeding work was the creation of varieties with early and very early flowering periods. Wild-growing species of herbaceous peonies were introduced into the NBG as a source of early flowering: *P. peregrina*, *P. wittmanniana*, *P. arietina*. The carriers of high decorativeness of the flower and high productivity of flowering were the varieties *P. lactiflora* and *P. officinalis* and their decorative subspecies and forms.

In the process of analyzing the results of our own breeding work, great form-building possibilities of distant hybridization were revealed, consisting not only in a combination of useful features of the original forms, but also in the appearance of many new ones that are not characteristic of the parental generation. Since in all combinations of crosses where wild-growing species were parental forms, the first generation was dominated by a negative trait – a single flower form, therefore the back-cross method, recurrent backcrossing, and crossing of terry *P. lactiflora* varieties with fertile interspecific hybrids F_1 were applied.

The results of hybridization showed that the most decorative forms of peonies with double or semi-double flowers can be obtained using *P. officinalis* 'Rubra Plena' with double flowers as the maternal component, and *P. lactiflora* ('President Taft', 'La Pionce') as the paternal component, 'Lord Kitchener', 'Adolphe Rousseau', 'M-lle Janne Riviere') also with double flowers (Table 1). For example, variety 'Yuvilei Kyieva' was created by crossing *P. officinalis* 'Rubra Plena' with *P. lactiflora* 'Adolphe Rousseau', 'Benefis' variety – by crossing *P. officinalis* 'Rubra Plena' and *P. lactiflora* 'President Taft'. Sometimes it was possible to obtain double forms by crossing *P. officinalis* 'Rubra Plena' with varieties or breeding numbers of *P. lactiflora* that have single flowers. This is how the variety 'Chaklunka' was obtained.

Analysis of the hybrid stock obtained from distant crosses made it possible to identify combinations that give fertile offspring: ♀ *P. officinalis* 'Rubra Plena' × ♂ *P. peregrina*, ♀ *P. officinalis* 'Rubra Plena' × ♂ *P. humilis* (*P. officinalis* subsp. *microcarpa* Nyman), ♀ *P. officinalis* 'Rubra Plena' × ♂ *P. officinalis* var. *alba*, ♀ *P. officinalis* 'Rubra Plena' × ♂ *P. officinalis* var. *banatica*. The hybrids created as a result of such combinations turned out to be promising in further breeding work.

Most *P. lactiflora* cultivars were crossed with F_1 distant hybrids (♀ *P. officinalis* 'Rubra Plena' × ♂ *P. peregrina*) and triple distant hybrids were obtained.

**The origin of the Herbaceous Hybrid Gp varieties of the the M. M. Gryshko National Botanical Garden
of the NAS of Ukraine breeding**

	Variety	Year of registration and author of the variety	Combination of crossings
Double interspecific hybrids			
1	'Benefis'	2003 Gorobets	♀ <i>P. officinalis</i> 'Rubra Plena' × ♂ <i>P. lactiflora</i> 'President Taft'
2	'Blondyn'	2013 Gorobets	♀ <i>P. officinalis</i> 'Rubra Plena' × ♂ <i>P. lactiflora</i>
3	'Vesniane Defile'	2014 Gorobets	♀ <i>P. officinalis</i> 'Rubra Plena' × ♂ <i>P. wittmanniana</i>
4	'Dzvony Mykhailivskoho'	2022* Gorobets	♀ <i>P. peregrina</i> × ♂ <i>P. lactiflora</i> 'Vesilna'
5	'Kozachok'	1981 Gorobets	♀ <i>P. officinalis</i> 'Rubra Plena' × ♂ <i>P. lactiflora</i>
6	'Koketka'	2011 Gorobets	♀ <i>P. officinalis</i> var. <i>banatica</i> × ♂ <i>P. lactiflora</i> 'President Taft'
7	'Koryfei'	2003 Gorobets	♀ <i>P. peregrina</i> × ♂ <i>P. lactiflora</i> 'President Taft'
8	'Lehin Honorovyi'	2022* Gorobets, Shcherbakova	♀ <i>P. peregrina</i> × ♂ <i>P. lactiflora</i> 'Vesilna'
9	'Malynova Vatra'	2010 Gorobets	♀ <i>P. peregrina</i> × ♂ <i>P. lactiflora</i> 'La Pionce'
10	'Ofieliia'	1998 Gorobets	♀ <i>P. officinalis</i> var. <i>banatica</i> × ♂ <i>P. lactiflora</i> 'President Taft'
11	'Svitliachok'	2013 Gorobets	♀ <i>P. officinalis</i> 'Rubra Plena' × ♂ <i>P. lactiflora</i>
12	'Travnevi Rosy'	2013 Gorobets	♀ <i>P. officinalis</i> 'Rubra Plena' × ♂ <i>P. lactiflora</i>
13	'Favoryt'	2009 Gorobets	♀ <i>P. peregrina</i> × ♂ <i>P. lactiflora</i> 'President Taft'
14	'Khokhloma'	1986 Gorobets, Tyran	♀ <i>P. officinalis</i> 'Rubra Plena' × ♂ <i>P. lactiflora</i>
15	'Chaklunka'	2003 Gorobets	♀ <i>P. officinalis</i> 'Rubra Plena' × ♂ <i>P. lactiflora</i>
16	'Cheburashka'	2011 Gorobets	♀ <i>P. officinalis</i> 'Rubra Plena' × ♂ <i>P. peregrina</i>
17	'Chervonyi Oksamyt'	1984 Gorobets, Tyran	♀ <i>P. peregrina</i> × ♂ <i>P. lactiflora</i> 'President Taft'
18	'Chervoni Vitryla'	1998 Gorobets	♀ <i>P. officinalis</i> 'Rubra Plena' × ♂ <i>P. lactiflora</i>
19	'Chumatskyi Shliakh'	2010 Gorobets	♀ <i>P. lactiflora</i> 'Lord Kitchener' × ♂ <i>P. arietina</i>
20	'Yuvilei Kyieva'	2003 Gorobets	♀ <i>P. officinalis</i> 'Rubra Plena' × ♂ <i>P. lactiflora</i> 'Adolphe Rousseau'
Triple interspecific hybrids			
21	'Vechornytsi Travnia'	2022 Gorobets	♀ <i>P. officinalis</i> × ♂ F ₁ (<i>P. officinalis</i> 'Rubra Plena' × <i>P. officinalis</i> var. <i>alba</i>)
22	'Dudaryk'	2022* Gorobets Shcherbakova	♀ <i>P. officinalis</i> × ♂ F ₁ (<i>P. officinalis</i> 'Rubra Plena' × <i>P. officinalis</i> var. <i>alba</i>)
23	'Herkules'	2010 Gorobets	♀ <i>P. lactiflora</i> 'Adolphe Rousseau' × ♂ (<i>P. officinalis</i> 'Rubra Plena' × <i>P. peregrina</i>)
24	'Heroiam Nebesnoi Sotni'	2014 Gorobets	♀ <i>P. lactiflora</i> 'Lord Kitchener' × ♂ F ₁ (<i>P. officinalis</i> 'Rubra Plena' × <i>P. peregrina</i>)
25	'Irokez'	2007 Gorobets	♀ <i>P. lactiflora</i> 'Lord Kitchener' × ♂ F ₁ (<i>P. officinalis</i> 'Rubra Plena' × <i>P. officinalis</i> var. <i>banatica</i>)
26	'Kvazimodo'	2010 Gorobets	♀ <i>P. lactiflora</i> 'M lle Janne Riviere' × ♂ F ₁ (<i>P. officinalis</i> 'Rubra Plena' × <i>P. peregrina</i>)
27	'Pysanka Kolomyi'	2010 Gorobets	♀ <i>P. lactiflora</i> 'Adolphe Rousseau' × ♂ F ₁ (<i>P. officinalis</i> 'Rubra Plena' × <i>P. peregrina</i>)

Continue Table 1

	Variety	Year of registration and author of the variety	Combination of crossings
28	'Metelyk'	2009 Gorobets	♀ <i>P. lactiflora</i> 'Lord Kitchener' × ♂ F ₁ (<i>P. officinalis</i> 'Rubra Plena' × ♂ <i>P. officinalis</i> var. <i>banatica</i>)
29	'Madiarochka'	2021 Gorobets	♀ <i>P. lactiflora</i> 'Lord Kitchener' × ♂ F ₁ (<i>P. officinalis</i> 'Rubra Plena' × <i>P. officinalis</i> var. <i>banatica</i>)
30	'Svitankova Poema'	2011 Gorobets	♀ <i>P. arietina</i> × ♂ F ₁ (♀ <i>P. officinalis</i> 'Rubra Plena' × ♂ <i>P. peregrina</i>)
31	'Sny Roksolany'	2021 Gorobets	♀ <i>P. lactiflora</i> 'Lord Kitchener' × ♂ <i>P. officinalis</i> var. <i>banatica</i>
32	'Stozhary'	2021 Gorobets	♀ <i>P. lactiflora</i> 'Lord Kitchener' × ♂ F ₁ (<i>P. officinalis</i> 'Rubra Plena' × <i>P. peregrina</i>)
33	'Strily Amura'	2021 Gorobets	♀ <i>P. lactiflora</i> 'Lord Kitchener' × ♂ F ₁ (♀ <i>P. officinalis</i> 'Rubra Plena' × ♂ <i>P. officinalis</i> var. <i>banatica</i>)
34	'Chempion'	2009 Gorobets	♀ <i>P. lactiflora</i> 'Adolphe Roussean' × ♂ F ₁ (<i>P. officinalis</i> 'Rubra Plena' × ♂ <i>P. peregrina</i>)
35	'Chervona Vezha'	2009 Gorobets	♀ <i>P. lactiflora</i> 'Adolphe Roussean' × ♂ F ₁ (<i>P. officinalis</i> 'Rubra Plena' × ♂ <i>P. peregrina</i>)
36	'Chornomor'	2013 Gorobets	♀ <i>P. lactiflora</i> 'Lord Kitchener' × ♂ F ₁ (<i>P. officinalis</i> 'Rubra Plena' × ♂ <i>P. peregrina</i>)
37	'Filizhanka Koroliv'	2022* Gorobets	♀ <i>P. officinalis</i> 'Rubra Plena' × ♂ <i>P. peregrina</i>
38	'Lunnaya doroga'	Gorobets	♀ <i>P. officinalis</i> 'Rubra Plena' × ♂ <i>P. wittmanniana</i>

*year of filing an application for the State registration of a variety.

One of the most important decorative features of a peony flower, which is primarily taken into account by gardeners and landscape designers, is its color. We combined all the variety of peony colors and shades into four groups: red (light, dark red flowers, orange-red, purple-red, cherry, etc.), pink (light, dark pink flowers, salmon-pink, coral, coral pink, lilac pink, purplish pink), white (white, creamy white), yellow (light yellow petals, bright yellow, lemon yellow, creamy yellow) (Table 2).

The analysis of the variety origin have showed that those of early breeding in 20s-60s of the XX century mainly have a red flower color, inherited from *P. officinalis*, *P. tenuifolia*, and *P. peregrina*.

Varieties of light pink, pink, coral-pink color were obtained mainly in the second half of the 20th century, when various forms of *P. officinalis*, *P. arietina* and subspecies *P. daurica* and *P. anomala* were actively included into the breeding process.

At the end of the 20th and the beginning of the 21st centuries, a group of new varieties with bright yellow flower color appeared. The coloring was caused by genes that induce the synthesis of kaempferol glycosides of yellow color, obtained from the ancestral *P. daurica* subsp. *mlokozewitschii* [20]. New cultivars have been the result of a complex hybridization of early yellow-flowered cultivars: 'Moon-

rise', 'Nova', 'Rushlight', 'Ballerina', 'Elizabeth Cahn', 'Claire de Lune', 'Prairie Moon'.

Tests of new varieties in the conditions of Ukraine showed that the most promising of them were: 'Lemon Chiffon' – D. Reath's variety with a double shape and lemon-yellow color of the flower, yellow and cream-yellow K. Lanning varieties 'Sunny Boy' and 'Sunny Girl' (Fig. 3). Introduced in the NBG, the Swedish variety 'Quitzin' (author Prof. Harald Fawcner) has large bomb-shaped double flowers with creamy peach petals and bright yellow staminoids. It is characteristic that on one plant there are flowers, both single and of varying degrees of doubling. 'Quitzin' turned out to be quite promising for further breeding, resulting in its creamy pink variety 'Triphena Parkin' of 2009.

Obtaining varieties with cream-pink, pink-cream, pastel color of the flower has become one of the modern trends in the breeding of this peony group. Among them, Pasterlegance (Seidl, 1989) and Pastelorama (Seidl / Bremer, 2013) turned out to be promising in our conditions. Both are the result of crossing pink and yellow Salmon Dream ('Paula Fay' × 'Moonrise') parental forms with 'Lemon Chiffon' and R. Anderson's hybrid, respectively.

In the NBG, *P. daurica* subs. *wittmanniana*, is included in the breeding work, which made it possible to obtain a light pink-cream variety 'Vesniane Defile'.



Comparative study of modern varieties showed that most of them are sterile and do not bear fruit. The sterility of varieties, which in most cases are triploids, is manifested due to the different fecundity of the original parental forms. However, we managed to find and select a number of fertile varieties: 'Dreamtime', 'Greenland', 'Quitzin', 'Lavender Whisper', 'Lemon Chiffon', 'Pastelegance', 'Pastelorama', 'Salmon Dream',

'Sunny Boy', 'Sunny Girl', 'Sunny Day', 'The Mackinac Grand', 'Vanilla Schnapps', 'Triphena Parkin', 'Pink Vanguard'. The selected varieties can be successfully used for hybridization in the breeding process.

The beginning of the peony flowering, as well as other ornamental plants, is one of the most significant indicators that allows choosing the right varieties for both cut and landscape compositions. The timing of the begin-



Fig. 3. Flowers of modern peony varieties of Herbaceous Hybrid Gp of yellow, cream, cream pink color promising for breeding work and decorative gardening: 1. 'Lemon Chiffon' (Reath D. L., 1981), 2. 'Sunny Boy' (Laning, 1985), 3. 'Sunny Girl' (Laning, 1985), 4. 'Quitzin' (Fawkner, 2001), 5. 'Triphena Parkin' (Fawkner, 2009), 6. 'Pastelegance' (Seidl, 1989), 7. 'Pastelorama' (Seidl / Bremer, 2013), 8. 'Pink Vanguard' (Seidl / Hollingsworth, 2005), 9. 'Greenland' (Pehrson / Seidl, 1989), 10. 'Dreamtime' (Seidl / Bremer, 2013), 11. 'Vesniane Defile' (Gorobets, 2014), 12. 'Golden Wings' (Pehrson / Hollingsworth, 1994)

ning of flowering is a varietal characteristic, which strongly depends on the natural and climatic conditions of the region of introduction. However, the correlation between varie-

ties regarding the timing of flowering is maintained.

We divided the introduced Herbaceous Hybrid Gp cultivars into two groups relatively to

the beginning of flowering of the 'Red Charm' cultivar, which begins flowering on 22.05 ± 4 days under NBG conditions. Under the conditions of the NBG, the varieties of the first

group bloom in the last days of April and until May 22. Varieties of the second group begin flowering on May 23 – the first days of June (Table 2).

Table 2

Peony varieties of Herbaceous Hybrid Gp promising for decorative gardening

Years of variety registration	Groups of varieties by flower color			
	Red	Pink	White	Yellow
Beginning of flowering < Red Charm				
Before 1939	'Jean E. Bockstoce' (Bockstoce, W. S.), 'Rosedale' (Auten), 'Smoutii' (Smout / van Houtte), 'Sunbright' (Glasscock)	'Cavatina' (Saunders)	'Chalice', 'Sera phim' (Saunders)	
1940–1959	'Ann Zahler' (Mains), 'Auten's Red', 'Early Scout', 'Fiesta', 'Orange Glory' (Auten), 'Dad' (Glasscock / Krekler), 'Carina', 'Early bird', 'Heritage', 'Reward' (Saunders), 'Illini Belle', 'Convoy', 'Red Charm' (Glasscock), 'Massasoit' (White / Wild & Son), 'Orleonok' (Fomocheva)	'Athena', 'Firelight', 'Laura Magnuson', 'May Lilac', 'Pico tee', 'Winterthur' (Saunders)	'Ballerina', 'Garden Peace', 'Moonrise', 'Nova' (Saunders), 'Early Daybreak', 'Elizabeth Cahn', 'Starligh' (Saunders)	'Claire de Lune' (White / Wild & Son), 'Golden Wings' (Pehrson / Hollingsworth), 'Nova' (Saunders)
1960–1978	'America' (Rudolph), 'Burst of Joy', 'Red Romance' (Auten Wild & Son), 'Tiny Tim' (origin unknown via Smirnow),	'Coral Fay' (Fay / Reath, D. L.), 'Novost' Altaya' (Luchnik), 'Paula Fay' (Fay), 'Rose Heart' (Bockstoce / Landis)		'Cream Delight' (Reath, D. L.), 'Roselette's Child' (Saunders)
1980–1999	'Merry Mayshine' (Saunders / Hollingsworth / Smetana), 'Chiervoni Vitryla' (Gorobets), 'Khokhloma' (Gorobets, Tyran)	'Lavender Whisper' (Klehm, R. G.), 'Lois Choice' (Laning), 'Kozachiok', 'Ofieliia' (Gorobets)	'Early Glow', 'Sunday Chimes' (Hollingsworth)	'Lemon Chiffon' (Reath, D. L.), 'Sunny Boy', 'Sunny Girl' (Laning), 'Lun naya doroga' (Gorobets)
2000–2019	'Benefis', 'Cheburashka', 'Chervona Vezha', 'Heroiam Nebesnoi Sotni', 'Pysanka Kolo myi', 'Stozhary', 'Yuvilei Kyieva' (Gorobets)	'Blondyn', 'Chumatskyi Shliakh', 'Filizhanka Korativ', 'Koketka', 'Metelyk', 'Strily Amura', 'Svitankova Poema', 'Svitliachok', 'Travnevi Rosy', 'Vechornytsi Travnia', 'Vesniane Defile', 'Dudaryk' (Gorobets)		
Beginning of flowering \geq 'Red Charm'				
1920–1939	'Chocolate Soldier' (Auten), 'Flame', 'Mahogany', 'Cherry Red' (Glasscock), 'Topeka' (Auten)			
1940–1959	'Alexander Woolcott', 'Ellen Cowley', 'Legion of Honor', 'Lustrous', 'Postilion', 'Scarlet Tanager' (Saunders), 'Angelo Cobb' (Freeborn), 'Buckeye Belle', 'Walter Mains' (Mains), 'Carol', 'Diana Parks', 'Henry Bockstoce', 'Howard R. Watkins' (Bockstoce, W. S.), 'Chief Justice', 'Dandy Dan', 'Favorita', 'Eldorado', 'Robert W. Auten' (Auten), 'Helen Matthews' (Saunders / Krekler)	'Bess Bockstoce' (Bockstoce, W. S.), 'Cytherea', 'Gillian', 'Lovely Rose', 'Ludovica', 'Rosy Cheek', 'Nadia' (Saunders), 'Eventide', 'Salmon Glow' (Glasscock), 'Goody' (Freeborn), 'Raspberry Rose' (Auten), 'Chalice Pink' (Saunders / Krekler)	'Requiem' (Saunders)	'Prairie Moon' (Fay)
1960–1979	'America' (Rudolph), 'Aristocrat' (Krekler), 'Blaze' (Fay / Reath, D. L.), 'Old Faithful' (Glasscock / Falk)	'Ann Berry Cousins' (Cousins / Klehm, R. G.), 'Coral Charm', 'Coral Supreme' (Wissing), 'Heavenly Pink' (Smirnow), 'Salmon Dream' (Reath, D. L.), 'Hi Mabel' (Bockstoce)	'Colonel Owen Cousins' (Cousins / Klehm, R. G.)	

Continue Table 2

Years of variety registration	Groups of varieties by flower color			
	Red	Pink	White	Yellow
1980–1999	'Command Performance' (Hollingsworth), 'Red Grace' (Glasscock Klehm, R. G.), 'The Mackinac Grand' (Reath, D. L.), 'Christmas Velvet' (Anderson, R. F.), 'Chervonyi Oksamyt' (Gorobets, Tyran)	'Carnation Bouquet', 'Pastelegance' (Seidl), 'Coral Sunset' (Wissing), 'Coral n Gold', 'Etched Salmon' (Cousins / Klehm, R. G.), 'Lorelei' (Hollingsworth), 'Coral Magic', 'Pink Hawaiian Coral' (Klehm, R. G.), 'Salmon Chiffon' (Rudolph / Klehm, R. G.)	'Greenland' (Pehrson / Seidl)	'Golden Wings' (Pehrson / Hollingsworth)
2000–2019	'Chaklunka', 'Champion', 'Chornomor', 'Favoryt', 'Herkules', 'Koryfei', 'Madiarochka', 'Malynova Vatra', 'Dzvony Mykhailivskoho', 'Lehin Honorovyi' (Gorobets)	'Dreamtime', 'Pastelorama' (Seidl / Bremer), 'Joker' (Bockstoce / Landis / Allan Rogers) 'Lavender Baby' (Warmerdam), 'Pink Vanguard' (Seidl / Hollingsworth), 'Triphena Parkin' (Fawkner), 'Roselette's Baby' (Adelman), 'Trokez', 'Kvasimodo', 'Sny Roksolany' (Gorobets)	'Vanilla Schnapps' (Seidl / Bremer)	'Quitzin' (Fawkner)

Varieties whose parent forms were early flowering species and their forms begin flowering earlier. Thus, 'Earlybird', one of the first varieties of Saunders, which blooms in the conditions of the NBG as early as April 28 ± 3 days, was created on the basis of the hybridization of *P. woodwardi* and *P. tenuifolia*. Another early (May 5 ± 4 days) Saunders variety 'Seraphim' was obtained by crossing *P. lactiflora* and *P. macrophylla*. 'Starlight' – a hybrid of *P. lactiflora*, *P. officinalis*, *P. macrophylla*, *P. daurica* subsp. *mlokosewitschii* blooms on May 12 ± 3 days.

An early flowering period is also noted for variety 'Orlyonok' (V. F. Fomicheva), which blooms on May 12 ± 4 days due to the presence of *P. tenuifolia* genes in its genotype. On May 11 'Tiny Tim' (Smirnov, 1975) begins its flowering, which is due to the early flowering of *P. tenuifolia* 'Rubra Plena'. Early flowering 'Novost Altaya' variety (Z. I. Luchnik) is due to the crossing of *P. lactiflora* with *P. anomala*.

Among the introduced cultivars, Autena cultivars are among the first to bloom: 'Early Scout' (15.05 ± 5 days) was created on the basis of *P. lactiflora* 'Richard Carvel' and *P. tenuifolia*; 'Favorita' (16.05 ± 4 days) is the result of hybridization between *P. lactiflora* and *P. officinalis*.

Varieties created in the NBG are marked by early flowering periods. Among them, 'Vesniiane Defile' and 'Stozhary' bloom on May 12 ± 2 days, 'Strily Amura' – on May 13 ± 3 days,

'Filizhanka Koraliv' – on May 14 ± 2 days, and 'Blondyn' – on May 16.

Among the late varieties, we should note 'Colonel Owen Cousins', 'Coral n Gold', 'Henry Bockstoce', 'Lorelei', 'Old Faithful', 'Herkules', 'Koryfei', the beginning of flowering of which falls on May 27–31 and 'Dzvony Mykhailivskoho', 'Lehin Honorovyi' – on 09.06 ± 2 days.

Conclusions

For more than 50 years of introduction work with Herbaceous Hybrid Gp peonies, 133 varieties of world breeding were tested in the NBG. The main number of varieties was included in the collection in the first years of the 21st century, which was due to the introduction of new varieties of world breeding to Ukraine and the need to test them in our conditions.

Varieties created in the late XX – early XXI century with bright yellow, pastel, pink-cream, cream-pink flower color, proved to be promising for cultivation in Ukraine. Comparative study of new varieties showed that most of them are sterile. Fertile varieties were: 'Dreamtime', 'Greenland', 'Quitzin', 'Lavender Whisper', 'Lemon Chiffon', 'Pastelegance', 'Pastelorama', 'Salmon Dream', 'Sunny Boy', 'Sunny Girl', 'Sunny Day', 'The Mackinac Grand', 'Vanilla Schnapps', 'Triphena Parkin', 'Pink Vanguard', 'Lavender Whisper', which can be successfully used in the hybridization process.

Introduced wild species of herbaceous peonies are the source of early flowering cultivars created in the NBG: *P. peregrina*, *P. wittmanniana*, and *P. arietina*. Peonies with double or semi-double flowers can be obtained using both the maternal component of *P. officinalis* 'Rubra Plena' with double flowers, and the paternal of *P. lactiflora* varieties ('President Taft', 'La Pionce', 'Lord Kitchener', 'Adolphe Rousse', 'M-lle Janne Riviere') also with double flowers.

For ornamental horticulture, 165 varieties of world and domestic breeding, combined into four groups according to flower color and two groups according to the beginning of flowering are recommended, which makes it possible to select varieties to expand the range of decorative flower compositions.

References

- Gorobets, V. F. (2015). *Piony (biologiya, selekciya, sorta)* [Peonies (biology, breeding, varieties)]. Kyiv: Veles. [In Russian]
- Rakhmetov, D. B., Zaimenko, N. V., Gaponenko, M. B., Buyun, I. I., Rubtsova, O. L., Ivannikov, R. V., ... Gasnyuk, M. O. (2019). *Naukovi ob'ekty NBG imeni M. M. Hryshko NAN Ukrainy, shcho stanovlyat natsionalne nadbannia* [Scientific objects of the M. M. Gryshko NBG of the National Academy of Sciences of Ukraine, forming the national heritage]. Kyiv: Palyvoda A. V. [In Ukrainian]
- Ministry of Agrarian Policy and Food of Ukraine. (2022). *State register of plant varieties suitable for dissemination in Ukraine in 2022*. Kyiv: N.p. Retrieved July 20, 2022, from <https://minagro.gov.ua/file-storage/reyst-sortiv-roslyn> [In Ukrainian]
- Gorobets, V. F., & Shcherbakova, T. O. (2021). Phenological features of the growth and development of Itoh Group peony cultivars in the conditions of the M. M. Gryshko National Botanical Garden of the National Academy of Sciences of Ukraine. *Plant Varieties Studying and Protection*, 17(1), 14–20. doi: 10.21498/2518-1017.17.1.2021.228202 [In Ukrainian]
- Gorobets, V., & Scherbacova, T. (2017). Old Peony Cultivars in the Collection of the M. M. Gryshko National Botanical Garden of NAS of Ukraine. *Agrobiodiversity For Improving Nutrition, Health and Life Quality*, 1, 146–150. doi: 10.15414/agrobiodiversity.2017.2585-8246.146-150
- Paonia* L. (n.d.). In *Plants of the World online*. Retrieved July 20, 2022, from <http://www.plantsoftheworldonline.org/taxon/urn:lsid:ipni.org:names:329475-2>
- Li, P., Shen, J., Wang, Z., Liu, S., Liu, Q., Li, Y., ... Xiao, P. (2021). Genus *Paonia*: a comprehensive review on traditional uses, phytochemistry, pharmacological, activities, clinical application, and toxicology. *Journal of Ethnopharmacology*, 269(2), Article 113708. doi: 10.1016/j.jep.2020.113708
- Hao, L., Ma, H., Teixeira da Silva, J., & Yu, X. (2016). Pollen Morphology of Herbaceous Peonies with Different Ploidy Levels. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 141(3), 275–284. doi: 10.21273/JASHS.141.3.275
- Yang, L., Zhang, J., Teixeira da Silva, J., & Yu, X. (2017). Variation in Ploidy and Karyological Diversity in Different Herbaceous Peony Cultivar Groups. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 142(4), 272–278. doi: 10.21273/JASHS04015-17
- Zhou, S., Xu, C., Liu, J., Yu, Y., Wu, P., Cheng, T., & Hong, D. (2021). Out of the Pan Himalaya: Evolutionary history of the Paeoniaceae revealed by phylogenomics. *Journal of Systematics and Evolution*, 59(6), 1170–1182. doi: 10.1111/jse.12688
- Yang, Y., Sun, M., Li, Sh., Chen, Q., Teixeira da Silva, J., Wang, A., ... Wang, L. (2017). Germplasm resources and genetic breeding of *Paonia*: a systematic review. *Horticulture Research*, 107(7), Article 107. doi: 10.1038/s41438-020-0332-2
- Kamenetsky, R., & Dole, J. (2012). Herbaceous peony (*Paonia*): Genetics, Physiology and cut flower production. *Floriculture and Ornamental Biotechnology*, 6(1), 62–67.
- American Peony Society. (n.d.). *Peony Registry*. Retrieved July 20, 2022, from <https://americanpeonysociety.org/cultivars/peony-registry>
- Bulach, P. E. (2010). *Teoriya i metody prognozovaniya v inroduktsii rasteniy* [Theory and methods for prediction in plant introduction]. Kyiv: Naukova dumka. [In Russian]
- Osadchyi, V. I., Kosovets, O. O., & Babichenko, V. M. (Eds.). (2010). *Klimat Kyieva* [Climate of Kyiv]. Kyiv: Nika Tsent. [In Ukrainian]
- Bylov, V. N. (1978). Principles of variety based comparative assessment of ornamental plants. In *Introdukciya i selekciya tsechno dekorativnykh rasteniy* [Introduction and breeding of ornamental plants] (pp. 7–32). Moscow: Nauka. [In Russian]
- Gorobets, V. F. (2008). Methodology for examination of peony varieties (*Paonia* L.) for distinctness, uniformity and stability. In *Metodyka provedennia ekspertyzy sortiv roslyn hrupy dekorativnykh na vidminnist, odnorodnist i stabilnist* [Methodology for examination of plant varieties of the ornamental group for distinctness, uniformity and stability]. Retrieved July 20, 2022, http://sops.gov.ua/uploads/page/Meth_DUS/Method-decors_2022.pdf [In Ukrainian]
- Shults, G. E. (Ed.). (1975). *Metodika fenologicheskikh nablyudeniy v botanicheskikh sadakh SSSR* [Methods of phenological observations in botanical gardens of the USSR]. Moscow: Publishing House of the USSR Academy of Sciences. [In Russian]
- American Peony Society. (n.d.). *Bloom Date Project*. Retrieved July 20, 2022, from <https://americanpeonysociety.org/learn/bloom-data-project/>
- Yang, Y., Li, B., Feng, Ch. Wu, Q., Wang, Q., Li, S., ... Wang, L. (2020). Chemical Mechanism of Flower Color Microvariation in *Paonia* with Yellow Flowers. *Horticultural Plant Journal*, 6(3), 179–190. doi: 10.1016/j.hpj.2020.04.002

Використана література

- Горобець В. Ф. Пиони (біологія, селекція, сорти). Київ : Велес, 2015. 160 с.
- Рахметов Д. Б., Заїменко Н. В., Гапоненко М. Б. та ін. Наукові об'єкти НБС імені М. М. Гришка НАН України, що становлять національне надбання. Київ : Паливода А. В., 2019. 224 с.
- Державний реєстр сортів рослин, придатних для поширення в Україні на 2022 рік / Мін во аграр. політики та прод ва України. Київ, 2022. URL: <https://minagro.gov.ua/file-storage/reyst-sortiv-roslyn> (дата звернення: 20.07.2022)
- Горобець В. Ф., Щербакова Т. О. Фенологічні особливості росту й розвитку сортів півоній Itoh Group в умовах Національного ботанічного саду імені М. М. Гришка НАН України. *Plant Varieties Studying and Protection*. 2021. Т. 17, № 1. Р. 14–20. doi: 10.21498/2518-1017.17.1.2021.228202
- Горобець В., Щербакова Т. Старовинні сорти півоній в колекції Національного ботанічного саду ім. М. М. Гришка НАН України. *Agrobiodiversity for Improving Nutrition, Health and Life Quality*. 2017. № 1. Р. 146–150. doi: 10.15414/agrobiodiversity.2017.2585-8246.146-150
- Paonia* L. *Plants of the World online*. URL: <http://www.plantsoftheworldonline.org/taxon/urn:lsid:ipni.org:names:329475-2> (Last accessed: 20.07.2022)
- Li P., Shen J., Wang Z. et al. Genus *Paonia*: a comprehensive review on traditional uses, phytochemistry, pharmacological, activities, clinical application, and toxicology. *Journal of Ethnopharmacology*. 2021. Vol. 269, Iss. 2. Article 113708. doi: 10.1016/j.jep.2020.113708
- Hao L., Ma H., Teixeira da Silva J., Yu X. Pollen Morphology of Herbaceous Peonies with Different Ploidy Levels. *Journal of*

- the American Society for Horticultural Science*. 2016. Vol. 141, Iss. 3. P. 275–284. doi: 10.21273/JASHS.141.3.275
9. Yang L., Zhang J., Teixeira da Silva J., Yu X. Variation in Ploidy and Karyological Diversity in Different Herbaceous Peony Cultivar Groups. *Journal of the American Society for Horticultural Science*. 2017. Vol. 142, Iss. 4. P. 272–278. doi: 10.21273/JASHS04015 17
 10. Zhou S., Xu C., Liu J. et al. Out of the Pan Himalaya: Evolutionary history of the Paeoniaceae revealed by phylogenomics. *Journal of Systematics and Evolution*. 2021. Vol. 59, Iss. 6. P. 1170–1182. doi: 10.1111/jse.12688
 11. Yang Y., Sun M., Li Sh. et al. Germplasm resources and genetic breeding of *Paeonia*: a systematic review. *Horticulture Research*. 2017. Vol. 107, Iss. 7. Article 107. doi: 10.1038/s41438 020 0332 2
 12. Kamenetsky R., Dole J. Herbaceous peony (*Paeonia*): Genetics, Physiology and cut flower production. *Floriculture and Ornamental Biotechnology*. 2012. Vol. 6, Sp. Iss. 1. P. 62–67.
 13. Peony Registry / American Peony Society. URL: https://americanpeonysociety.org/cultivars/peony_registry (Last accessed: 20.07.2022)
 14. Булах П. Е. Теория и методы прогнозирования в интродукции растений. Київ : Наук. думка, 2010. 110 с.
 15. Клімат Києва / за ред. В. І. Осадчого, О. О. Косовця, В. М. Бабченко. Київ : Ніка Центр, 2010. 320 с.
 16. Былов В. Н. Основы сравнительной сортооценки декоративных растений. *Интродукция и селекция цветочно декоративных растений*. Москва : Наука, 1978. С. 7–32.
 17. Горобець В. Ф. Методика проведення експертизи сортів півонії (*Paeonia* L.) на відмінність, однорідність і стабільність. *Методика проведення експертизи сортів рослин групи декоративних на відмінність, однорідність і стабільність*. 2008. URL: http://sops.gov.ua/uploads/page/Meth_DUS/Method_decors_2022.pdf (дата звернення: 20.07.2022)
 18. Методика фенологических наблюдений в ботанических садах СССР / под ред. Г. Э. Шульца. Москва : Изд во АН СССР, 1975. 27 с.
 19. Bloom Date Project / American Peony Society. URL: https://americanpeonysociety.org/learn/bloom_data_project/ (Last accessed: 20.07.2022)
 20. Yang Y., Li B., Feng Ch. et al. Chemical Mechanism of Flower Color Microvariation in *Paeonia* with Yellow Flowers. *Horticultural Plant Journal*. 2020. Vol. 6, Iss. 3. P. 179–190. doi: 10.1016/j.hpj.2020.04.002

УДК 58(038):631.527.5

Горобець В. Ф., Щербакова Т. О.* Походження сортів півоній Herbaceous hybrid Group колекції Національного ботанічного саду імені М. М. Гришка НАН України та перспективи їх використання. *Plant Varieties Studying and Protection*. 2022. Т. 18, № 2. С. 78–89. https://doi.org/10.21498/2518_1017.18.2.2022.265175

*Національний ботанічний сад імені М. М. Гришка НАН України, вул. Тимірязєвська, 1, м. Київ, 01014, Україна, *e mail: Shcherbacova@ukr.net*

Мета. Проаналізувати походження сортів півоній Herbaceous Hybrid Group колекції Національного ботанічного саду імені М. М. Гришка Національної академії наук України (НБС) та визначити перспективи їх застосування в селекційній роботі та декоративному садівництві. **Методи.** Об'єктом досліджень слугували рослини сортів півоній групи трав'янисті гібриди (Herbaceous Hybrid Gr) колекції півоній НБС. Рослини вирощуються на сонячних відкритих експериментальних та експозиційних ділянках НБС. Порівняльне вивчення сортів та фенологічні спостереження за рослинами проводили протягом 2012–2022 рр. **Результати.** Проаналізовано сортове різноманіття півоній Herbaceous Hybrid Gr колекції НБС за походженням. Аналіз показав, що 122 сорти створено селекціонерами США, з яких у колекції найбільшою кількістю представлена селекція Сандерса. 38 сортів – це сорти української селекції, створені в НБС. Аналіз гібридів, отриманих шляхом віддалених схрещувань, дав змогу виділити комбінації, які дають фертильне потомство, і створити перспективні подвійні та потрійні гібриди. Для декоративного садівництва рекомендовано 165 сортів світової та власної селекції, які об'єднали у чотири групи за забарвленням квітки та у дві групи за початком цвітіння. Рослини ранньої групи розпочинають цвітіння до 22 травня

(± 4 доби). Квітування пізньої групи сортів припадає на початок цвітіння сорту 'Red Charm' (22 травня ± 4 доби) та пізніше. **Висновки.** Більш як за 50 років інтродукційної роботи з півоніями Herbaceous Hybrid Gr в НБС було випробувано 133 сорти світової селекції. Основна кількість сортів була залучена до колекції в перші роки ХХІ ст. Порівняльне вивчення нових сортів показало, що більшість із них є стерильними. Фертильними виявилися 'Dreamtime', 'Greenland', 'Quitzin', 'Lavender Whisper', 'Lemon Chiffon', 'Pastelegance', 'Pastelorama', 'Salmon Dream', 'Sunny Boy', 'Sunny Girl', 'Sunny Day', 'The Mackinac Grand', 'Vanilla Schnapps', 'Triphena Parkin', 'Pink Vanguard', 'Lavender Whisper', які можуть успішно використовуватися в гібридаційному процесі. Установлено, що джерелом раннього цвітіння сортів, створених в НБС, були інтродуковані дикорослі види трав'янистих півоній: *P. peregrina*, *P. wittmanniana*, *P. arietina*. Півонії з махровими або напівмахровими квітками можна отримати, використовуючи як материнський компонент *P. officinalis* 'Rubra Plena' з махровими квітками, а як батьківський – сорти *P. lactiflora* ('President Taft', 'La Pionce', 'Lord Kitchener', 'Adolphe Rousseau', 'Mlle Janne Riviere') також з махровими квітками.

Ключові слова: міжвидова гібридизація; схрещування; цвітіння.

*Надійшла / Received 01.07.2022
Погоджено до друку / Accepted 23.07.2022*

Окиснювальні та антиоксидантні процеси в рослинах пшениці за інфікування септоріозом

О. О. Молодченкова^{1*}, М. А. Литвиненко¹, Л. Т. Міщенко²,
О. В. Ришчакова¹, Л. Я. Безкровна¹, Я. С. Фанін¹, П. С. Тихонов¹

¹Селекційно генетичний інститут – Національний центр насіннєзнавства та сортовивчення, Овідіопольська дорога, 3, м. Одеса, 65036, Україна, *e mail: olgamolod@ukr.net

²Київський національний університет імені Тараса Шевченка, ННЦ «Інститут біології та медицини», вул. Володимирська, 64/13, м. Київ, 01601, Україна, e mail: lmishchenko@ukr.net

Мета. На основі вивчення окиснювальних та антиокиснювальних процесів у рослинах пшениці (*Triticum aestivum* L.) у фазі колосіння за враження *Septoria tritici* Rob. виявити сортові особливості за зміною рівня пероксиду водню, інтенсивності перекисного окиснення ліпідів, активності антиоксидантних ензимів для розроблення біохімічних методів добору стійких проти хвороби сортів. **Методи.** Польовий, спектрофотометричні методи визначення біохімічних показників, порівняння, узагальнення. Статистичний аналіз результатів досліджень проводили за допомогою програми Libre Office Calc (GNU Lesser General Public Licensev3). **Результати.** Виявлені зміни вмісту пероксиду водню, малонового діальдегіду та активності супероксиддисмутази, каталази, пероксидази в рослинах пшениці у фазі колосіння за інфікування септоріозом. Установлено наявність особливостей зміни окиснювальних та антиокиснювальних процесів клітин рослин пшениці за інфікування збудниками септоріозу залежно від дослідженого сорту пшениці. Показано, що реакція рослин на враження збудниками септоріозу в стійкіших проти хвороби сортів пшениці характеризується підвищеними або незмінними відносно контролю вмістом малонового діальдегіду та активності пероксидази. **Висновки.** Отримані результати розширюють знання про механізми підтримання окиснювального гомеостазу в рослин пшениці за інфікування збудниками септоріозу та дають змогу виділити біохімічні реакції рослин культури у відповідь на інфекцію, які можуть бути використані надалі для розроблення біохімічних методів ідентифікації стійких проти хвороби сортів.

Ключові слова: пшениця; септоріоз; пероксид водню; перекисне окиснення ліпідів; антиоксидантні ензими; стійкість.

Вступ

Однією з поширених в Україні хвороб пшениці є септоріоз (*Septoria tritici* Rob.). Септоріоз призводить до зменшення асиміляційної поверхні, передчасного всихання листків і

рослин, зниження врожаю зерна і погіршення його посівних та технологічних якостей. Утрати врожаю можуть становити 40% [1]. Використання різних (агротехнічних, селекційних, біотехнологічних) способів підвищення стійкості рослин проти хвороб є вкрай важливим завданням. Одним з найбільш економично вигідних та екологічно безпечних способів підвищення стійкості рослин є використання у виробництві стійких сортів. Незважаючи на складність розв'язання цього завдання, практично по кожній культурі є спектр генотипів, що відрізняються за рівнем стійкості проти тієї чи іншої хвороби [2]. Значну допомогу в процесі створення вихідного матеріалу для добору та створення перспективних генотипів за стійкістю проти хвороб може показати дослідження фізіолого-біохімічних механізмів її формування, виявлення біохімічних критеріїв, які можуть бути

Olga Molodchenkova
https://orcid.org/0000_0003_2511_0866

Mykola Lytvynenko
https://orcid.org/0000_0003_2511_0866

Lidiya Mishchenko
https://orcid.org/0000_0002_8605_6587

Olga Ryshchakova
https://orcid.org/0000_0003_0621_6171

Lidiya Bezкровna
https://orcid.org/0000_0003_2227_1541

Yaroslav Fanin
https://orcid.org/0000_0003_3129_7583

Pavlo Tikhonov
https://orcid.org/0000_0001_8738_7946

використані в процесі розроблення ефективних методів добору стійких генотипів у селекції. Виявивши біохімічні критерії, постійно зчеплені зі стійкістю проти хвороби, можна уникнути необхідності тестування значної кількості рослин традиційними методами – достатньо оцінити наявність маркера швидким біохімічним тестом, і зробити висновок щодо ступеня стійкості рослини.

Загальною реакцією відгуку живих організмів, зокрема й рослин, на дію несприятливих чинників навколишнього середовища є утворення та накопичення активних форм кисню (АФК). АФК, з одного боку, є високотоксичними сполуками, а з іншого – регуляторами метаболічних процесів та захисних реакцій у рослинній клітині [3, 4]. У ланцюзі вільнорадикального окиснення першими з'являються АФК – супероксидний аніон-радикал O_2^- і синглетна форма кисню 1O_2 , гідроксильний радикал OH , пероксид водню H_2O_2 [5]. Вони дають початок низці інших радикалів, ініціюють вільнорадикальне перекисне окиснення ліпідів. Одна з форм АФК, перекис водню (H_2O_2), є прямим антимікробним агентом та сигнальною молекулою [6, 7]. Shetty et al. [8] встановлено, що через 15 діб після інфікування рослин пшениці *S. tritici* відбувалося значне накопичення H_2O_2 у несумісних взаємодіях рослини та патогена, що збігалось з припиненням розповсюдження збудника і, таким чином, указувало на роль H_2O_2 в активному захисті рослин пшениці. Mihailova et al. [9] вивчали деякі фізіологічні показники рослин пшениці на стадії проростання за інфікування збудниками септоріозу і виявили, що зміни вмісту кінцевого продукту перекисного окиснення ліпідів (малонового діальдегіду) та значення квантового виходу транспорту електронів PSII можна використовувати для скринінгу ступеня стійкості різних генотипів проти *S. tritici*.

Детоксикація зайвої кількості АФК й підтримання балансу між генерацією та утилізацією АФК вважається характерною рисою стійких проти стресів рослин [10, 11]. Показано, що в цих процесах бере участь низка антиоксидантних ензимів, зокрема супероксиддисмутаза, пероксидаза та каталаза [12–14]. Виявлено, що у стійких проти септоріозу сортів пшениці інфікування *S. tritici* супроводжувалося раннім і локалізованим некрозом, і швидким та інтенсивним підвищенням активності пероксидази і супероксиддисмутази. У сприйнятливих сортів симптоми некрозу, підвищення активності поліфенолоксидази, супероксиддисмутази і каталази з'являлися із запізненням [15].

Мета досліджень – на основі вивчення окиснювальних та антиокиснювальних процесів в рослинах пшениці (*T. aestivum*) у фазі колосіння за враження *S. tritici* виявити сортові особливості за зміною рівня пероксиду водню, інтенсивності перекисного окиснення ліпідів, активності антиоксидантних ензимів для розроблення біохімічних методів добору стійких проти хвороби сортів.

Матеріали та методика досліджень

Дослідження проводили протягом 2019–2020 рр. на дослідних полях Селекційно-генетичного інституту – Національного центру насіннезнавства та сортовивчення (СГІ – НЦНС), розташованих у Південно-Західному степу України (м. Одеса). Матеріалом для досліджень слугували листки рослин пшениці м'якої озимої (*T. aestivum*) у фазі колосіння (ВВСН 51–59) сортів селекції СГІ – НЦНС, які були вражені *S. tritici*. Це сорти 'Мелодія' (стійкість проти септоріозу – 7 балів), 'Аксиома' (7 балів), 'Журавка' (6–7 балів), 'Нива' (5 балів). Фітопатологічну оцінку дорослих рослин проводили на природному фоні поширених хвороб (борошнеста роса, листкова та жовта іржа, септоріоз) на експериментальних ділянках розміром 10 м². Для визначення стійкості проти септоріозу додатково сіяли досліди на штучному фоні в інфекційному розсаднику відділу фітопатології та ентомології. Ступінь ураження рослин визначали в період максимального розвитку хвороби за 9-баловою інтегрованою шкалою РЕВ [16]. Для проведення біохімічних досліджень брали 10–20 рослин з ділянки.

Уміст пероксиду водню визначали феротіоціанатним методом [17]. Пероксид водню з розтертого на холоді рослинного матеріалу екстрагували 5%-ю трихлороцтовою кислотою. Проби центрифугували при 8000 g протягом 10 хв за температури не вище 4 °C та у супернатанті визначали концентрацію H_2O_2 з використанням солі Мора і тіоціанату амонію за світлопоглинанням забарвленого комплексу за 480 нм. Як стандарти використовували розчини пероксиду водню.

Уміст малонового діальдегіду (МДА) визначали за реакцією з 2-тіобарбітуровою кислотою (ТБК) і оцінювали за вмістом ТБК-активних продуктів [18]. Наважку тканин ($\approx 0,4$ г) листків пшениці гомогенізували в 0,1 М трис-НСl буфері, рН 7,6 з додаванням 0,35 М NaCl, кінцевий об'єм гомогенату – 15 мл. До гомогенату 124 додавали 5 мл 0,5%-го розчину ТБК у 20%-й ТХО. Суміш нагрівали на киплячій водяній бані протягом 30 хв і фільтрували. Оптичну густину

фільтрату визначали за довжини хвилі 532 нм відносно буферу з реагентом, але без рослинного матеріалу. Концентрацію ТБК-активних сполук розраховували за молярною екстинкцією МДА ($\epsilon = 1,56 \cdot 10^{-5} \text{ M}^{-1} \text{ cm}^{-1}$). Уміст ТБК-активних продуктів виражали в $\mu\text{M}/\text{mg}$ білка.

Активність пероксидази (КФ 1.11.1.7) визначали за методом Риджа та Осборна [19] з деякими модифікаціями. Наважку рослинного матеріалу гомогенізували в 0,06 МК, Na-фосфатному буфері Серенсена (рН 6,2). Гомогенат центрифугували за 7000 g протягом 15 хв. Надосадову рідину використовували для визначення активності ензиму, субстратами в реакційній суміші були гваякол і пероксид водню.

Активність каталази (КФ 1.11.1.6) визначали за модифікованою методикою визначення ензиму в еритроцитах крові [20]. Каталазу екстрагували з тканин рослин 0,2 М трис-НСІ буфером рН 7,0 за 4 °С протягом 60 хв при співвідношенні маса : об'єм 1 : 4. Гомогенат центрифугували (6000 g, 20 хв), використовуючи супернатант для визначення ферментативної активності. Як субстрат було використано 0,75% H_2O_2 . Активність каталази виражали в одиницях вимірювання оптичної густини при 410 нм на мг білка/хв.

Активність цитозольної супероксиддисмутази (КФ 1.15.1.1) визначали, використовуючи метод, в основі якого була здатність ензиму конкурувати з нітротетразолієм синім за супероксидні аніони, які утворюються внаслідок аеробної взаємодії НАДН і феназинметосульфату. Оптичну густину визначали за 540 нм [21].

Уміст білка в екстрактах визначали методом Лоурі [22].

Досліди проводилися у 3–5-кратній повторностях. Статистичний аналіз результатів досліджень проводили за допомогою програми Libre Office Calc (GNU Lesser General Public Licensev3).

Результати досліджень

Відомо, що рецепція рослинними клітинами біополімерів еліситорів патогена індукує в інфікованих тканинах господаря генерацію H_2O_2 [23]. Першою ланкою в патоген-індукованому окиснювальному спалаху є активація пов'язаної з клітинною мембраною НАДФН-оксидази та генерація супероксидного радикалу, який за участю супероксиддисмутази перетворюється у H_2O_2 [24]. Виявлено, що високий рівень генерації H_2O_2 , який спостерігається у стійких рослинах, сприяє гальмуванню активного росту й розвитку

патогенів, а низький, навпаки, ініціює їхнє зростання [25].

У результаті проведених досліджень показано, що за враження септоріозом у листках рослин пшениці всіх досліджених сортів, спостерігалось достовірне зростання рівня пероксиду водню (рис. 1). Найбільш значне зростання рівня H_2O_2 було виявлено в сорту 'Мелодія'. Аналогічна реакція за зміною вмісту H_2O_2 спостерігалась у рослинах пшениці за інфікування вірусом смугастої мозаїки пшениці (ВСМП) [13] та збудниками фузаріозу [26].

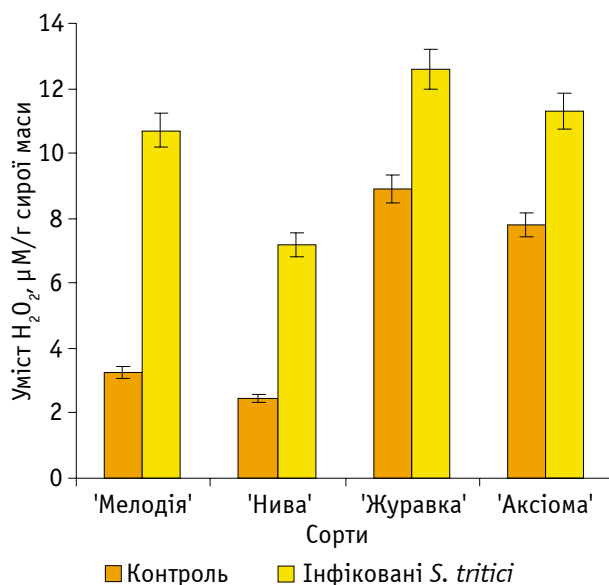


Рис. 1. Уміст пероксиду водню в рослинах пшениці, уражених *S. tritici*, у фазі колосіння

АФК ініціюють вільнорадикальне перекисне окиснення ліпідів (ПОЛ). Продукти ПОЛ можуть бути одночасно «індикаторами» та первинними «медіаторами» стресу як особливого стану клітини, який може призвести до підвищення її стійкості до біо- та абіотичних стресових чинників [27]. Одним з основних кінцевих продуктів ПОЛ є МДА – високоактивна гідрофільна сполука, що має невелику молекулярну масу, яка в нормі присутня в тканинах у низьких концентраціях. Проведені нами дослідження показали, що зростання рівня МДА в інфікованих рослинах була відзначена у сортів 'Мелодія' та 'Аксиома', які були визначені як стійкі проти хвороб. В уражених септоріозом рослинах сорту 'Нива' рівень МДА достовірно знижувався відносно здорових рослин, а в рослин сорту 'Журавка' вміст МДА майже не відрізнявся від контролю (рис. 2). Можна припустити, що зміни вмісту малонового діальдегіду можна використовувати для характеристики ступеня стійкості проти *S. tritici* у

різних генотипів пшениці. Аналогічні висновки були отримані у дослідженнях [9].

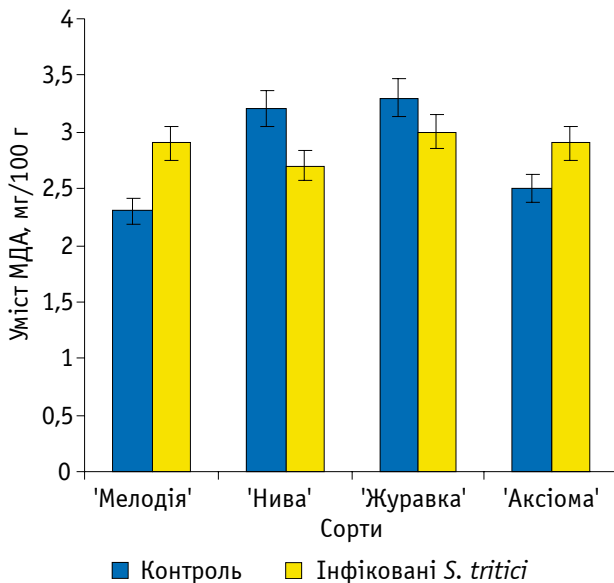


Рис. 2. Уміст малонового діальдегіду в рослинах пшениці, уражених *S. tritici*, у фазі колосіння

Визначення активності супероксиддисмутази – ключового ензиму антиоксидантної системи клітини, який каталізує перетворення супероксиду на пероксид водню і молекулярний кисень, дало змогу виявити його активацію у всіх досліджених сортів за враження септоріозом, крім сорту 'Журавка', у якого зміна активності ензиму була незначною (рис. 3). Отримані нами результати підтверджують літературні дані [15, 28], і показують, що супероксиддисмутаза відіграє вирішальну роль у зниженні окиснювального стресу в рослинах за враження патогеном.

Ще одним із антиоксидантних ензимів є каталаза. Роль цього ензиму полягає в захисті клітин від перекису водню, що утворився під час метаболізму, та в забезпеченні рослин киснем. Більша частина каталази локалізована в пероксисомах та цитоплазмі [29].

Вивчення активності каталази дало змогу встановити, що в листках-рослин сортів 'Мелодія' та 'Нива' відбувалося зниження активності каталази, а у сортів 'Аксиома' та 'Журавка' – активація цього ензиму за інфікування цим патогеном (рис. 4). Різноманітні зміни активності каталази за дії патогена, мабуть, пов'язані з відмінностями у швидкості процесів утворення активних форм кисню і функціонуванні антиоксидантних систем у рослинній клітині за інфікування рослин збудниками септоріозу в різних сортів пшениці. Підвищений рівень активності каталази в рослин сортів 'Аксиома' та 'Журавка' може бути обумовлений не тільки чинника-

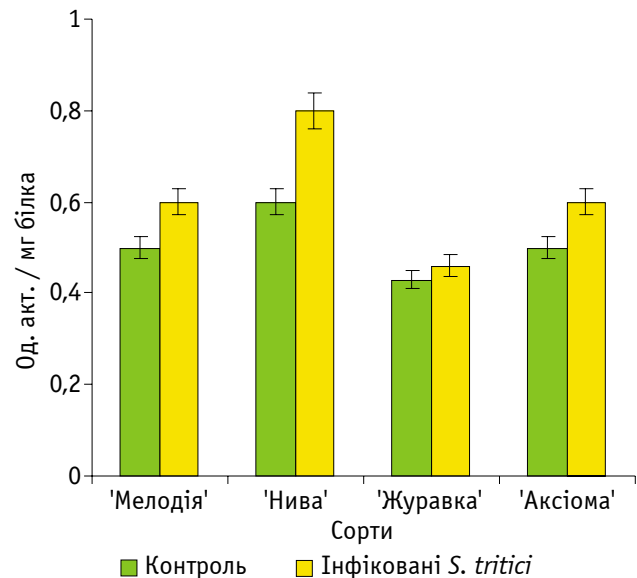


Рис. 3. Активність супероксиддисмутази в рослинах пшениці, уражених *S. tritici*, у фазі колосіння

ми рослини, але й гриба, що забезпечує оптимальний рівень H_2O_2 для росту й розвитку фітопатогена в рослинних тканинах [30, 31].

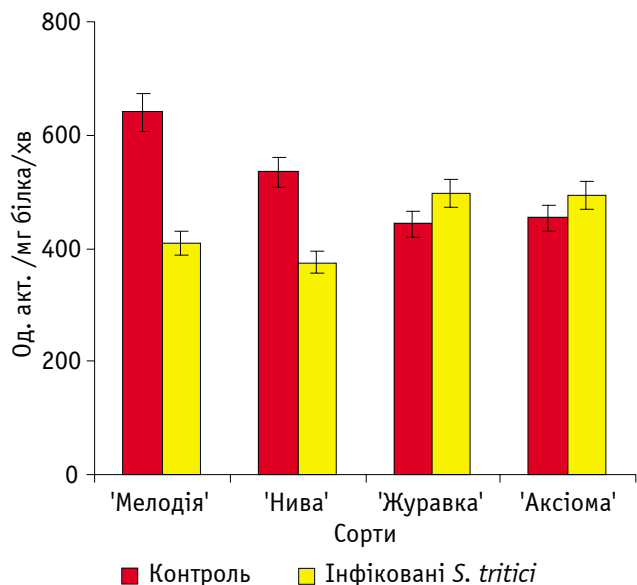


Рис. 4. Активність каталази в рослинах пшениці, уражених *S. tritici*, у фазі колосіння

Важливим ензимом, що бере участь у регуляції вмісту H_2O_2 є пероксидаза. Ендогенна пероксидаза рослин з використанням H_2O_2 здатна окиснювати фенольні сполуки, що пов'язано зі зміцненням клітинних стінок унаслідок лігніфікації [32].

Нашими дослідженнями встановлено, що за інфікування септоріозом активність пероксидази підвищувалася проти контролю в листках рослин сорту 'Аксиома' та знижувалася у сортів 'Нива' та 'Журавка'. В інфікованих септоріозом рослинах сорту 'Мелодія'

активність пероксидази практично не змінювалася порівняно зі здоровими рослинами (рис. 5). Активація пероксидази у більш резистентного до ВСМП сорту була відмічена нами за вивчення впливу ВСМП на рослини [13]. Виявлений характер зміни активності пероксидази за інфікування рослин збудниками септоріозу та ВСМП свідчать про роль цього ензиму у формуванні захисних механізмів пшениці проти фітопатогенів різної етіології.

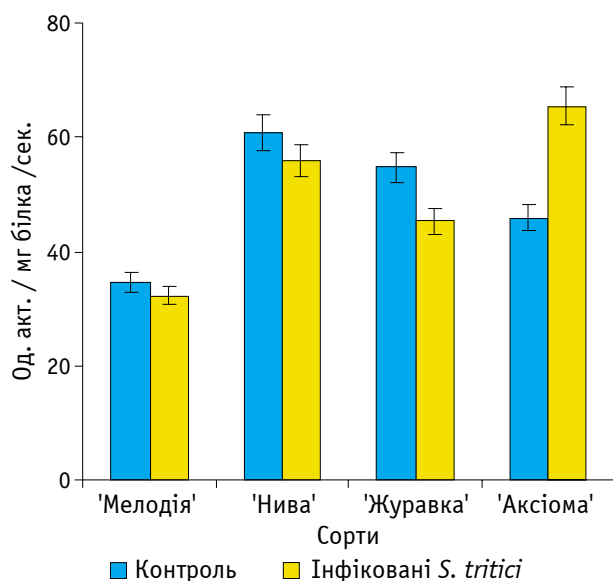


Рис. 5. Активність пероксидази в рослинах пшениці, уражених *S. tritici*, у фазі колосіння

Отже, можна припустити, що важливу роль у взаємовідносинах рослин пшениці та *S. tritici* відіграють окиснювальні процеси, зокрема накопичення H_2O_2 та МДА. Значне підвищення вмісту H_2O_2 та МДА за інфікування септоріозом може індукувати в рослинах каскад захисних реакцій, а їх низька концентрація сприяти розвитку патогена [8, 9]. Водночас тривале накопичення H_2O_2 та МДА токсичне як для патогена, так і для рослини. Для регулювання інтенсивності окиснювальних процесів рослини та гриби використовують механізми детоксикації, пов'язані з індукцією ензимів антиоксидантної системи, як-от супероксиддисмутаза, каталаза, пероксидаза. Нашими дослідженнями виявлено, що супероксиддисмутаза в рослинах пшениці відзначається високою чутливістю до збудників септоріозу, що виражається в підвищеній активності цього ензиму в усіх досліджених сортах, незалежно від рівня стійкості проти патогена. Характер активності пероксидази в інфікованих збудниками септоріозу рослинах пшениці свідчать про роль пероксидази у формуванні стійкості проти патогена. Дослідження ак-

тивності каталази, яка може бути рослинного та грибного походження, указують на роль цього ензиму в регулюванні накопичення H_2O_2 в інфікованих рослинах.

Висновки

Проведені дослідження показали, що враження рослин пшениці *S. tritici* викликає такі зміни окиснювальних та антиоксидантних процесів рослинної клітини, як накопичення пероксиду водню, зміни в інтенсифікації процесів перекисного окиснення ліпідів, активності деяких антиоксидантних ензимів (супероксиддисмутази, каталази, пероксидази). Отримані результати свідчать про наявність особливостей зміни окиснювальних та антиокиснювальних процесів клітин рослин пшениці за інфікування збудниками септоріозу залежно від дослідженого сорту пшениці. Показано, що реакція рослин на враження збудниками септоріозу в стійкіших проти хвороб сортів пшениці ('Мелодія', 'Аксиома') характеризувалася підвищеними або незмінними відносно контролю вмістом малонового діальдегіду та активності пероксидази. Подальші дослідження в цьому напрямі можуть привести до розуміння механізмів підтримання окиснювального гомеостазу в рослин за інфікування септоріозом. Це дасть змогу виявити біохімічні реакції рослин пшениці у відповідь на інфекцію, які можуть бути використані надалі для ідентифікації стійких проти хвороби сортів.

Використана література

1. Леонов О. Ю., Петренкова В. П., Лучна І. С. та ін. Хвороби пшениці, поширені в Україні: шкідливість, генетичний контроль та результативність селекції на стійкість. *Селекція і насінництво*. 2016. Вип. 109. С. 53–92. doi: 10.30835/24137510.2016.74196
2. Литвиненко М. А. 100 років розвитку селекційних програм пшениці м'якої озимої. *Plant Varieties Studying and Protection*. 2016. № 2. С. 75–82. doi: 10.21498/25181017.2(31).2016.70324
3. Dumanović J., Nepovimova E., Natić M. et al. The significance of reactive oxygen species and antioxidant defense system in plants: a concise overview. *Frontiers in Plant Science*. 2021. Vol. 11. Article 552969. doi: 10.3389/fpls.2020.552969
4. Huang H., Ullah F., Zhou D. X. et al. Mechanisms of ROS regulation of plant development and stress responses. *Frontiers in Plant Science*. 2019. Vol. 10. Article 800. doi: 10.3389/fpls.2019.00800
5. Zhang Z., Chen Y., Li B. et al. Reactive oxygen species: A generalist in regulating development and pathogenicity of phyto pathogenic fungi. *Computational and Structural Biotechnology Journal*. 2020. Vol. 18. P. 3344–3349. doi: 10.1016/j.csbj.2020.10.024
6. Smirnoff N., Arnaud D. Hydrogen peroxide metabolism and functions in plants. *New Phytologist*. 2019. Vol. 221, Iss. 3. P. 1197–1214. doi: 10.1111/nph.15488
7. Hong J. K., Kang S. R., Kim Y. H. et al. Hydrogen peroxide and nitric oxide mediated disease control of bacterial wilt in tomato plants. *The Plant Pathology Journal*. 2013. Vol. 29, Iss. 4. P. 386–396. doi: 10.5423/PPJ.OA.04.2013.0043

8. Shetty N. P., Kristensen B. K., Newman M. A. et al. Association of hydrogen peroxide with restriction of *Septoria tritici* in resistant wheat. *Physiological and Molecular Plant Pathology*. 2003. Vol. 62, Iss. 6. P. 333–346. doi: 10.1016/S0885-5765(03)00079-1
9. Mihailova G., Stoyanova Z., Rodeva R. et al. Physiological changes in winter wheat genotypes in response to the *Zymoseptoria tritici* infection. *Photosynthetica*. 2019. Vol. 57, Iss. 2. P. 428–437. doi: 10.32615/ps.2019.054
10. Koch K. G., Chapman K., Louis J. et al. Plant tolerance: a unique approach to control Hemipteran pests. *Frontiers in Plant Science*. 2016. Vol. 7. Article 1363. doi: 10.3389/fpls.2016.01363
11. Nadarajah K. K. ROS homeostasis in abiotic stress tolerance in plants. *International Journal of Molecular Sciences*. 2020. Vol. 21, Iss. 15. Article 5208. doi: 10.3390/ijms21155208
12. López Cruz J., Óscar C. S., Emma F. C. et al. Absence of Cu–Zn superoxide dismutase BCSOD1 reduces *Botrytis cinerea* virulence in Arabidopsis and tomato plants, revealing interplay among reactive oxygen species, callose and signalling pathways. *Molecular Plant Pathology*. 2017. Vol. 18, Iss. 1. P. 16–31. doi: 10.1111/mpp.12370
13. Mishchenko L., Nazarov T., Dunich A. et al. Impact of wheat streak mosaic virus on peroxisome proliferation, redox reactions, and resistance responses in wheat. *International Journal of Molecular Sciences*. 2021. Vol. 22, Iss. 19. Article 10218. doi: 10.3390/ijms221910218
14. Das K., Roychoudhury A. Reactive oxygen species (ROS) and response of antioxidants as ROS–scavengers during environmental stress in plants. *Frontiers in Environmental Science*. 2014. Vol. 2. Article 53. doi: 10.3389/fenvs.2014.00053
15. Diani Z., Ouarraqi E. M., Aissam S. et al. Induction of early oxidative events in soft wheat leaves inoculated with *Septoria tritici* and their relationship to resistance of Moroccan cultivars. *International Journal of Agriculture and Biology*. 2009. Vol. 11, No. 4. P. 351–359.
16. Бабаянц О. В., Бабаянц Л. Т. Основы селекции и методологии оценок устойчивости пшеницы к возбудителям болезней. Одесса : БМВ, 2014. 401 с.
17. Sagisaka S. The occurrence of peroxide in a perennial plant *Populus gelrica*. *Plant Physiology*. 1976. Vol. 57, Iss. 2. P. 308–309. doi: 10.1104/pp.57.2.308
18. Мерзляк М. Н., Погосян С. И., Юферова С. Г. и др. Использование 2 тиобарбитуровой кислоты при исследовании перекисления липидов в тканях растений. *Биологические науки*. 1978. № 9. С. 86–94
19. Ridge I., Osborne D. J. Hydroxyproline and peroxidases in cell wall of *Pisum sativum*: regulation by ethylene. *Journal of Experimental Botany*. 1970. Vol. 21, Iss. 4. P. 843–856. doi: 10.1093/jxb/21.4.843
20. Королюк М. А., Торев В. М., Майорова И. Г. Определение активности каталазы. *Лабораторное дело*. 1988. № 1. С. 16–18.
21. Чевари С., Чаба И., Секей Й. Роль супероксиддисмутазы в окислительных процессах клетки и метод определения ее в биологических материалах. *Лабораторное дело*. 1985. № 11. С. 678–681.
22. Lowry O. H., Rosebrough N. I., Farr A. L. et al. Protein measurement with Folin phenol reagent. *Journal of Biological Chemistry*. 1951. Vol. 193, Iss. 1. P. 265–275. doi: 10.1016/S0021-9258(19)52451-6
23. Thakur M., Sohal B. S. Role of elicitors in inducing resistance in plants against pathogen infection: a review. *International Scholarly Research Notices*. 2013. Vol. 2013. Article 762412. doi: 10.1155/2013/762412
24. Orozco Cárdenas M. L., Narváez Vásquez J., Ryan C. A. Hydrogen peroxide acts as a second messenger for the induction of defense genes in tomato plants in response to wounding, systemin, and methyl jasmonate. *The Plant Cell*. 2001. Vol. 13, Iss. 1. P. 179–192. doi: 10.2307/3871162
25. Poudel A., Navathe S., Chand R. et al. Hydrogen peroxide prompted lignification affects pathogenicity of hemi biotrophic pathogen *Bipolaris sorokiniana* to wheat. *The Plant Pathology Journal*. 2019. Vol. 35, Iss. 4. P. 287–300. doi: 10.5423/PPJ.OA.09.2018.0180
26. Молодченкова О. О. Влияние салициловой кислоты и *Fusarium graminearum* на активность каталазы, содержание H₂O₂ и эндогенной салициловой кислоты в проростках пшеницы. *Физиология и биохимия культурных растений*. 2005. Т. 37, № 1. С. 37–43.
27. El Beltagi H. S., Mohamed H. I. Reactive oxygen species, lipid peroxidation and antioxidative defense mechanism. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj Napoca*. 2013. Vol. 41, Iss. 1. P. 44–57. doi: 10.15835/nbha4118929
28. Yang F., Melo Braga M. N., Larsen M. R. et al. Battle through signaling between wheat and the fungal pathogen *Septoria tritici* revealed by proteomics and phosphoproteomics. *Molecular & Cellular Proteomics*. 2013. Vol. 12, Iss. 9. P. 2497–2508. doi: 10.1074/mcp.M113.027532
29. Sofo A., Scopa A., Nuzzaci M., Vittori A. Ascorbate peroxidase and catalase activities and their genetic regulation in plants subjected to drought and salinity stresses. *International Journal of Molecular Sciences*. 2015. Vol. 16, Iss. 6. P. 13561–13578. doi: 10.3390/ijms160613561
30. Goodwin P. H., Li J., Jin S. A catalase gene of *Colletotrichum gloeosporioides* f. sp. *malvae* is highly expressed during the necrotrophic phase of infection of round leaved mallow *Malva pusilla*. *FEMS Microbiology Letters*. 2001. Vol. 202, Iss. 1. P. 103–107. doi: 10.1111/j.1574-6968.2001.tb10787.x
31. Mhamdi A., Queval G., Chaouch S. et al. Catalase function in plants: a focus on Arabidopsis mutants as stress–mimic models. *Journal of Experimental Botany*. 2010. Vol. 61, Iss. 15. P. 4197–4220. doi: 10.1093/jxb/erq282
32. Almagro L., Gómez Ros L. V., Belchi Navarro S. et al. Class III peroxidases in plant defence reactions. *Journal of Experimental Botany*. 2009. Vol. 60, Iss. 2. P. 377–390. doi: 10.1093/jxb/ern277

References

1. Leonov, O. Yu., Petrenkova, V. P., Luchnaya, I. S., Suvorova, K. Yu., & Chugayev, S. V. (2016). Wheat diseases common in Ukraine: harmfulness, genetic control and effectiveness of breeding for resistance. *Plant Breeding and Seed Production*, 109, 53–92. doi: 10.30835/2413-7510.2016.74196 [In Ukrainian]
2. Lytvynenko, M. A. (2016). 100 year history of the development of winter wheat breeding programs. *Plant Varieties Studying and Protection*, 2, 75–82. doi: 10.21498/2518-1017.2(31).2016.70324 [In Ukrainian]
3. Dumanović, J., Nepovimova, E., Natić, M., Kuča, K., & Jačević, V. (2021). The significance of reactive oxygen species and anti oxidant defense system in plants: a concise overview. *Frontiers in Plant Science*, 11, Article 552969. doi: 10.3389/fpls.2020.552969
4. Huang, H., Ullah, F., Zhou, D. X., Yi, M., & Zhao, Y. (2019). Mechanisms of ROS regulation of plant development and stress responses. *Frontiers in Plant Science*, 10, Article 800. doi: 10.3389/fpls.2019.00800
5. Zhang, Z., Chen, Y., Li, B., Chen, T., & Tian, S. (2020). Reactive oxygen species: A generalist in regulating development and pathogenicity of phytopathogenic fungi. *Computational and Structural Biotechnology*, 18, 3344–3349. doi: 10.1016/j.csbj.2020.10.024
6. Smirnov, N., & Arnaud, D. (2019). Hydrogen peroxide metabolism and functions in plants. *New Phytologist*, 221(3), 1197–1214. doi: 10.1111/nph.15488
7. Hong, J. K., Kang, S. R., Kim, Y. H., Yoon, D. J., Kim, D. H., Kim, H. J., ... Kim, Y. S. (2013). Hydrogen peroxide and nitric oxide mediated disease control of bacterial wilt in tomato plants. *The Plant Pathology Journal*, 29(4), 386–396. doi: 10.5423/PPJ.OA.04.2013.0043

8. Shetty, N. P., Kristensen, B. K., Newman, M. A., Møller, K., Gregersen, P. L., & Jørgensen, H. J. L. (2003). Association of hydrogen peroxide with restriction of *Septoria tritici* in resistant wheat. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, 62(6), 333–346. doi: 10.1016/S0885-5765(03)00079-1
9. Mihailova, G., Stoyanova, Z., Rodeva, R., Bankina, B., Bimšteine, G., & Georgieva, K. (2019). Physiological changes in winter wheat genotypes in response to the *Zymoseptoria tritici* infection. *Photosynthetica*, 57(2), 428–437. doi: 10.32615/ps.2019.054
10. Koch, K. G., Chapman, K., Louis, J., Heng Moss, T., & Sarath, G. (2016). Physiological changes in winter wheat genotypes in response to the *Zymoseptoria tritici* infection. *Photosynthetica*, 7, Article 1363. doi: 10.3389/fpls.2016.01363
11. Nadarajah, K. K. (2020). ROS homeostasis in abiotic stress tolerance in plants. *International Journal of Molecular Sciences*, 21(15), Article 5208. doi: 10.3390/ijms21155208
12. López Cruz, J., Óscar, C. S., Emma, F. C., Pilar, G. A., & Carmen, G. B. (2016). Absence of Cu–Zn superoxide dismutase BCSOD1 reduces *Botrytis cinerea* virulence in Arabidopsis and tomato plants, revealing interplay among reactive oxygen species, callose and signalling pathways. *Molecular Plant Pathology*, 18(1), 16–31. doi: 10.1111/mpp.12370
13. Mishchenko, L., Nazarov, T., Dunich, A., Mishchenko, I., Ryshchakova, O., Motsnyi, I., Dashchenko, A., Bezukrovna, L., Fannin, Y., Molodchenkova, O., & Smertenko, A. (2021). Impact of wheat streak mosaic virus on peroxisome proliferation, redox reactions, and resistance responses in wheat. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(19), Article 10218. doi: 10.3390/ijms221910218
14. Das, K., & Roychoudhury, A. (2014). Reactive oxygen species (ROS) and response of antioxidants as ROS scavengers during environmental stress in plants. *Frontiers in Environmental Science*, 2, Article 53. doi: 10.3389/fenvs.2014.00053
15. Diani, Z., Ouarragi, E. M., Aissam, S., Hsissou, D., & Modafar, C. E. (2009). Induction of early oxidative events in soft wheat leaves inoculated with *Septoria tritici* and their relationship to resistance of Moroccan cultivars. *International Journal of Agriculture and Biology*, 11(4), 351–359.
16. Babaiants, O. V., & Babaiants, L. T. (2014). *Osnovy seleksii i metodologii otsenok ustoychivosti pshenitsy k vzbuditelnyam bolezney* [Bases of breeding and methodology of assessments of wheat resistance to pathogens]. Odesa: VMV. [In Russian]
17. Sagisaka, S. (1976). The Occurrence of Peroxide in a Perennial Plant, *Populus gelrica*. *Plant Physiology*, 57(2), 308–309. doi: 10.1104/pp.57.2.308
18. Merzlyak, M. N., Pogosyan, S. I., Yuferova, S. G., & Shevyreva, V. A. (1978). Using of 2 thiobarbituric acid in the study of lipid peroxidation in plant tissues. *Biological Sciences*, 9, 86–94. [In Russian]
19. Ridge, I., & Osborne, D. J. (1970). Hydroxyproline and peroxidases in cell wall of *Pisum sativum*: regulation by ethylene. *Journal of Experimental Botany*, 21(4), 843–856. doi: 10.1093/jxb/21.4.843
20. Korolyuk, M. A., Torev, V. M., & Mayorova, I. G. (1988). Determination of catalase activity. *Laboratory Work*, 1, 16–18. [In Russian]
21. Chevari, S., Chaba, I., & Szekely, J. (1985). The role of superoxide dismutase in oxidative cell processes and a method for its determination in biological materials. *Laboratory Work*, 11, 678–681. [In Russian]
22. Lowry, O. H., Rosebrough, N. I., Farr, A. L., & Randall, R. J. (1951). Protein measurement with Folin phenol reagent. *Journal of Biological Chemistry*, 193(1), 265–275. doi: 10.1016/S0021-9258(19)52451-6
23. Thakur, M., & Sohal, B. S. (2013). Role of elicitors in inducing resistance in plants against pathogen Infection: a review. *International Scholarly Research Notices*, 2013, Article 762412. doi: 10.1155/2013/762412
24. Orozco Cárdenas, M. L., Narváez Vásquez, J., & Ryan, C. A. (2001). Hydrogen peroxide acts as a second messenger for the induction of defense genes in tomato plants in response to wounding, systemin, and methyl jasmonate. *The Plant Cell*, 13(1), 179–192. doi: 10.2307/3871162
25. Poudel, A., Navathe, S., Chand, R., Mishra, V. K., Singh, P. K., & Joshi, A. K. (2019). Hydrogen peroxide prompted lignifications affects pathogenicity of hemi biotrophic pathogen *Bipolaris sorokiniana* to wheat. *The Plant Pathology Journal*, 35(4), 287–300. doi: 10.5423/PPJ.OA.09.2018.0180
26. Molodchenkova, O. O. (2005). Influence of salicylic acid and *Fusarium graminearum* on catalase activity, content of H₂O₂ and endogenous salicylic acid in wheat seedlings. *Physiology and Biochemistry of Cultivated Plants*, 37(1), 37–43. [In Ukrainian]
27. El Beltagi, H. S., & Mohamed, H. I. (2013). Reactive oxygen species, lipid peroxidation and antioxidative defense mechanism. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj Napoca*, 41(1), 44–57. doi: 10.15835/nbha4118929
28. Yang, F., Melo Braga, M. N., Larsen, M. R., Jørgensen, H. J. L., & Palmisano, G. (2013). Battle through signaling between wheat and the fungal pathogen *Septoria tritici* revealed by proteomics and phosphoproteomics. *Molecular & Cellular Proteomics*, 12(9), 2497–2508. doi: 10.1074/mcp.M113.027532
29. Sofo, A., Scopa, A., Nuzzaci, M., & Vitti, A. (2015). Ascorbate peroxidase and catalase activities and their genetic regulation in plants subjected to drought and salinity stresses. *International Journal of Molecular Sciences*, 16(6), 13561–13578. doi: 10.3390/ijms160613561
30. Goodwin, P. H., Li, J., & Jin, S. (2001). A catalase gene of *Colletotrichum gloeosporioides* f. sp. *malvae* is highly expressed during the necrotrophic phase of infection of round leaved mallow *Malva pusilla*. *FEMS Microbiology Letters*, 202(1), 103–107. doi: 10.1111/j.1574-6968.2001.tb10787.x
31. Mhamdi, A., Queval, G., Chaouch, S., Vanderauwera, S., Van Breusegem, F., & Noctor, G. (2010). Catalase function in plants: a focus on Arabidopsis mutants as stress-mimic models. *Journal of Experimental Botany*, 61(15), 4197–4220. doi: 10.1093/jxb/erq282
32. Almagro, L., Gómez Ros, L. V., Belchi Navarro, S., Bru, R., Ros Barceló, A., & Pedreño, M. A. (2008). Class III peroxidases in plant defence reactions. *Journal of Experimental Botany*, 60(2), 377–390. doi: 10.1093/jxb/ern277

UDC 577.1

Molodchenkova, O. O.^{1*}, Lytvynenko, M. A.¹, Mishchenko, L. T.², Ryshchakova, O. V.¹, Bezkravna, L. Ya.¹, Fanin, Ya. S.¹, & Tikhonov, P. S.¹ (2022). Oxidizing and antioxidant processes in wheat plants infected by *Septoria tritici* Rob. *Plant Varieties Studying and Protection*, 18(2), 90–97. <https://doi.org/10.21498/25181017.18.2.2022.265176>

¹Plant Breeding and Genetics Institute – National Center of Seed and Cultivar Investigation, 3 Ovidiopska doroha, Odesa, 65036, Ukraine, *e mail: olgamolod@ukr.net

²Taras Shevchenko National University of Kyiv, Educational and Scientific Centre “Institute of Biology and Medicine”, 64/13 Volodymyrska St., Kyiv, 01601, Ukraine, e mail: lmishchenko@ukr.net

Purpose. Based on the study of oxidative and antioxidant processes in wheat plants (*Triticum aestivum* L.) in the earing phase at the infection by *Septoria tritici* Rob., identify the varietal features of changes in the level of hydrogen peroxide, the intensity of lipid peroxidation and the activity of antioxidant enzymes for development of biochemical methods for selection of disease resistant plants. **Methods.** Field, spectrophotometric methods of biochemical characteristic determination, comparison, generalization. Statistical analysis of research results was carried out using the program Libre Office Calc (GNU Lesser General Public Licensev3). **Results.** Changes in the content of hydrogen peroxide, malondialdehyde and the activity of catalase, superoxide dismutase, peroxidase in wheat plants infected by *S. tritici* at the earing phase were determined. The presence

of varietal features of changes in the oxidative and antioxidant processes of wheat plant cells upon *S. tritici* infection were detected. It was shown that plant response to *S. tritici* damage in more disease resistant wheat varieties were characterized by increased or unchanged relative to the control the content of malondialdehyde and peroxidase activity. **Conclusions.** The obtained results will expand the knowledge about the mechanisms of maintaining ROS homeostasis in wheat plants infected by *S. tritici* and allow to identify biochemical reactions of wheat plants in response to infection, which can be used in the future for the development of biochemical methods for identification of disease resistant varieties.

Keywords: wheat; *Septoria tritici* Rob.; ROS homeostasis; resistance; antioxidant enzymes.

Надійшла / Received 01.07.2022

Погоджено до друку / Accepted 21.07.2022

Ефективність використання пшенично житніх транслокацій (ПЖТ) 1AL/1RS і 1BL/1RS у селекції пшениці м'якої озимої

М. А. Литвиненко^{1*}, Є. А. Голуб¹, Т. М. Хоменко²

¹Селекційно-генетичний інститут – Національний центр насіннезнавства та сортовивчення НААН України, Овідіопольська дорога, 3, м. Одеса, 65036, Україна, *e mail: dr_litvin@ukr.net

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

Мета. Визначення генетичних ефектів ПЖТ 1AL.1RS і 1BL.1RS на врожайність, елементи продуктивності рослин та показники якості рекомбінантних ліній, установлення ефективності використання кожної з ПЖТ для створення досконалиших за цими ознаками сортів пшениці м'якої озимої в умовах ґрунтово-повітряних посух у степовій зоні України та розроблення селекційних заходів зменшення негативних ефектів транслокацій для отримання генотипів з високими показниками якості зерна цінної і сильної пшениці. **Методи.** Польові експерименти, внутрішньовидова гібридизація, оцінювання селекційного матеріалу в польових умовах, методи лабораторного визначення показників хлібопекарських якостей зерна, електрофорез запасних білків, статистичні. **Результати.** У посушливих умовах Півдня України на великому експериментальному матеріалі селекційного процесу виявлено позитивний вплив ПЖТ 1AL.1RS на врожайність рекомбінантних ліній та основні елементи продуктивності рослин, що проявляється на фоні одночасного позитивного ефекту цієї транслокації на посухо- та жаростійкість. Використання в селекції пшениці ПЖТ 1BL.1RS у цьому регіоні є менш перспективним заходом. Установлено, що введення шляхом гібридизації в місцевий генотип пшениці м'якої озимої пшенично-житніх транслокацій 1AL.1RS та 1BL.1RS змінює показники якості зерна. Зокрема, вміст білка, за звичай, має тенденцію до підвищення, при цьому він суттєвіше зростає завдяки транслокації 1BL.1RS. Показано, що частота отримання рекомбінантних ліній, які поєднують високу врожайність та мають добрі хлібопекарські властивості не нижче цінних і сильних пшениць, досить низька (1,7–6,1%). Однак, переваги за цим показником мають інтрогресивні лінії з ПЖТ 1AL.1RS. Використовуючи комбінування в процесі гібридизації ПЖТ з алелями з високим позитивним впливом на хлібопекарські властивості, а також створюючи гетерогенність у складі генотипів з ПЖТ і без них, можна спрямовано зменшувати негативний вплив ПЖТ на якість зерна пшениці м'якої озимої і створювати сорти з параметрами якості цінних і сильних пшениць. **Висновки.** Отримані результати дають підстави стверджувати, що використання ПЖТ 1AL.1RS є перспективним напрямом подальшого селекційного нарощування генетичного потенціалу врожайності сортів пшениці м'якої озимої в посушливих умовах Півдня України. У результаті повного циклу селекційного процесу на матеріалі з ПЖТ 1AL.1RS, створена серія сортів пшениці м'якої озимої – 'Житниця одеська', 'Октава одеська', 'Ліга одеська', 'Дума одеська', 'Версія одеська', які забезпечують підвищення врожайності на 10–15% порівняно зі стандартами та занесені до Державних реєстрів сортів рослин України та Молдови.

Ключові слова: пшениця м'яка озима; рекомбінантні лінії; хлібопекарська якість; урожайність; елементи продуктивності; адаптивні властивості.

Вступ

Пшениця займає вагомe місце у зерновому балансі України [1]. Основну роль в удосконаленні культури озимої м'якої пшениці віді-

грає селекція, що відображено в багатьох публікаціях [4–6]. В усіх відомих програмах селекції озимої м'якої пшениці в Україні та за кордоном передбачається розв'язання передусім таких основних задач, як підвищення генетичного потенціалу продуктивності сортів і поліпшення їх показників якості зерна [7].

У відділі селекції і насінництва пшениці Селекційно-генетичного інституту – Національного центру насіннезнавства і сортовивчення (СГІ – НЦНС), починаючи з 1972 р., ведеться багаторічний дослід «Історія сорто-

Nikolay Litvinenko

https://orcid.org/0000_0002_8605_6587

Yevheniia Holub

https://orcid.org/0000_0002_3415_4193

Tetiana Khomenko

https://orcid.org/0000_0001_9199_6664

змін». Завдяки цьому стало відомо, що в процесі селекції культури на Півдні України, одночасно зі значним ростом продуктивності (із 3–4 до 10–12 т/га) та збереженням, або навіть підвищенням стійкості до різних біо- і абіотичних чинників, досягнуто також суттєве поліпшення хлібопекарських властивостей [8]. Високий рівень генетичного потенціалу сучасних сортів ускладнює можливості подальшого селекційного вдосконалення культури й потребує пошуку нових можливостей. Такі можливості надають залучення в місцевий генофонд нової генетичної плазми та розроблення методів спрямованого збільшення генетичного різноманіття, ідентифікації та добору бажаних генотипів. Досить цікавим напрямом у селекції є створення й використання інтрогресивного матеріалу [9, 10]. Зокрема, використання в селекційних програмах пшениці м'якої озимої пшенично-житніх транслокацій (ПЖТ) 1AL/1RS і 1BL/1RS є прикладом успішного використання чужорідного ресурсу для поліпшення культури [11, 12].

Транслокації – цікавий матеріал для селекціонерів, оскільки їхня присутність у генотипі пшениці має позитивний генетичний вплив на цінні господарські й біологічні ознаки та властивості (продуктивність, стійкість до біо- та абіотичних чинників) [13–16]. Негативним моментом є той факт, що у своєму генотипі ПЖТ містять алель *Sec-1*, який контролює синтез житніх білків секалінів з негативним впливом на реологічні властивості тіста і хлібопекарські властивості борошна в пшениці [13]. Ефекти ПЖТ значною мірою модифікуються як генетичними чинниками залучених до гібридизації батьківських форм, так і конкретними характеристиками умов вирощування рослин [17, 18]. Селекційну цінність та порівняння пшенично-житніх транслокацій 1AL/1RS, 1BL/1RS у зв'язку із впливом на адаптивні властивості елементи продуктивності та якості зерна в посушливих умовах степової зони України майже не досліджували. Тому *метою досліджень* стало визначення генетичних ефектів ПЖТ 1AL.1RS і 1BL.1RS на врожайність, елементи продуктивності рослин та показники якості рекомбінантних ліній, установлення ефективності використання кожної з ПЖТ для створення досконаліших за цими ознаками сортів пшениці м'якої озимої в умовах ґрунтово-повітряних посух у степовій зоні України та розроблення селекційних заходів зменшення негативних ефектів транслокацій для отримання генотипів з високими показниками якості зерна цінної і сильної пшениці.

Матеріали та методика досліджень

Дослідження проводили у межах виконання наукової програми відділу селекції і насінництва пшениці Селекційно-генетичного інституту – Національного центру насінництва та сортовивчення (СГІ – НЦНС) зі створення сортів пшениці м'якої озимої універсального типу. Польові експерименти здійснювали на полях інституту в період 2010–2020 рр. зі щорічним розміщенням після попередника чорний пар із забезпеченням оптимального агрофону для проведення селекційної роботи.

Метеорологічні умови впродовж років проведення досліджень дещо різнилися між собою, що враховувалось під час аналізу експериментальних даних. Зокрема, приведені в статті основні експериментальні дані щодо вивчення генетичного матеріалу в контрольному розсаднику, сортовипробуваннях приходяться на період 2017–2020 рр., які загалом були типовими для степової зони – посушливими. Попри те, що за вегетаційний період 2016/2017 рр. випало лише 81,2 мм опадів (за норми – 227 мм), погодні умови ранньовесняного періоду були сприятливими для росту й розвитку рослин. Упродовж формування і наливу зерна утримувалась суха й жарка погода з високими температурами повітря та суховіями, що привело до «запалу» зерна.

Веgetаційний період 2017/2018 р. був загалом посушливим, із сумарною кількістю опадів 84,6 мм та гідротермічним коефіцієнтом (ГТК) в межах 0,1–0,3. Водночас у міжфазний період цвітіння і повне досягання випадали короткочасні дощі, які сприяли формуванню відносно повноцінного зерна.

Посуха в передпосівний період 2018 р. не давала змоги своєчасно отримати сходи, але надалі достатньо волога і тепла зима сприяли їх отриманню та розвитку рослин до фази куцання. Вологий весняний період 2019 р. змінився на період повітряно-ґрунтової посухи, яка збільшувалася до кінця вегетації озимої пшениці, що спричинило «запал» зерна.

У результаті попереднього вивчення колекційного матеріалу (2012–2014 рр.) за схемою малого конкурсного випробування (залікова ділянка суцільного посіву 10 м² у трикратній повторності) були виділені зразки, які, відповідно до літературних даних [12, 16, 18], є носіями пшенично-житніх транслокацій (ПЖТ) 1AL.1RS, 1BL.1RS. Ліпшими з них за врожайністю та комплексом інших біологічних і господарсько-цінних ознак виявились

два місцевих сорти – ‘Княгиня Ольга’ і ‘Щедність одеська’, які були створені у відділі селекції і насінництва пшениці СГІ – НЦНС упродовж 2001–2010 рр. Обидва сорти були використані в гібридизації за топкросною схемою з найліпшими місцевими сортами, але відмінними за показникам якості зерна та електрофоретичним спектрами запасних білків.

Селекційна робота з гібридним матеріалом F_1 – F_4 здійснювалась за традиційною схемою селекційного процесу: доведення індивідуальних доборів на штучному інфекційному фоні до рівня F_5 (2017 р.) контрольний розсадник КР (ділянка суцільного посіву, залікова площа – 5 м² без повторень із частим розміщенням стандартів), F_6 (2018 р.) попереднє сорто випробування – ПСВ (ділянка суцільного посіву 10 м² у трикратній повторності), F_7 (2019 р.) – конкурсне сорто випробування – КСВ (ділянка суцільного посіву 20 м² у чотирикратній повторності). Усі польові дослідження виконували у відділі селекції і насінництва пшениці СГІ – НЦНС за загальноприйнятими методиками в селекційному процесі. У контрольному розсаднику та сорто випробуваннях заліки і спостереження проведено за методикою державного сорто випробування [19]. Крім цього, у сорто випробуваннях проаналізовано динаміку формування продуктивного стеблостою на 1 м² у трикратній повторності в три строки: 1 – фаза закінчення весняного кушення (ВВСН 29); 2 – через 15 діб після завершення весняного кушення (ВВСН 31); 3 – фаза цвітіння (ВВСН 61). За критерій посухо- й жаростійкості використано величини елімінації (відмирання) стебел у процесі вегетації, а також повноцінність сфор-

мованого зерна за такими показниками, як виповненість зерна (окомірно), маса 1000 зерен та натурна маса зерна [20].

Ідентифікацію рекомбінантних ліній за наявністю в генотипі ПЖТ розпочинали з F_5 контрольного розсадника методом електрофорезу гліадину в поліакриламідному гелі [20]. Ці дослідження виконували частково (112 ліній, 9,2%) у відділі генетичних основ селекції СГІ – НЦНС (О. І. Рибалка), решта 1093 лінії (90,8%) – в Інституті захисту рослин НААН (Н. А. Козуб, І. О. Созінов) [18]. Матеріал конкурсних сорто випробувань перевірено за наявністю транслокацій і їх стану за допомогою ДНК-маркерів (ДНК-аналіз із алель-специфічними праймерами Gli-1 та Glu-3) у відділі загальної і молекулярної генетики СГІ – НЦНС [21].

Показники якості зерна у рекомбінантних ліній визначали у відділі генетичних основ селекції СГІ – НЦНС, М. Г. Парфентьев, Л. С. Лифенко) на матеріалі контрольного розсадника методом седиментації SDS-30, у конкурсних сорто випробуваннях за схемою повного технологічного аналізу [22].

Математичну обробку (дисперсійний та кореляційний аналіз, коефіцієнт ефективності селекції, генетичний диференціал та генетичне зрушення) результатів досліджень здійснювали з використанням методик за Б. О. Доспеховим [23], П. Ф. Рокицьким [24] та на персональному комп’ютері за допомогою програми Microsoft Excel 2007.

Результати досліджень

Ефекти пшенично-житніх транслокацій на господарсько-цінні ознаки досліджува-

Таблиця 1

Урожайність рекомбінантних ліній за групами наявності / відсутності ПЖТ 1AL.1RS, 1BL.1RS

Група ліній	Контрольний розсадник (КР) 2017		Попереднє сорто випробування (ПСВ) 2018		Конкурсне сорто випробування (КСВ) 2019	
	Вивчено ліній, шт.	Середня, т/га $\bar{x} \pm m$	Вивчено ліній, шт.	Середня, т/га $\bar{x} \pm m$	Вивчено ліній, шт.	Середня, т/га $\bar{x} \pm m$
Контроль 1	280	7,25 ± 0,15	28	8,02 ± 0,94	6	7,05 ± 1,79
ПЖТ 1AL.1RS «-»	111	7,44 ± 0,96	15	8,28 ± 1,07	3	7,37 ± 2,02
ПЖТ 1AL.1RS «±»	199	7,89 ± 0,24	23	8,53 ± 0,88	7	7,58 ± 1,57
ПЖТ 1AL.1RS «+»	148	7,76 ± 0,38	15	8,36 ± 1,14	9	7,63 ± 1,94
Контроль 2	195	7,05 ± 0,36	36	8,26 ± 0,77	8	7,13 ± 2,05
ПЖТ 1BL.1RS «-»	159	6,83 ± 0,54	14	7,94 ± 1,08	5	7,06 ± 2,11
ПЖТ 1BL.1RS «±»	289	7,25 ± 0,22	43	8,37 ± 0,85	9	7,30 ± 1,95
ПЖТ 1BL.1RS «+»	299	6,84 ± 0,31	11	7,89 ± 1,09	5	6,95 ± 2,24

Примітка. «-» – транслокація відсутня; «±» – гетерогенність; «+» – транслокація присутня.

лись на рекомбінантних лініях, які були розділені за походженням із комбінацій з участю донорів ПЖТ на групи: 1 – «+» транслокація наявна в гомозиготному стані; 2 – «±» транслокація наявна в гетерозиготному стані; 3 – «-» транслокація відсутня. За такою методикою проведено аналіз урожайності ліній у процесі селекції в ланках контрольного розсадника і сортовипробувань (табл. 1).

За даних таблиці 1 випливає, що рекомбінантні лінії, у генотипі яких ПЖТ 1AL.1RS була в гомозиготному стані, вирізняються підвищеним середнім рівнем урожайності з тенденцією зростання переваг у процесі селекції над лініями контролю першого варіанту – від 4,2 до 8,2%. На рівні контрольного розсадника лінії з транслокацією в гетерозиготному стані показали найвищу врожайність (7,89 т/га) з перевагою ліній контролю № 1 на 8,8%, але в процесі селекції (від ПСВ до КСВ) відбулось зниження цих переваг до 6,3–7,5%. Ураховуючи те, що за серед-

ньою врожайністю лінії з цих же комбінацій не мали суттєвих переваг над лініями контролю № 1, можна стверджувати, що ця транслокація проявляє ефект позитивного впливу на врожайність.

Рекомбінантні лінії, в яких у генотипі знаходилась ПЖТ 1BL.1RS у гомозиготному стані, на всіх етапах селекційного процесу (КП, ПСВ, КСВ) показали суттєво нижчий показник урожайності й не мали переваг над лініями контролю № 2, що, здавалось би, можна інтерпретувати як прояв негативного ефекту цієї транслокації на врожайність. Однак той факт, що лінії з цих же комбінацій без транслокації 1BL.1RS також демонструють нижчу врожайність порівняно з лініями контролю № 2 і не мають суттєвих відмінностей від сестринських ліній з цією ПЖТ, свідчить, що зниження врожайності пов'язане не лише з можливими ефектами транслокацій. Дослідження ефективності добору за врожайністю на різних етапах селекції дає змогу відповісти на це питання (табл. 2).

Таблиця 2

Ефективність добору за врожайністю на рівні контрольного розсадника (КР) та сортовипробувань (СВ) ліній F₅-F₇, згрупованих за принципом наявності (+) чи відсутності (-) ПЖТ 1AL/1RS, 1BL/1RS (2017–2018 рр.)

Група ліній	Контрольний розсадник (КР)				Попереднє сортовипробування (ПСВ)				Конкурсне сортовипробування (КСВ)			
	Вивчено ліній, шт.	Відібрано ліній, п/%	S, т/га	R, т/га	Вивчено ліній, шт.	Відібрано ліній, п/%	S, т/га	R, т/га	Вивчено ліній, шт.	Відібрано ліній, п/%	S, т/га	R, т/га
Контроль 1	280	34/15,2	4,3	2,2	28	8/28,6	3,4	2,3	6	4/66,7	1,7	0,27
ПЖТ 1AL/1RS «-»	111	17/15,3	6,9	4,1	15	4/31,1	5,8	3,5	3	3/100,0	0,8	0,05
ПЖТ 1AL/1RS «±»	199	28/14,1	8,9	4,4	23	9/39,1	7,6	4,6	7	5/71,4	2,3	1,38
ПЖТ 1AL/1RS «+»	148	18/12,2	7,7	5,4	15	10/66,7	6,1	4,3	9	8/88,9	3,4	2,38
Контроль 2	195	47/24,1	5,5	2,8	36	19/52,8	3,8	2,7	8	6/75,0	1,4	0,98
ПЖТ 1BL/1RS «-»	159	17/10,7	4,2	2,5	14	7/50,0	2,6	1,3	5	3/60,0	0,7	0,49
ПЖТ 1BL/1RS «±»	289	49/17,0	6,4	3,2	43	24/55,8	3,1	1,6	9	5/55,6	0,5	0,30
ПЖТ 1BL/1RS «+»	229	12/5,2	5,8	4,1	11	7/63,6	1,8	1,3	5	3/60,0	0,2	0,14

Примітка. S – генетичний диференціал; R – генетичне зрушення.

Отримані результати підтверджують, що для рослинного матеріалу з транслокації 1AL.1RS у гомозиготному, гетерозиготному або гетерогенному стані ефективність добору за врожайністю загалом є суттєво вищою порівняно із сестринськими лініями контрольного варіанту (без ПЖТ 1AL.1RS).

Для матеріалу, в якому було ідентифіковано ПЖТ 1BL.1RS, показники ефективності добору виявились досить низькими порівняно з контролем. Найсуттєвіше селекційні показники ефективності добору знижуються у варіанті ліній з гетерозиготним станом ПЖТ, а

також у всіх варіантах інтрогресивних ліній з кожним етапом селекції та залежно від рівня посушливості року. Це очевидно пов'язано, з одного боку, з гомозиготацією матеріалу, а з іншого – з проявом певного негативного впливу транслокації 1BL.1RS на стійкість генотипів до посухи, особливо на етапі формування зерна. Це особливість підтвердилась надалі на результатах виділення та передання сортів на державне сортовипробування.

Отримані результати співпадають з літературними даними щодо впливу пшенично-житніх транслокацій на адаптивні властивос-

ті пшениці м'якої озимої [17]. Однак, інформації, за рахунок яких саме елементів структури врожаю відбувається вплив ПЖТ на врожайність через властивості стійкості до біо- та абіотичних чинників, у літературі немає, тому це питання потребує конкретизації. Адже дослідження такого роду в посушливих умовах Півдня України взагалі відсутні. Для цього на

рекомбінантних лініях F_7 конкурсного сорто-випробування, які є завершальним етапом добору за врожайністю в кожному варіанті досліджень за принципом наявності / відсутності ПЖТ і їх стану, було проаналізовано елементи продуктивності на вибірці рослин з 1 м^2 у трикратній повторності. Результати цього аналізу наведено в таблиці 3.

Таблиця 3

Елементи продуктивності рослин у рекомбінантних ліній F_7 , виділених за врожайністю із гібридів різних варіантів за наявністю в генотипі ПЖТ та їх стану (дані сортовипробування 2019 р.)

Група ліній	Вивчено ліній, шт.	Кількість продуктивних стебел на 1 м^2 , шт.	Продуктивна куцність, х, стебел/роsl.	Головний колос		Маса зерна з рослини, г	% до маси зерен з рослини бокові колосся	Маса 1000 зерен, г	Натура зерна, г/л
				Кількість зерен, шт.	Маса зерна з колосу, г				
Контроль 1	4	613	2,3	54	1,25	2,41	48,1	38,4	771
ПЖТ 1AL.1RS «-»	3	705	2,8	56	1,24	2,45	49,4	38,9	776
ПЖТ 1AL.1RS «±»	5	849	3,8	61	1,45	2,95	50,8	43,6	784
ПЖТ 1AL.1RS «+»	8	795	3,4	66	1,53	3,18	51,9	43,1	788
Контроль 2	6	629	2,8	59	1,36	2,73	51,1	40,8	772
ПЖТ 1BL.1RS «-»	3	729	2,1	58	1,37	2,59	47,1	38,7	765
ПЖТ 1BL.1RS «±»	5	834	3,5	68	1,23	2,25	45,3	36,8	747
ПЖТ 1BL.1RS «+»	3	809	2,7	63	1,04	1,88	44,7	35,8	732
HCP _{0,05}		18	0,6	4	0,11	0,21	0,7	0,6	14

У процесі селекції на рівні контрольного розсадника лінії було ідентифіковано на наявність ПЖТ за біохімічними маркерами (локусами запасних білків). А вже на рівні сортовипробувань ця інформація була перевірена з допомогою молекулярних маркерів, що дало змогу згрупувати лінії за станом транслокації в генотипі (гомо- чи гетерозиготний стан). Зокрема, варіанти ліній з гетерозиготним станом транслокацій в F_7 набули гетерогенного стану різноякісних генотипів з різним співвідношенням за наявністю / відсутністю ПЖТ в кожній із них.

Проте кожна з гетерогенних ліній візуально була однорідною за морфометричними параметрами, що прийняті як базові в системі ідентифікації сорту в державному сортовипробуванні (ВОС-тест).

З даних, наведених у таблиці 3, випливає, що середній рівень продуктивної куцності в лінії з ПЖТ 1AL.1RS, як у гомогенному, так і гетерогенному стані, має суттєві переваги. Крім того, ці лінії формують щільніший стеблостій порівняно з лініями контрольного варіанту та з однойменних комбінацій без ПЖТ. На лініях з ПЖТ 1AL.1RS проявляється також невелике перевищення

за кількістю зерен та його масою з головного колоса, а також за відсотком маси зерна з бокових стебел до маси зерна з рослини. Це свідчить про більшу однорідність колосся за продуктивністю на одній рослині. Найбільш переконливі дані позитивного впливу ПЖТ 1AL.1RS спостерігаються за показниками маси 1000 зерен та натурної маси зерна. Загалом аналіз результатів вивчення ефектів ПЖТ 1AL.1RS на елементи продуктивності так чи інакше свідчить про переваги генотипів із цією транслокацією за кожною з ознак, що пов'язано як із прямим позитивним впливом ПЖТ 1AL.1RS на ознаки продуктивності, так і опосередковано. Вона дає вищий рівень реалізації генетичного потенціалу цих ознак у посушливих умовах.

У ліній з ПЖТ 1BL.1RS у гомогенному чи гетерогенному стані також проявляється підвищення загальної і продуктивної куцності рослин порівняно з лініями контрольного варіанту та з тих же комбінацій, але без транслокації. Крім того, на інтрогресивних лініях спостерігається збільшення кількості зерен у головному колосі за зниження його маси. Але навіть при цьому, відношення маси зерна з бокового колоса до маси всієї

рослини, на відміну від генотипів з ПЖТ 1AL.1RS, суттєво нижче. Це свідчить про більш виражену різноякісність за продуктивністю колосся різного порядку в ліній з ПЖТ 1BL.1RS. Процес елімінації стебел у ліній з ПЖТ 1BL.1RS у будь-якому стані відбувався інтенсивніше на ранніх етапах весняної вегетації, і до фази цвітіння досягав рівня 21,6–28,6%. Значні відмінності ліній з ПЖТ 1BL.1RS спостерігаються за масою 1000 зерен та його натурною масою. У цьому разі немає достатньо підстав говорити про прямий негативний вплив ПЖТ на ці ознаки, адже у сестринських ліній без транслокації спостерігається подібний характер мінливості. Водночас істотніше зниження маси 1000 зерен та їх натурної маси через неповноцінний налив і щуплість зерна у ліній з ПЖТ 1BL.1RS свідчить про негативний вплив цієї транслокації на посухо- й жаростійкість рослин у період формування зерна, що приводить до його запалу.

Отже, ефект транслокації 1BL.1RS явно проявляється в підвищенні куцтості рослин, озерненості колосся, але в процесі вегетації всі елементи продуктивності більшою мірою лімітуються стресовим чинниками посухи.

Це пояснює той факт, що сорти пшениці м'якої озимої, які є носіями ПЖТ 1BL.1RS різного походження, найбільш поширені в регіонах з достатнім і надмірним зволоженням, де позитивні ефекти цієї транслокації на продуктивність рослин реалізуються в більш значній мірі [12]. У регіонах, де особливо чітко виражена ґрунтово-повітряна посуха в період формування зерна, через негативний вплив цієї транслокації на посухо- й жаростійкість рослин, позитивні ефекти підвищення продуктивності нівелюються. Тому очевидно, що використання селекційного матеріалу з ПЖТ 1BL.1RS у посушливому регіоні Півдня України не може забезпечити виконання завдання подальшого підвищення генетичного рівня врожайності нових сортів.

Це підтверджується й результатами багаторонного вивчення ліній з ПЖТ 1BL.1RS у станційних екологічних випробуваннях та на контрастних агротехнічних фонах, з метою виділення кандидатів у сорти. На жаль, у різні за погодно-кліматичними умовами роки (2018–2021) не вдалось виділити лінії, які б стабільно показували переваги за врожайністю над стандартами. Зокрема, в роки з достатнім вологозабезпеченням (2018–2021) вони забезпечують приріст урожайності до 14–22%, водночас у посушливі (2019, 2020) відбувається значне її зниження – до 7–18% порівняно зі стандартами. З великої кількості вивчених

ліній, у станційному сортовипробуванні залишилось для вивчення лише дві – Ер. 2372/17 ('Щедрість' × 'Мудрість') та Ер. 276/17 ('Щедрість' × 'Мудрість'), які меншою мірою реагували на посушливі умови. Цей факт вселяє надію, що негативний ефект транслокації 1BL.1RS на посухостійкість може знижуватись у певних генетичних середовищах або в гетерогенному стані.

Селекційна робота з лініями, які є носіями транслокації 1AL.1RS, виявилася більш перспективною. Позитивний вплив цієї транслокації на врожайність, елементи продуктивності рослин та на рівень адаптації до посушливих умов були підтвержені експериментально. На основі матеріалу з ПЖТ 1AL.1RS виділено й передано на державне сортовипробування серію нових сортів: 'Житниця одеська' ('Заграва одеська' × 'Княгиня Ольга'), 'Ліга одеська' ('Сирена' × 'Княгиня Ольга'), 'Дума одеська' ('Антонівка' × 'Княгиня Ольга'), 'Версія одеська' ('Місія' × 'Княгиня Ольга'), що є новим етапом у підвищенні генетичного рівня врожайності сортів степового еко типу. За даними станційного і державного сортовипробування, вони забезпечили зростання врожайності на 10–15% до стандартів. Ці сорти в період 2016–2019 рр. занесено до Державних реєстрів сортів рослин України та Молдови.

Не менш актуальним є питання вивчення впливу ПЖТ на показники якості зерна, адже літературні відомості свідчать про негативні ефекти транслокації саме на хлібопекарські властивості пшениці м'якої через контроль специфічних житніх білків – секалінів (локус Sec). Тому можливість отримання генотипів з достатньо високим рівнем якості зерна залишається дискусійним питанням [25, 26]. Особливо актуальною ця проблема є в селекційних програмах на Півдні України, де традиційно створюються сорти пшениці м'якої озимої тільки з високими показниками якості зерна, а ґрунтово-кліматичні умови регіону є сприятливими для цього [27].

Генетичні ефекти ПЖТ на показники якості зерна неможливо розглядати без ув'язки із зерновою продуктивністю селекційного матеріалу. Тому в нашій роботі одним із завдань ставилось виявити ефекти транслокації на зв'язки врожайності з показниками якості зерна.

Для виконання поставленого завдання було досліджено характер мінливості показника седиментації SDS-30 у рекомбінантних ліній F₅ (контрольний розсадник) залежно від наявності / відсутності та стану ПЖТ 1AL.1RS і 1BL.1RS (табл. 4).

Характеристика мінливості показника седиментації SDS 30 у рекомбінантних ліній F₂, згрупованих за принципом наявності / відсутності та стану ПЖТ (контрольний розсадник, 2017 р.)

Група ліній	Вивчено ліній, шт.	$\bar{x} \pm m$, мм	lim \pm , мм	Коефіцієнт варіації V, %	Дисперсія σ^2	Коефіцієнт кореляції (r) урожайність / седиментація
Контроль 1	280	68 \pm 2,23	54–68	22,7	216	-0,32
ПЖТ 1AL.1RS	111	63 \pm 4,11	48–62	26,4	322	-0,38*
«-»						
ПЖТ 1AL.1RS	199	57 \pm 5,39	42–51	31,8	364	-0,45*
«±»						
ПЖТ 1AL.1RS	148	46 \pm 5,85	40–51	36,5	388	-0,51*
«+»						
Контроль 2	195	66 \pm 2,64	53–70	25,7	238	-0,34*
ПЖТ 1BL.1RS	159	54 \pm 4,16	44–66	25,9	355	-0,47*
«-»						
ПЖТ 1BL.1RS	289	48 \pm 4,28	40–58	38,9	402	-0,51*
«±»						
ПЖТ 1BL.1RS	299	43 \pm 5,13	40–48	44,5	456	-0,58*
«+»						

*достовірно в разі $r > -0,32$

З даних таблиці 4 випливає, що наявність у генотипах ліній ПЖТ 1AL.1RS та 1BL.1RS призводить до значного зниження середнього рівня показника седиментації SDS-30 у відповідних групах, водночас рівень мінливості цього показника в цих групах значно підвищується. Причому вплив транслокації 1BL.1RS на показник SDS-30 помітно вищий за ПЖТ 1AL.1RS, про що свідчать величини зниження середнього рівня седиментації та збільшення коефіцієнта варіації і дисперсії.

Величина вибірки рекомбінантних ліній у контрольному розсаднику дала змогу встановити достовірний негативний кореляційний зв'язок між урожайністю ліній та показником седиментації SDS-30 (табл. 4). При цьому значення коефіцієнта кореляції значно зростає в групах ліній, які у своїх генотипах містять ПЖТ в гомо- чи гетерозиготному стані. При цьому ефект посилення негативного зв'язку врожайності з показником седиментації у ліній з ПЖТ 1BL.1RS суттєво перевищує аналогічний ефект у ліній з ПЖТ 1AL.1RS.

При загальному негативному впливі ПЖТ на рівень седиментації, важливо встановити можливість бажаного комбінування у ліній високої врожайності та достатньо високого показника седиментації SDS-30. Як свідчать дані групування ліній за врожайністю та седиментацією (табл. 5), найбільша частота бажаного комбінування спостерігається в контрольному варіанті, де висока седиментація поєднується з середньою врожайністю – 31,3–54,3%. Неочікувано низьким виявився відсоток позитивного комбінування у ліній без ПЖТ, але в родоводі яких є генетичні джерела транслокації, що

може свідчити про присутність у їхніх генотипах інших чинників негативного впливу на седиментацію.

Доказом можливості такого позитивного комбінування є наявність інтрогресивних ліній з ПЖТ 1AL.1RS у гомозиготному стані, які, хоча і в не великій кількості (2,0–8,1%), поєднують високу і середню врожайність з достатньо високим рівнем седиментації. Суттєво більша частота (3,0–14,1%) бажаних поєднань спостерігається у ліній із зазначеною ПЖТ в гетерозиготному (гетерогенному) стані. У групах ліній з ПЖТ 1BL.1RS у гомозиготному стані, рекомбінацій з високими значеннями седиментації зовсім не виявлено, хоча гетерозиготний (гетерогенний) стан за цією транслокацією забезпечує невелику частоту (3,8–7,3%) таких ліній.

Указані закономірності, які виявлені під час аналізу середніх частот комбінування врожайності та седиментації в деяких групах ліній за принципом наявності / відсутності ПЖТ, більш рельєфно прослідковуються на лініях, згрупованих за їх походженням. Зокрема, із 24 інтрогресивних гомогенних за ПЖТ 1AL.1RS ліній з комбінації 'Куяльник' × 'Княгиня Ольга' п'ять ліній (20,8%) мали позитивне поєднання ознак, а з 32 ліній з комбінації 'Заграва одеська' × 'Княгиня Ольга' – тільки дві (6,2%).

Вплив генетичного середовища на характер комбінування врожайності та седиментації у ліній з транслокацією 1BL.1RS проявляється за середнього рівня седиментації та високої урожайності. У ліній від прямих і зворотних схрещувань 'Мудрість одеська' × 'Щедрість одеська' із 133 інтрогресивних ліній позитивне поєднання виявлено у 16

Таблиця 5

Групування ліній F₅ пшениці м'якої озимої за принципом наявності / відсутності ПЖТ 1 AL/1RS, 1BL/1RS (дані контрольного розсадника 2017 р.)

Група ліній	Кількість гібридних комбінацій, шт.	Кількість ліній, шт.	Частота ліній з комбінуванням показників											
			Високоврожайні, 7,0–8,0 т/га			Середньоврожайні, 6,0–6,9 т/га			Низьковрожайні, 5,0–5,9 т/га					
			п/%	SDS 30, мл		п/%	SDS 30, мл		п/%	SDS 30, мл				
				60–70	50–59		40–49	60–70		50–59	40–49	60–70	50–59	40–49
Контроль 1	4	230	45/19,6	22/9,5	18/7,8	5/2,3	149/64,8	72/31,3	68/29,6	9/3,9	36/15,6	28/122	28/3,4	–
ПЖТ 1AL/1RS «-»	6	111	27/24,3	3/2,7	14/12,6	10/9,0	53/47,7	6/5,4	37/33,3	10/9,0	31/27,9	9/8,2	18/16,2	4/3,6
ПЖТ 1AL/1RS «±»	6	199	67/33,7	6/3,0	24/12,1	37/18,6	112/56,3	28/14,1	55/27,6	29/14,6	20/10,0	8/4,0	8/4,0	4/2,0
ПЖТ 1AL/1RS «+»	6	148	44/29,7	3/2,0	17/11,5	24/16,2	65/43,9	12/8,1	27/18,5	26/17,6	39/26,4	9/6,0	16/10,8	14/9,3
Контроль 2	3	195	50/25,7	38/19,5	12/6,2	–	134/68,6	107/54,3	27/13,8	–	11/5,7	8/4,2	3/1,5	–
ПЖТ 1BL/1RS «-»	7	159	28/17,5	5/3,1	8/11,3	5/3,1	51/31,9	15/9,4	20/22,6	16/10,1	80/50,6	19/11,9	47/29,5	14/8,8
ПЖТ 1BL/1RS «±»	7	289	80/27,6	11/3,8	46/15,9	23/8,0	135/16,9	21/7,3	57/17,7	57/19,7	74/25,5	7/3,4	36/12,4	31/10,7
ПЖТ 1BL/1RS «+»	7	229	49/21,5	–	14/6,1	35/15,2	64/27,9	–	16/7,0	48/21,0	116/50,6	–	62/27,1	54/23,6

ліній (12%), а у 143 ліній з комбінації 'Гарантія одеська' × 'Щедрість одеська' – тільки дві (1,4%).

Звичайно, показник седиментації SDS-30 не є прямим критерієм оцінки якості зерна, але в польових дослідах суцільної сівби на рівні контрольного розсадника і сорто випробування в наших дослідженнях цей показник має достатньо тісний кореляційний зв'язок із хлібопекарськими властивостями [28]. Тому добір ліній у контрольному розсаднику здійснювався як за врожайністю, так і за показником седиментації.

У таблиці 6 наведено характеристику деяких ліній, які мають оптимальне поєднання високої врожайності та відносно підвищених величин показника седиментації SDS-30 у

результаті дворічного (2018–2019 рр.) сорто-випробування.

У родоводі цих ліній, крім джерела ПЖТ, другим батьківським компонентом використано сорт екстрасильної пшениці 'Куяльник' з декількома алелями з позитивним впливом на хлібопекарські властивості борошна (Gld 1A4, 1A10, 1B1, 1D4, Glt 1B5) [30]. Крім того, рекомбінантні лінії згруповані за принципом наявності / відсутності «генетичних чинників», які, за припущенням, могли б зменшувати негативний вплив ПЖТ на хлібопекарські властивості ліній: гомо- чи гетерогенний стан ПЖТ; наявність чи відсутність (або недостатня кількість) у генотипах цих ліній алелів із позитивним впливом на хлібопекарські властивості борошна.

Таблиця 6

Фактори зменшення негативного впливу пшенично житніх транслокацій на хлібопекарські властивості борошна у рекомбінантних ліній пшениці (у середньому за 2018–2019 рр.)

Сорт, лінія, гібридна комбінація	Урожайність, т/га	Уміст білка, %	Сила борошна, о. а.	Об'єм хліба зі 100 г борошна, см ³	Оцінка хліба, бал
'Антонівка' St	7,04	11,6	225	1100	3,8
I. Гомогенний стан ліній за ПЖТ1AL.1RS					
Ер. 2124/17 ('Куяльник' × 'Княгиня Ольга')	7,98	12,4	240	1400	4,0
Ер. 2136/17 ('Куяльник' × 'Княгиня Ольга')	8,14	11,7	202	1010	3,4
Ер. 2138/17 ('Куяльник' × 'Княгиня Ольга')	8,36	11,9	194	980	3,1
У середньому	8,16	12,0	212	1130	3,5
II. Гетерогенний стан ліній за ПЖТ1AL.1RS					
Ер. 2146/17 ('Куяльник' × 'Княгиня Ольга')	8,15	12,8	271	1450	4,2
Ер. 2157/17 ('Куяльник' × 'Княгиня Ольга')	8,49	11,3	210	1140	3,8
Ер. 2167/17 ('Куяльник' × 'Княгиня Ольга')	8,54	11,5	203	1100	3,3
У середньому	8,39	11,9	228	1230	3,8
III. Наявність алелів із позитивним впливом на якість зерна (Gld 1A4, 1A10, 1B1, 1D4, Glt 1B5). Лінії з ПЖТ 1BL.1RS у гомогенному стані					
Ер. 2372/17 ('Куяльник' × 'Щедрість')	7,26	13,3	215	1020	3,2
Ер. 2378/17 ('Куяльник' × 'Щедрість')	7,34	12,4	198	990	2,8
Ер. 2386/17 ('Куяльник' × 'Щедрість')	7,36	12,8	204	970	2,5
У середньому	7,32	12,8	206	993	2,8
IV. Відсутність (недостатня кількість) алелів із позитивним впливом на якість зерна. Лінії з ПЖТ 1BL.1RS у гетерогенному стані					
Ер. 2396/17 ('Куяльник' × 'Щедрість')	7,18	13,1	155	890	2,0
Ер. 2418/17 ('Куяльник' × 'Щедрість')	7,35	12,6	148	880	2,0
У середньому	7,26	12,8	152	885	2,0

Як свідчать дані таблиці 6, усі виділені інтрогресивні лінії незалежно від стану ПЖТ суттєво перевищили сорт-стандарт 'Антонівка' за врожайністю. Проте, якщо лінії з ПЖТ 1AL.1RS за середньої врожайності 8,16 т/га переважали стандарт на 1,12 т/га (13,7%), то лінії з ПЖТ 1BL.1RS за середньої врожайності 7,32 т/га – лише на 0,28 т/га (4%). Таке різке зниження врожайності ліній з ПЖТ 1BL.1RS було пояснено вище негативним впливом транслокації на посухо- й жаростійкість ліній. Імовірно, цим можна пояснити також дещо підвищений уміст білка в інтрогресивних ліній з ПЖТ 1BL.1RS, адже щуплість (невиповненість) запаленого зерна зі

змінюю структури ендосперму завжди зумовлює певне підвищення його білковості [29].

На жаль, недостатньо високий агротехнічний фон польових експериментів не дав змогу повною мірою оцінити генетичний потенціал якості зерна інтрогресивних ліній. Проте з упевненістю можна сказати, що в середньому лінії з ПЖТ 1AL.1RS проявили незначну перевагу над лініями з ПЖТ 1BL.1RS за основними показниками хлібопекарських властивостей. За результатами досліджень було виділено дві лінії з ПЖТ 1AL.1RS – Еритроспермум 2124/17 у гомогенному стані та лінія Еритроспермум 2146/17 з гетерогенним станом цієї трансло-

кації, у яких усі показники якості зерна суттєво вищі за стандарт.

У цьому порівнянні, головне, попри обмежену кількість ліній, виявляються ефекти зниження негативного впливу ПЖТ на хлібопекарські властивості борошна: незначною мірою це залежить від гетерогенного стану ліній за транслокацією 1AL.1RS (ймовірно залежно від співвідношення генотипів з ПЖТ і без неї); істотніше це залежить від наявності в лініях з ПЖТ 1BL.1RS алелів з позитивним впливом на якість зерна (ймовірно залежно від кількості алелів і їх взаємодії). Докладне вивчення спрямованого впливу вказаних чинників є предметом подальших досліджень.

У результаті проведених досліджень була виділена лінія еритроспермум 2146/17 ('Кукляник' × 'Княгиня Ольга'), яка була передана на державне сортовипробування, і після успішної експертизи занесена до Державного реєстру сортів рослин під назвою 'Октава одеська' для поширення в усіх агрокліматичних зонах України [30]. Упродовж років державного сортовипробування (2017–2019) сорт 'Октава одеська' характеризувався такими показниками: урожайність: Степ – 5,75 т/га, Лісостеп – 6,73 т/га, Полісся – 6,19 т/га, у середньому за всіма зонами – 6,19 т/га, що вище умовного стандарту на 0,76 т/га (14,0%); маса 1000 зерен – за зонами відповідно – 42,5; 43,2 та 45,5 г; уміст клейковини – 28,4; 28,6 і 28,4%; сила борошна – 286; 300 і 294 о. а.; об'єм хліба зі 100 г борошна – 1160, 1100 і 1120 см³. За цими показниками якості зерна сорт 'Октава одеська' віднесено до групи сильних пшениць.

Висновки

Генетичні ефекти пшенично-житніх транслокацій 1AL.1RS та 1BL.1RS значною мірою модифікуються особливостями їх взаємодії в генетичних середовищах та залежно від агрокліматичних умов вирощування інтрогресивних генотипів.

Введення в місцевий генофонд пшениці м'якої озимої транслокації 1AL.1RS є високоефективним заходом, який може відіграти роль чергового етапу суттєвого селекційного вдосконалення сортів за врожайністю для посушливих умов Півдня України. У результаті повного циклу селекційного процесу на матеріалі з ПЖТ 1AL.1RS створено серію сортів пшениці м'якої озимої – 'Житниця одеська', 'Ліга одеська', 'Дума одеська', 'Версія одеська', які забезпечили підвищення врожайності проти стандартів на 10–15%. Ці сорти занесено до Державних реєстрів України та Молдови.

Негативні ефекти на посухо- й жаростійкість генотипів транслокації 1BL.1RS в екстремально посушливих умовах знижують можливості її селекційного використання, але це не виключає можливості отримання позитивного результату завдяки модифікувальному впливу генетичного середовища вдало дібраної гібридної комбінації.

Комбінування в генотипі ПЖТ з алелями, що позитивно впливають на хлібопекарські властивості, а також створюючи гетерогенність у складі генотипів з ПЖТ і без них у певному співвідношенні, можна спрямовано зменшувати негативний вплив ПЖТ на якість зерна пшениці м'якої озимої, і створювати сорти з параметрами якості цінних і сильних пшениць. Причому частота отримання рекомбінантних ліній, які поєднують високу врожайність та підвищений рівень хлібопекарських властивостей, підвищується за використання інтрогресивних ліній з ПЖТ 1AL.1RS. Прикладом є створений у відділі селекції та насінництва пшениці СРІ – НЦНС високожаростійкий сорт сильної пшениці 'Октава одеська', який занесений до Державного реєстру для поширення в усіх агрокліматичних зонах України.

Використана література

1. Колючий В. Т., Власенко В. А., Борсук Г. Ю. Селекція, насінництво і технології вирощування зернових колосових культур у Лісостепу України. *Пшениця м'яка озима. Народногоосподарське значення та стан культури в Україні* / за ред. В. С. Кочмарського, В. Т. Колючого. Київ: Аграрна наука, 2007. С. 5–6.
2. Уліч Л. І. Вдосконалення дослідження сортів озимої пшениці. *Plant Varieties Studying and Protection*. 2006. № 3. С. 83–90. doi: 10.21498/2518 1017.3.2006.67682
3. Рибалка О. І. Якість пшениці та її поліпшення. Київ: Логос, 2011. 496 с.
4. Колючий В. Т. Селекція пшениці озимої на якість зерна в Лісостепу України. *Селекція і насінництво*. 2011. Вип. 100. С. 160–131. doi: 10.30835/2413 7510.2011.66545
5. Базалій В. В., Бойчук І. В., Ларченко О. В. Еколого генетичні основи адаптивної селекції зернових культур (огляд літературних джерел). *Таврійський науковий вісник*. 2012. Вип. 79. С. 3–13.
6. Васильківський С. П., Кочмарський В. С. Селекція і насінництво польових культур. Біла Церква: Миронівська друкарня, 2016. 376 с.
7. Уліч Л. І., Лисікова В. М. Сорти пшениці озимої для інтенсивних технологій. *Plant Varieties Studying and Protection*. 2006. № 3. С. 103–108. doi: 10.21498/2518 1017.3.2006.67724
8. Литвиненко М. А. 100 років розвитку селекційних програм пшениці м'якої озимої. *Plant Varieties Studying and Protection*. 2016. № 2. С. 75–82. doi: 10.21498/2518 1017.2(31).2016.70324
9. Моцний І. І., Молодченкова О. О., Литвиненко М. А., Голуб Є. А. Застосування інтрогресивних ліній пшениці м'якої озимої для підвищення вмісту білка в зерні. *Селекція і насінництво*. 2019. Вип. 115. С. 75–92. doi: 10.30835/2413 7510.2019.172784
10. Моцний І. І., Нарган Т. П., Наконечний М. Ю., Лифенко С. П. Результати використання інтрогресивних генотипів при створенні донорів стійкості до борошнистої роси, видів іржі та інших ознак у пшениці м'якої. *Селекція і насінництво*. 2020. Вип. 117. С. 119–138. doi: 10.30835/2413 7510.2020.207004
11. Козуб Н. О., Созінов І. О., Карелов А. В. та ін. Поширеність пшенично житніх транслокацій 1BL.1RS і 1AL.1RS у сортів

- пшениці м'якої озимої української селекції. *Захист і карантин рослин*. 2015. Вип. 61. С. 148–153.
12. Моргун Б. В. Стан та перспективи використання пшенично житніх транслокацій у селекції озимої м'якої пшениці. *Фізіологія рослин і генетика*. 2016. Т. 48, № 4. С. 324–343. doi: 10.15407/frg2016.04.324
 13. Лісова Г. М., Собко Т. О. Особливості прояву стійкості до сіїв транслокацій 1AL/1RS до дії збудника бурої іржі пшениці в умовах Правобережного Лісостепу України. *Фактори експериментальної еволюції організмів*. 2017. Вип. 21. С. 160–163. doi: 10.7124/FEE0.v21.827
 14. Власенко В. А., Колючий В. Т., Козуб Н. О., Собко Т. О. Селекційна цінність пшенично житньої транслокації 1AL/1RS при створенні сортів озимої м'якої пшениці. *Науково технічний бюлетень Миронівського інституту пшениці УААН*. 2006. Вип. 5. С. 84–94.
 15. Созінов І. О., Козуб Н. О., Бідник Г. Я. та ін. Озерненість та інші ознаки продуктивності рослин F_1 пшениці м'якої від схрещення форм з транслокаціями 1BL/1RS і 1AL/1RS. *Фактори експериментальної еволюції організмів*. 2016. Т. 18. С. 154–158.
 16. Козуб Н. О., Созінов І. О., Бідник Г. Я. та ін. Створення ліній пшениці м'якої озимої з рекомбінантним плечем 1RS як джерела нових поєднань генів стійкості проти збудників хвороб і шкідників. *Захист і карантин рослин*. 2016. Вип. 62. С. 143–150. doi: 10.36495/1606_9773.2016.62.143_150
 17. Топал М. М. Адаптивні властивості та продуктивність сортів і ліній з пшенично житніми транслокаціями в умовах Півдня України. *Збірник наукових праць СГІ – НЦНС*. 2014. Вип. 23. С. 88–99.
 18. Козуб Н. О., Созінов І. О., Колючий В. Т. та ін. Ідентифікація 1AL/1RS транслокації у сортів м'якої пшениці української селекції. *Цитологія і генетика*. 2005. Т. 39, № 4. С. 20–24.
 19. Методика державного сортопробування сільськогосподарських культур. Вип. 2. Зернові, круп'яні та зернобобові культури / за ред. В. В. Волкодава. Київ : АЛЕФА, 2001. 65 с.
 20. Рибалка О. І., Червоніс М. В., Топораш І. Г. та ін. Наукове обґрунтування розробки нових методів оцінки хлібопекарської якості борошна пшениці. *Хранение и переработка зерна*. 2006. № 1. С. 43–48.
 21. Сударчук Л. В., Чеботар С. В., Рибалка О. І. Детекція моди фікованої транслокації 1rS.1BL за допомогою молекулярних маркерів у селекційному матеріалі м'якої пшениці. *Вісник Одеського національного університету. Біологія*. 2010. Т. 15, № 6. С. 39–48.
 22. Пшениця. Технічні умови : ДСТУ 3768:2010. Київ : Держспоживстандарт України, 2010. 17 с.
 23. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований) 5 е изд., доп. и перераб. Москва : Агропромиздат, 1985. 351 с.
 24. Рокицкий П. Ф. Биологическая статистика. Изд. 3 е, испр. Минск : Высшейшая школа, 1973. 320 с.
 25. Рибалка О. І. Литвиненко М. А. Використання в селекції пшениці транслокації 1RS/1BL. *Вісник аграрної науки*. 2007. № 12. С. 36–40.
 26. Литвиненко М. А., Топал М. М. Генетичні фактори позитивного впливу на якість зерна у ліній пшениці м'якої озимої з житньою транслокацією 1AL/1RS. *Вісник аграрної науки*. 2014. № 5. С. 36–42.
 27. Васильківський С. П., Гудзенко В. М., Кочмарський В. С., Кириленко В. В. Реалізація потенціалу сортів зернових культур – шлях вирішення продовольчої проблеми. *Фактори експериментальної еволюції організмів*. 2017. Т. 21. С. 47–51. doi: 10.7124/FEE0.v21.805
 28. Литвиненко М. А., Голуб Є. А. Ефективність методу седи ментації SDS30 в селекції пшениці м'якої озимої (*Triticum aestivum* L.) за хлібопекарськими властивостями. *Збірник наукових праць СГІ–НЦНС*. 2017. Вип. 29. С. 6–18.
 29. Литвиненко М. А., Голуб Є. А. Критерії ідентифікації екстра сильних генотипів. *Збірник наукових праць СГІ – НЦНС*. 2011. Вип. 17. С. 82–95.
 30. Каталог сортів та гібридів Селекційно генетичного інституту – Національного центру насінництва та сортовицтва. Одеса, 2021. 184 с.

References

1. Koliuchyi, V. T., Vlasenko, V. A., & Borsuk, H. Yu. (2007). Bree ding, seed production and growing technologies of graine arcrops in the forest steppe of Ukraine. In V. S. Kochmarskyi, & V. T. Koliuchyi (Eds.), *Pshenytsia miaka ozyma. Narodnohos podarske znachennia ta stan kultury v Ukraini* [Softwinterwheat. National economic importance and state of culture in Ukraine] (pp. 5–6). Kyiv: Ahrarnanauka. [In Ukrainian]
2. Ulich, L. I. (2006). Improvement of the research of winter wheat varieties. *Plant Varieties Studying and Protection*, 3, 83–90. doi: 10.21498/2518_1017.3.2006.67682 [In Ukrainian]
3. Rybalka, O. I. (2011). *Yakist pshenytsi ta ii polipshennia* [Wheat quality and its improvement]. Kyiv: Lohos. [In Ukrainian]
4. Koliuchyi, V. T. (2011). Selection of winter wheat for grain quality in the Forest Steppe of Ukraine. *Plant Breeding and Seed Production*, 100, 160–131. doi: 10.30835/2413_7510.2011.66545 [In Ukrainian]
5. Bazalii, V. V., Boichuk, I. V., & Larchenko, O. V. (2012). Ecological and genetic basis of adaptive selection of grain crops (review of literary sources). *Tavria Scientific Bulletin*, 79, 3–13. [In Ukrainian]
6. Vasylykivskiy, S. P., & Kochmarskyi, V. S. (2016). *Selektsiia i na sinnystvto polovykh kultur* [Selection and seed production of field crops]. Bila Tserkva: Myronivska drukarnia. [In Ukrainian]
7. Ulich, L. I., & Lysikova, V. M. (2006). Varieties of winter wheat for intensive technologies. *Plant Varieties Studying and Protection*, 3, 103–108. doi: 10.21498/2518_1017.3.2006.677248. [In Ukrainian]
8. Lytvynenko, M. A. (2016). 100 years of development of soft winter wheat breeding programs. *Plant Varieties Studying and Protection*, 2, 75–82. doi: 10.21498/2518_1017.2(31).2016.70324 [In Ukrainian]
9. Motsnyi, I. I., Molodchenkova, O. O., Lytvynenko, M. A., & Holub, Ye. A. (2019). Use of introgression winter bread wheat lines to increase the protein content in grain. *Plant Breeding and Seed Production*, 115, 75–92. doi: 10.30835/2413_7510.2019.172784 [In Ukrainian]
10. Motsnyi, I. I., Nargan, T. P., Nakonechnyi, M. Y., & Lyfenko, S. P. (2020). Results of the use of introgressive genotypes in the creation of donors of resistance to powdery mildew, types of rust and other traits in common wheat. *Plant Breeding and Seed Production*, 117, 119–138. doi: 10.30835/2413_7510.2020.207004 [In Ukrainian]
11. Kozub, N. O., Sozinov, I. O., Karelav, A. V., Bidnyk, H. Ya., Demianova, N. O., Blium, Ya. B., & Sozinov, O. O. (2015). Occurrence of wheat rye 1BL/1RS and 1AL/1RS translocations in winter common wheat varieties of Ukrainian breeding. *Plant Protection and Quarantine*, 61, 148–153. [In Ukrainian]
12. Morhun, B. V. (2016). State and perspectives of wheat rye translocations use in winter wheat breeding. *Plant Physiology and Genetics*, 48(4), 324–343. doi: 10.15407/frg2016.04.324 [In Ukrainian]
13. Lisova, H. M., & Sobko, T. O. (2017). Peculiarities of resistance of carriers translocation 1AL/1RS to leaf rust of wheat in conditions of Forest steppe zone of Right bank of Ukraine. *Factors in Experimental Evolution of Organisms*, 21, 160–163. doi: 10.7124/FEE0.v21.827 [In Ukrainian]
14. Vlasenko, V. A., Koliuchyi, V. T., Kozub, N. O., & Sobko, T. O. (2006). Breeding value of wheat rye translocation 1AL/1RS in the creation of varieties of winter soft wheat. *Scientific and Technical Bulletin of the V. M. Remeslo Myronivka Institute of Wheat of UAAS*, 5, 84–94. [In Ukrainian]
15. Sozinov, I. O., Kozub, N. O., Bidnyk, H. Ya., Demianova, N. O., Blium, Ya. B., & Sozinov, O. O. (2016). Seed set and other productivity traits in common wheat F_1 plants with the 1BL/1RS and 1AL/1RS translocations. *Factors in Experimental Evolution of Organisms*, 18, 154–158. [In Ukrainian]
16. Kozub, N. A., Sozinov, I. A., Bidnyk, A. Ya., Demianova, N. A., Blume, Ya. B., & Sozinov, A. A. (2016). Development of com

- mon wheat lines with the recombinant arm 1RS as a source of new combinations of disease and pest resistance genes. *Plant Protection and Quarantine*, 62, 143–150. doi: 10.36495/16069773.2016.62.143 150 [In Ukrainian]
17. Topal, M. M. (2014). Adaptive properties and productivity of varieties and lines with wheat rye translocations in the conditions of Southern Ukraine. *Collected Scientific Articles of PBGI – NCSCI*, 23, 88–99. [In Ukrainian]
 18. Kozub, N. O., Sozinov, I. O., Koluchiy, V. T., Vlasenko, V. A., Sobko, T. O., & Sozinov, O. O. (2005). Identification of 1AL/1RS translocation in winter common wheat varieties of Ukrainian breeding. *Cytology and Genetics*, 39(4), 20–24. [In Ukrainian]
 19. Volkodav, V. V. (Ed.). (2001). *Metodyka derzhavnoho sortovyp robuvannia silskohospodarskykh kultur. Vyp. 2. Zernovi, krupiani ta zernobobovi kultury* [The method of state variety testing of agricultural crops. Vol. 2. Grain, cereals and leguminous plants]. Kyiv: Alefa. [In Ukrainian]
 20. Rybalka, O. I., Chervonis, M. V., Toporash, I. H., Surzhenko, I. O., Bodelan, O. P., & Shcherbyna, Z. V. (2006). Scientific rationale for the development of new methods for assessing the baking quality of wheat flour. *Grain Storage and Processing*, 1, 43–48. [In Ukrainian]
 21. Sudarchuk, L. V., Chebotar, S. V., & Rybalka, O. I. (2010). Detection centric translocation 1rS.1BL by using molecular markers in breeding material of soft wheat. *Odessa National University Herald. Biology*, 15(6), 39–48. [In Ukrainian]
 22. *Wheat. Specifications: State standard of Ukraine (DSTU) 3768:2010*. (2010). Kyiv: Derzhspozhyvstandart of Ukraine. [In Ukrainian]
 23. Dospikhov, B. A. (1985). *Metodyka polevogo opyta (s osnovami statisticheskoy obrabotki rezul'tatov issledovaniy)* [Methods of field experiment (with the basics of statistical processing of research results)] (5th ed., rev. and enl.). Moscow: Agropromizdat. [In Russian]
 24. Rokitskiy, P. F. (1973). *Biologicheskaya statistika* [Biological statistics]. 3rd ed., rev. Minsk: Vysheyshaya shkola. [In Russian]
 25. Rybalka, O. I., & Lytvynenko, M. A. (2007). Use of 1RS/1BL translocations in wheat breeding. *Bulletin of Agricultural Science*, 12, 36–40. [In Ukrainian]
 26. Lytvynenko, M. A., & Topal, M. M. (2014). Genetic factors of positive influence on grain quality in soft winter wheat lines with rye translocation 1AL/1RS. *Bulletin of Agricultural Science*, 5, 36–42. [In Ukrainian]
 27. Vasylykivskiy, S. P., Gudzenko, V. M., Kochmarskiy, V. S., & Kyrylenko, V. V. (1970). Realization of cereals varieties potential as a way of solving the food problem. *Factors in Experimental Evolution of Organisms*, 21, 47–51. doi: 10.7124/FEE0.v21.805 [In Ukrainian]
 28. Lytvynenko, M. A., & Holub, Ye. A. (2017). Effectiveness of the SDS 30 sedimentation method in the selection of soft winter wheat (*Triticum aestivum* L.) for baking properties. *Collected Scientific Articles of PBGI – NCSCI*, 29, 6–18. [In Ukrainian]
 29. Lytvynenko, M. A., & Holub, Ye. A. (2011). Criteria for identification of extra strong genotypes. *Collected Scientific Articles of PBGI – NCSCI*, 17, 82–95. [In Ukrainian]
 30. *Kataloh sortiv ta hibrydiv Seleksiino henetychnoho instytutu – Natsionalnoho tsentru nasinnieznavstva ta sortovyvchennia* [Catalog of varieties and hybrids of the Plant Breeding and Genetics Institute – National Center of Seed and Cultivars Investigation]. (2021). Odesa: N. p. [In Ukrainian]

UDC 633.11."327":631.527:631.524.85:631.

Lytvynenko, M. A.¹, Holub, E. A.¹, & Khomenko, T. M.² (2022). Efficiency of using of wheat rye translocations (WRT) 1AL/1RS and 1BL/1RS in soft winter wheat breeding. *Plant Varieties Studying and Protection*, 18(2), 98–109. <https://doi.org/10.21498/25181017.18.2.2022.265177>

¹Plant Breeding and Genetics Institute – National Centre of Seed and Cultivar Investigations, 3 Ovidiopska doroha, Odesa, 65036, Ukraine, e mail: dr_litvin@ukr.net

²Ukrainian Institute of Plant Varieties Examination, 15 Henerala Rodymtseva St., Kyiv, 03041, Ukraine

Purpose. To determine the genetic effects of WRT 1AL.1RS and 1BL.1RS on the yield, plant productivity elements and quality indices of recombinant lines, to determine the effectiveness of using each of the WRT for creating more perfect varieties of soft winter wheat in these traits under soil air drought in the steppe zone of Ukraine and development of breeding techniques to reduce the negative effects of translocation to produce genotypes with high quality indices of valuable and strong wheat grain. **Methods.** Field experiments, intraspecific hybridization, evaluation of breeding material in the field, methods of laboratory determination of baking quality indices of grain, electrophoresis of spare proteins, statistical. **Results.** Under arid conditions of the South of Ukraine on the large experimental material of breeding process, a positive effect of 1AL.1RS on the yield of recombinant lines and the main elements of plant productivity were determined, which was manifested against the background of simultaneous positive effect of this transposition on the drought and heat tolerance. The use of 1BL.1RS in wheat breeding in this region is less promising technique. It has been determined that introduction of 1AL.1RS, 1BL.1RS translocations into local gene pool of soft winter wheat by hybridization changes the grain quality indices. In particular, the protein content tends to increase

more significantly under the influence of 1BL.1RS translocation. It has been shown that the frequency of obtaining recombinant lines which combine high yield and sufficient level of baking properties (not lower than valuable and strong wheat) is quite low (1,7–6,1%), but introgressive lines with 1AL.1RS have the advantages in this parameter. Using such genetic factors as hybridization combining WRT with alleles with high positive effect on baking properties, and also creating heterogeneity in the composition of genotypes with and without WRT, one can purposefully reduce the negative impact of WRT on the quality of soft winter wheat grain and create varieties with quality parameters of valuable and strong wheat. **Conclusions.** In general, the results achieved give reason to assert that the use of WRT 1AL.1RS is a promising direction for further breeding increase of genetic capacity of soft winter wheat varieties in the arid conditions of the South of Ukraine. As a result of full cycle of breeding process on the material with 1AL.1RS WRT a series of varieties of soft winter wheat 'Zhytnytsia odeska', 'Oktava odeska', 'Liha odeska', 'Duma odeska', 'Versiia odeska', providing 10 – 15% increase in yield to standards was created and included in the State Register of Ukraine and Moldova.

Keywords: soft winter wheat, recombinant lines, baking quality, yield, performance elements, adaptive properties.

Надійшла / Received 08.06.2022
Погоджено до друку / Accepted 26.06.2022

Створення вихідного селекційного матеріалу пшениці м'якої озимої з комплексом господарсько цінних ознак

Л. А. Мурашко¹, Т. І. Муха¹, О. В. Гуменюк¹, Ю. М. Судденко¹, Н. В. Новицька², О. М. Мартинов³

¹Миронівський інститут пшениці імені В. М. Ремесла НААН України, вул. Центральна, 68, с. Центральне, Обухівський р н, Київська обл., 08853, Україна

²Національний університет біоресурсів і природокористування України, вул. Героїв Оборони, 15, м. Київ, 03041, Україна, e mail: novitska@ukr.net

³Український інститут експертизи сортів рослин, вул. Генерала Родимцева, 15, м. Київ, 03041, Україна

Мета. Створення нового, високостійкого проти хвороб колоса та заселення шкідниками селекційного матеріалу пшениці м'якої озимої для використання в селекційному процесі. **Методи.** Дослідження проводили у 2017–2020 рр. у польових інфекційних розсадниках відділу захисту рослин Миронівського інституту пшениці імені В. М. Ремесла НААН в умовах штучної інокуляції рослин пшениці м'якої збудниками твердої сажки та фузаріозу колоса. Штучний інфекційний фон твердої сажки створювали за методом А. І. Борггарда Анпілогова, який полягає в заспоренні посівного матеріалу за кілька діб до сівби. Штучний інфекційний фон фузаріозу колоса створювали шляхом обприскування рослин пшениці м'якої озимої у фазі цвітіння суспензією спор, виділених з місцевої популяції збудника. **Результати.** За результатами проведених досліджень виділено високостійкі (до 5% ураження колоса) проти збудника фузаріозу комбінації гібридів четвертого покоління пшениці м'якої: 'Берегиня миронівська' / 'Nobeoka bozu' мала заселення трипсами 5,2 екз./колос, а п'явицею – 35,0 екз./м² та 'Горлиця миронівська' / 'С Lokia', заселеність трипсами якої становила 5,0 екз./колос, п'явицею – 2,0 екз./м². На штучному інфекційному фоні гібридів четвертого покоління за стійкістю проти твердої сажки відібрано комбінації схрещування 'Берегиня миронівська' / 'Горянка', 'Легенда Миронівська' / 'Нана', які вражувались твердою сажкою від 15 до 20%, а заселення трипасами було 2,8–8,6 екз./колос, п'явицею – 5,0–6,0 екз./м². Найбільші показники довжини колоса, кількості зерен у колосі та маси зерна з колоса отримали у комбінаціях 'Оберіг миронівський' / 'Maris Templer' та 'Берегиня миронівська' / 'Горянка', які створені відповідно до програм селекції пшениці м'якої озимої на стійкість проти фузаріозу колоса та твердої сажки. **Висновки.** Виділені за комплексною стійкістю проти хвороб та шкідників константні лінії пшениці м'якої озимої використовуються в селекційному процесі Миронівського інституту пшениці імені В. М. Ремесла НААН та Національного центру генетичних ресурсів рослин України (Інститут рослинництва імені В. Я. Юр'єва, м. Харків).

Ключові слова: джерела стійкості; фузаріоз колоса; тверда сажка; сорт; гібрид; імунологічна характеристика.

Вступ

Створення нових, екологічно пластичних та стійких до впливу найпоширеніших шкідливих організмів сортів є одним із основних напрямів збільшення врожайності культурних рослин. Добір сортів, найбільш адаптованих до певних фітосанітарних та кліматичних умов регіону, має важливе значення в селекції пшениці озимої, оскільки, за під-

рахунками вчених, внесок сорту у формування врожаю становить 30–70% [1–3].

Відомо [4], що фізіологічна роль колоса у формуванні майбутнього врожаю становить, за різними даними, 20–25%, і поступається хіба що прапорцевому листку, який займає 20% площі рослини і відповідає за 43% майбутнього врожаю. Тому захист колоса від хвороб має вирішальне значення для отримання високого та якісного врожаю зерна пшениці [5, 6].

Актуальним питанням є створення сортів пшениці озимої з високою продуктивністю та стійкістю проти фузаріозу колосу, оскільки за враженні фузаріозом погіршуються посівні, товарні та кормові якості зерна. Зокрема, згідно з даними [7], через ураження зерна пшениці фузаріозом його маса може знижуватися до 60%, а кількість зерен у колосі – до 40%, що призводить до зниження врожаю загалом. Ураження пшениці грибами роду *Fusarium* погіршує якість борошна та хліба. За даними закордонних дослідни-

Lyudmila Murashko

https://orcid.org/0000_0002_0438_7682

Tetyana Mukha

https://orcid.org/0000_0002_2628_7324

Oleksandr Humenyuk

https://orcid.org/0000_0002_1147_088X

Yuliia Suddenko

https://orcid.org/0000_0001_6586_1977

Nataliia Novytska

https://orcid.org/0000_0002_7645_4151

Oleksiy Martynov

https://orcid.org/0000_0001_7680_7490

ків [8], уміст протеїну за таких умов може знижуватися на 0,1–0,5%, сирової клейковини – з 29,2 до 14,7–22%. Крім втрати врожаю, гриби із роду *Fusarium* можуть також синтезувати токсичні компоненти, або мікотоксини, – тріхотецени групи А: Т-2 і НТ-2 токсини, діацетоксисцірпенол; тріхотецени групи В: ніваленол, дезоксиніваленол (ДОН), зеараленон, фумонізиди (В1, В2, В3, В4), моніліформін, які становлять серйозний ризик для здоров'я людей і тварин [9–12].

Не менш небезпечним та поширеним захворюванням колоса пшениці є тверда сажка, селекції на стійкість проти якої тривалий час не приділяли належної уваги через високу ефективність синтетичних пестицидів для оброблення насіння. Як результат, багато європейських сортів сприйнятливі до сажки [13, 14]. Сажка є основною перешкодою для успішного вирощування органічної озимої пшениці через дуже обмежену кількість стійких сортів. Принципи органічного сільського господарства ґрунтуються на спробі сприяти розвитку корисних форм життя, а не прямому знищенні шкідливих, оскільки це завжди створює біологічний вакуум, який може бути основою для міграції інших, можливо, більш шкідливих організмів. Знищення патогенів також часто включає знищення корисних організмів, які можуть допомогти захистити рослини від патогенів [15, 16]. Таким чином, основними принципами екологічного контролювання хвороб є оптимізація умов росту для рослин, а не знищення патогенів. Цей принцип включає адекватну сівозміну, аеробне компостування гною, збалансоване живлення рослин та вирощування стійких сортів [17]. Вирощування сортів, стійких проти шкідників і збудників хвороб є найрадикальнішим, найперспективнішим, екологічно безпечним та економічно вигідним напрямом управління біо- та абіотичними стресами шляхом удосконалення інтегрованої системи захисту пшениці озимої [18]. Саме цей напрям дає змогу без додаткових затрат мінімізувати втрати врожаю від шкідливих організмів та зменшити енерговитрати на 25–30% [19–21]. Для створення високостійких до комплексу шкочинних організмів сортів пшениці озимої широко використовують методи складної внутрішньовидової гібридизації з відбором у різних поколіннях [5, 22].

Мета досліджень – створення нового, генетично різноманітного селекційного матеріалу, стійкого проти хвороб колоса (фузаріозу, твердої сажки) та шкідників для вико-

ристання в селекційному процесі за створення сучасних сортів пшениці м'якої озимої. Завдання досліджень: вивчення гібридного матеріалу F_2 та проведення добору стійких проти хвороб генотипів пшениці м'якої озимої на штучних інфекційних фонах їх збудників; проведення доборів високопродуктивних форм пшениці озимої з комплексною стійкістю проти хвороб колоса та шкідників у гібридному розсаднику F_3 на штучних інфекційних фонах їх збудників; вивчення стійкого проти хвороб колоса отриманого вихідного матеріалу пшениці м'якої озимої на роздільних штучних інфекційних фонах їх збудників.

Матеріали та методика досліджень

Дослідження проводили у 2017–2020 рр. у відділу захисту рослин Миронівського інституту пшениці імені В. М. Ремесла НААН (с. Центральне, Обухівський район, Київська область) у північній частині Правобережного Лісостепу. Штучну інокуляцію рослин пшениці м'якої озимої збудниками хвороб колоса проводили у польових інфекційних розсадниках.

У колекційному розсаднику з використанням роздільних штучних інфекційних фонів збудників твердої сажки, фузаріозу колоса та інших хвороб досліджували 203 колекційні зразки пшениці м'якої озимої, 82 сорти селекції МП та 143 сортозразки селекції різних селекційних центрів України. Серед цих зразків були виділені зразки, які використовувались у схрещуваннях як материнські та батьківські форми для створення нового вихідного селекційного матеріалу зі стійкістю проти групи хвороб. У 2017 р. проведено схрещування з використанням найліпших джерел стійкості проти хвороб, які були використані як батьківські форми: за вивчення стійкості проти фузаріозу – 'Експромт', 'Catalon', 'Co 75-50-71', 'ТАМ 139482/79', 'Nobeoka bozu'; за інфікування збудником твердої сажки – 'Лютесценс 6028', 'Еритроспермум 4318-88', 'Еритроспермум 52521', 'Еритроспермум 1016-89', 'Нана', 'Горянка' та ін. Материнськими формами слугували стійкі проти шкідників, з високими показниками якості сорти миронівської селекції – 'Миронівська ранньостигла', 'Горлиця миронівська', 'Світанок миронівський', 'Оберіг миронівський', 'Смуглянка', 'Наталка', 'Монотип', 'Ремеслівна', 'Колос Миронівщини', 'Берегиня миронівська', 'Легенда миронівська', 'Мирлена', 'Богдана', 'Достаток'. Середня зав'язуваність у гібридних комбінаціях була 42,2%.

У 2018 р. проведено обліки з ураження збудниками хвороб колоса, відібрані форми, стійкі проти окремих хвороб та шкідників. Під урожай 2019 та 2020 років на роздільних інфекційних фонах висівали гібриди третього та четвертого поколінь для подальшого проведення доборів стійких, як проти окремих хвороб колоса, так їх комплексу, та заселення шкідниками форм. Аналіз структурних елементів урожаю проводили на 10 рослинах кожного гібрида третього і четвертого поколінь.

Штучний інфекційний фон твердої сажки створювали за методом А. І. Борггарда-Анпілогова, який полягає в заспоренні насінневого матеріалу за кілька діб до сівби [23]. Штучний інфекційний фон фузаріозу колоса створювали шляхом обприскування рослин пшениці м'якої озимої у фазі цвітіння суспензією спор, виділених з місцевої популяції збудника. Стійкість рослин пшениці м'якої озимої проти збудників хвороб колосу оцінювали в динаміці (для вивчення наростання хвороби), основною вважали оцінку в період максимального розвитку хвороб. Для фузаріозу колоса, твердої сажки – це фаза молочно-воскової стиглості. Дрібних рухливих комах, які перебувають на рослинах (цикадки, трипси, попелиці, імаго злакових мух і пильщиків), виявляли методом косіння ентомологічним сачком. На одному полі, залежно від його розмірів і чисельності виявлених комах, робили 50–100 помахів сачком у 5 або 10 місцях поля. Для розрахунку чисельності шкідників на одиницю

площі два помахи умовно прирівнювали до площі 1 м². Підрахунок шкідників, що живляться на поверхні рослин (клопи, хлібні жуки, п'явиці та ін.), проводили безпосередньо як на рослинах, так і після їх струшування з рослин в ентомологічний сачок [23–27].

Результати досліджень

У наших дослідженнях у гібридному розсаднику третього покоління на роздільних штучних інфекційних фонах проведено обліки щодо враження збудниками основних хвороб колоса (фузаріоз колоса, тверда сажка) та заселення рослин шкідниками. Відібрані форми з комплексною стійкістю проти хвороб, які, крім того, відзначались високою стійкістю проти заселення шкідниками. Необхідність відбору нових джерел комплексної стійкості під час створення нового вихідного стійкого проти хвороб та високопродуктивного селекційного матеріалу, відмічають у своїх дослідженнях різні дослідники [28–31]. На штучному інфекційному фоні фузаріозу колоса в F₃ відібрано 241 добір. У результаті досліджень виокремлено дві високостійкі комбінації гібридів третього покоління, які мали ураження збудником 3,0–5,0%. Комбінація 'Берегиня миронівська' / 'Nobeoka bozu' мала заселення трипсами 8,3 екз./колос, а п'явицею – 35,0 екз./м² та 'Горлиця миронівська' / 'С-Lokia', заселеність трипсами якої становила 5,0 екз./колос (ЕПШ 20,0–30,0 екз./колос), п'явицею – 28,0 екз./м² (ЕПШ 150,0–200,0 екз./м²) (рис. 1).

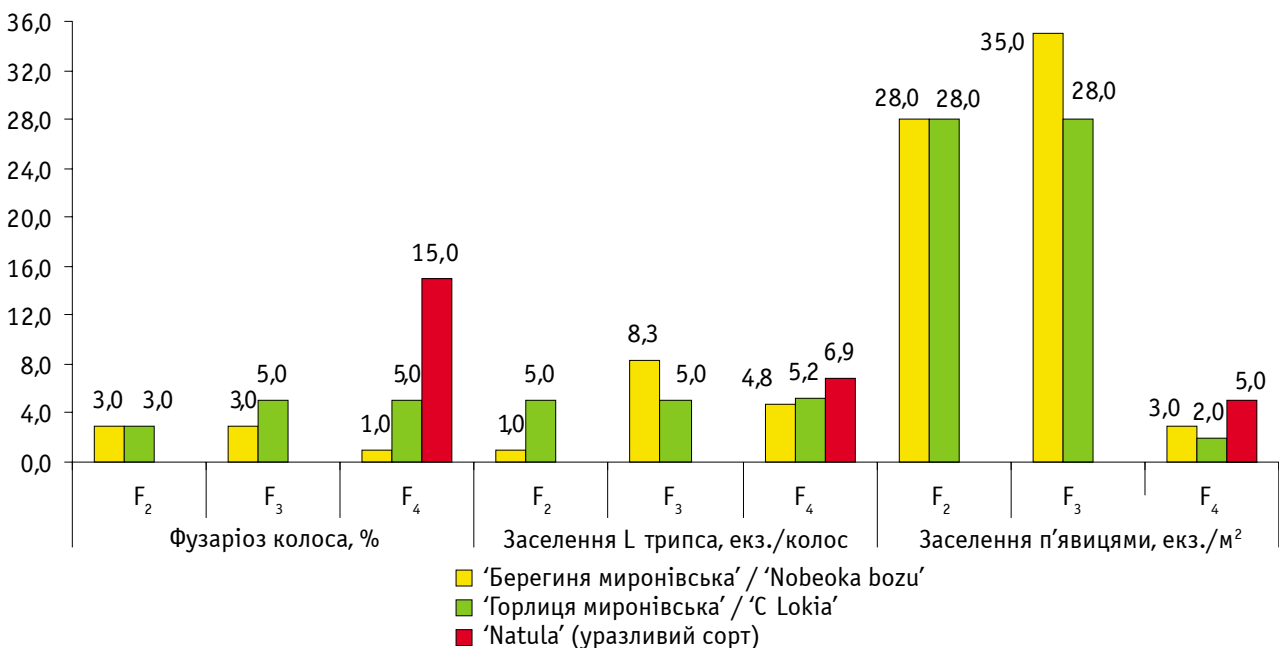


Рис. 1. Рівень ураження гібридів F₂–F₄ пшениці м'якої озимої зі стійкістю проти фузаріозу колоса та шкідників (2018–2020 рр.)

У 2020 р. на штучному інфекційному фоні фузаріозу колоса в F_4 відібрано 211 доборів. У результаті досліджень виокремлено дві комбінації, які мали враження збудником від 1,0 до 5,0%. Комбінація ‘Берегиня миронівська’ / ‘Nobeoka bozu’ мала заселення трипсами 5,2 екз./колос, а п’явицею – 35 екз./м² та ‘Горлиця миронівська’ / ‘С-Lokia’, яка заселялась трипсами на рівні 5,0 екз./колос, п’явицею – 2,0 екз./м².

У гібридному розсаднику третього покоління на штучному інфекційному фоні твердої сажки найбільшу кількість доборів (254) відібрано у таких комбінаціях: ‘Берегиня миронівська’ / ‘Горянка’, ‘Легенда миронівська’ / ‘Нана’, які вражувались твердою сажкою від 10 до 15%, а заселення личинками трипса було 8,0–8,3 екз./колос, п’явицею – 35,0 екз./м² (рис. 2).

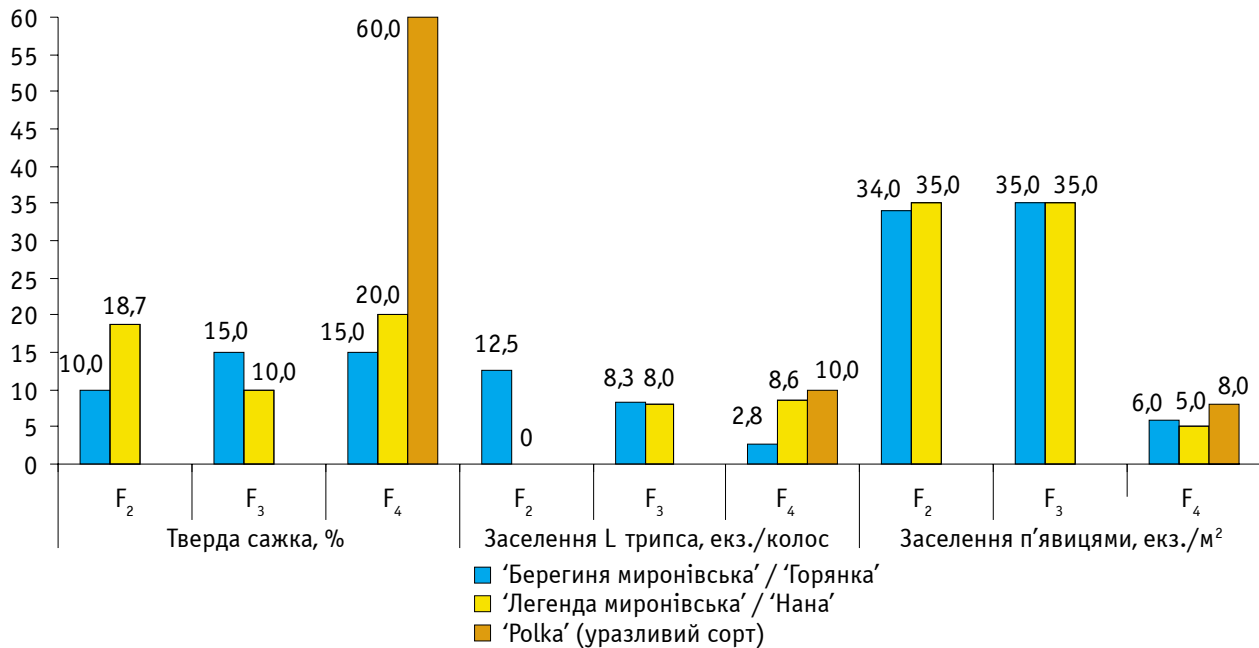


Рис. 2. Рівень ураження гібридів F_2 – F_4 пшениці м'якої озимої зі стійкістю проти твердої сажки та шкідників (2018–2020 рр.)

Сорт ‘Берегиня миронівська’, який містить алель Lr 34(+), що надає сортам стійкість, був залучений у схрещування у процесі створення хворобостійкого гібридного матеріалу четвертого покоління. У польовому інфекційному розсаднику на штучному фоні твердої сажки в комбінаціях ‘Берегиня миронівська’ / ‘Горянка’, ‘Легенда миронівська’ / ‘Нана’ відібрано 154 добори F_4 , які вражувались твердою сажкою від 15 до 20%, а заселення трипсами було 2,8–8,6 екз./колос, п’явицею – 5,0–6,0 екз./м².

Dvorjak D. S. [28] відмічає необхідність проведення раннього добору за бажаними агрономічними ознаками, оскільки селекція раннього покоління на стійкість проти фузаріозу колоса має підвищувати цінність селекційних ліній і сприяти відбору високорожайних ліній з бажаними якісними характеристиками. Проведений у наших дослідженнях серед популяцій F_3 структурний аналіз елементів продуктивності пшениці м'якої озимої дав змогу виділити низку комбінацій, які вдало поєднували стійкість

проти основних збудників хвороб та шкідників з високими структурними показниками. Висота рослин у гібридів F_3 суттєво не відрізнялась від батьківських форм, а довжина колоса, кількість колосків у колосі та маса зерен з колосу перевищували материнську та батьківську форми (табл. 1).

Слід відзначити селекційну цінність гібридних комбінацій, створених за участі сорту ‘Берегиня миронівська’. У популяції ‘Берегиня миронівська’ / ‘Nobeoka bozu’, створеної за участі джерела стійкості проти фузаріозу колоса ‘Nobeoka bozu’, виділили за трьома елементами продуктивності (довжина колоса – 9,1 см, кількість зерен у колосі – 45,7 шт., маса зерна з колоса – 2,06 г). За цими ознаками виокремили гібриди ‘Берегиня миронівська’ / ‘Горянка’, ‘Легенда миронівська’ / ‘Нана’, ‘Горлиця миронівська’ / ‘С-Lokia’. Усі гібридні комбінації третього покоління (крім ‘Колос Миронівщини’ / ‘203-238’) перевищують сорт-стандарт ‘Подільянка’ за показниками елементів продуктивності.

Елементи продуктивності гібридів та батьківських форм пшениці м'якої озимої, стійких проти хвороб колоса (2019–2020 рр.)

Батьківські форми, гібридні комбінації	Висота рослин, см		Довжина колоса, см		Кількість зерна у колосі, шт.		Маса зерен із колоса, г	
	F ₃	F ₄	F ₃	F ₄	F ₃	F ₄	F ₃	F ₄
Фузаріоз колоса								
'Natula' (уразливий сорт)	105	89	7,9	9,0	35,0	47,0	1,10	1,80
'Подольнка' (St)	100	98	7,2	7,6	29,2	47,0	1,23	1,90
♀ 'Берегиня миронівська'	95	95	7,3	7,3	30,5	30,5	1,27	1,27
'Берегиня миронівська' / 'Nobeoka bozu'	120	98	9,1	7,9	45,7	48,4	2,06	2,14
♂ 'Nobeoka bozu'	115	115	7,1	7,1	27,3	27,3	1,15	1,15
♀ 'Горлиця миронівська'	90	90	7,5	7,5	39,9	39,9	1,79	1,79
'Горлиця миронівська' / 'C Lokia'	100	89	8,1	8,9	44,1	46,9	1,83	2,05
♂ 'C Lokia'	95	95	8,1	8,1	36,6	36,6	1,63	1,63
Тверда сажка								
'Polka' (уразливий сорт)	95	75	6,9	9,0	33,1	38,7	1,51	1,64
♀ 'Берегиня миронівська'	95	95	7,3	7,3	30,5	30,5	1,27	1,27
'Берегиня миронівська' / 'Горянка'	95	92	8,9	9,2	44,2	53,4	1,87	2,22
♂ 'Горянка'	90	90	7,1	7,1	28,9	28,9	1,19	1,19
♀ 'Легенда миронівська'	90	90	8,3	8,3	32,3	32,3	1,45	1,45
'Легенда миронівська' / 'Нана'	85	88	8,7	8,8	35,5	48,7	1,58	1,90
♂ 'Нана'	80	80	7,9	7,9	31,7	31,7	1,33	1,33
NIP _{0,05}	2,2	5,9	0,5	0,5	5,1	5,9	0,22	0,26

Висота рослин гібридів F₄, які виділились за стійкістю проти хвороб колоса та шкідників, суттєво не відрізнялась від батьківських форм, а довжина колоса, кількість колосків у колосі та маса зерен з колоса перевищували материнські та батьківські форми. Зокрема, найбільшу довжину колоса, кількість зерен у колосі та масу зерна з колоса отримали у комбінаціях 'Оберіг Миронівський' / 'Maris Tempeler' (9,2 см, 58,4 шт. та 2,49 г відповідно) та 'Берегиня миронівська' / 'Горянка' (9,2 см, 53,4 шт. та 2,22 г відповідно), які створено за програмами селекції пшениці м'якої озимої на стійкість проти фузаріозу колоса та твердої сажки. Поєднання ознак комплексної стійкості проти хвороб колоса, високорослості та високопродуктивного колоса в гібридних комбінаціях пшениці відзначено в дослідженнях Steiner et al. [29], які зазначали взаємозв'язок

між висотою рослини та стійкістю проти фузаріозу колоса, наголошуючи, що чим коротші рослини, тим серйознішими є наслідки поширення хвороби.

За результатами вивчення константних ліній пшениці м'якої озимої із селекційного розсадника до Національного центру генетичних ресурсів рослин України (Інститут рослинництва ім. В. Я. Юр'єва, м. Харків) у 2018 р. передали 11 хворобостійких ліній, у 2019 р. – 9. Отриманий вихідний селекційний матеріал, який виділювався за стійкістю проти хвороб та шкідників, передано в лабораторію селекції пшениці м'якої озимої для подальшого використання у селекційному процесі. Імунологічну характеристику дев'яти ліній пшениці м'якої озимої за стійкістю проти збудників хвороб колоса та кореневих гнилей, переданих до НЦГРРУ у 2019 р., наведено в таблиці 2.

Таблиця 2

Імунологічна характеристика ліній пшениці м'якої озимої, переданих до НЦГРРУ, за стійкістю проти збудників хвороб колоса (2020 р.)

Назва лінії, сорту	Ураження хворобами, %			
	фузаріоз колоса	кореневі гнилі	борошнеста роса	тверда сажка
Фузаріоз колоса				
'Natula' (уразливий сорт)	10,0	38,0	5,0	60,0
'Подольнка' (St)	15,0	34,0	3,0	70,0
'Лютесценс F.g. 163/19'	5,0	0	1,0	0
'Еритроспермум F.g. 164/19'	1,0	0	5,0	0
'Еритроспермум F.g. 166/19'	3,0	0	3,0	0
Тверда сажка				
'Polka' (уразливий сорт)	5,0	37,3	5,0	70,0
'Еритроспермум Т.с. 193/19'	0	0	2,0	3,0
'Еритроспермум Т.с. 195/19'	0	0	2,0	5,0

Ці лінії проходять подальше дослідження на стійкість проти збудників хвороб на полях НЦГРРУ.

Висновки

За результатами проведених досліджень виділено високостійкі (до 5% ураження колоса) проти збудника фузаріозу колоса комбінації гібридів четвертого покоління, зокрема 'Берегиня миронівська' / 'Nobeoka bozu', заселення трипсами якої не перевищувало 5,2 екз./колос, п'явицею – 35,0 екз./м² та 'Горлиця миронівська' / 'С-Lokia', яка заселялась трипсами – 5,0 екз./колос, п'явицею – 2,0 екз./м². На штучному інфекційному фоні гібридів четвертого покоління за стійкістю проти твердої сажки відібрано комбінації схрещування 'Берегиня миронівська' / 'Горянка', 'Легенда миронівська' / 'Нана', які вражувались твердою сажкою від 15 до 20%, а заселення трипсами було 2,8–8,6 екз./колос, п'явицею – 5,0–6,0 екз./м². Найвищі показники довжини колоса, кількості зерен у колосі та маси зерна з колоса отримали в комбінаціях 'Оберіг миронівський' / 'Maris Templer' та 'Берегиня миронівська' / 'Горянка', які створені за програмами селекції пшениці м'якої озимої на стійкість проти фузаріозу колоса та твердої сажки.

Використана література

- Петренко В. П., Звягінцева, А. М., Чугаєв С. В. Стійкість зернових колосових (пшениці озимої, ячменю ярого) до кореневої гнилей. Харків : Інститут рослинництва ім. В. Я. Юр'єва НААН, 2016. 158 с.
- Kovalyshyna H., Dmytrenko Y., Tonkha O. et al. Diversity of winter common wheat varieties for resistance to leaf rust created in the V. M. Remeslo Myronivka Institute of Wheat. *Potravnarstvo Slovak Journal of Food Sciences*. 2020. Vol. 14. P. 1001–1007. doi: 10.5219/1447
- Ковалишина Г. М., Дмитренко Ю. М., Муха Т. І. Вихідний матеріал для селекції пшениці озимої на стійкість проти бурого іржі. *Рослинництво та ґрунтознавство*. 2020. Т. 11, № 2. С. 13–22. doi: 10.31548/agr2020.02.013
- Tottman D. The Decimal Code for the Growth Stages of Cereals, with Illustrations. *Annals of Applied Biology*. 2008. Vol. 110, Iss. 2. P. 441–454. doi: 10.1111/j.1744 7348.1987.tb03275.x
- Zhu Z., Hao Y., Mergoum M. et al. Breeding wheat for resistance to *Fusarium* head blight in the Global North: China, USA, and Canada. *The Crop Journal*. 2019. Vol. 7, Iss. 6. P. 730–738. doi: 10.1016/j.cj.2019.06.003
- Buerstmayr M., Steiner B., Buerstmayr H. Breeding for *Fusarium* head blight resistance in wheat—Progress and challenges. *Plant Breeding*. 2020. Vol. 139, Iss. 3. P. 429–454. doi: 10.1111/pbr.12797
- McMullen M., Halley S., Schatz B. et al. Integrated strategies for *Fusarium* head blight management in the United States. *Cereal Research Communications*. 2008. Vol. 36, Iss. 6. P. 563–568. doi: 10.1556/crc.36.2008.suppl.b.45
- Bellesi F. J., Arata A. F., Martnez M. et al. Degradation of gluten proteins by *Fusarium* species and their impact on the grain quality of bread wheat. *Journal of Stored Products Research*. 2019. Vol. 83. P. 1–8. doi: 10.1016/j.jspr.2019.05.007
- Forrer H. R., Musa T., Schwab F. et al. *Fusarium* head blight control and prevention of mycotoxin contamination in wheat with botanicals and tannic acid. *Toxins (Basel)*. 2014. Vol. 6, Iss. 3. P. 830–849. doi: 10.3390/toxins6030830
- Champeil A., Fourbet J. F., Dore T., Rossignol L. Influence of cropping system on *Fusarium* head blight and mycotoxin levels in winter wheat. *Crop Protection*. 2003. Vol. 23, Iss. 6. P. 531–537. doi: 10.1016/j.cropro.2003.10.011
- Prandini A., Sigolo S., Filippi L. et al. Review of predictive models for *Fusarium* head blight and related mycotoxin contamination in wheat. *Food and Chemical Toxicology*. 2009. Vol. 47, Iss. 5. P. 927–931. doi: 10.1016/j.fct.2008.06.010
- Mavrommatis A., Giamouri E., Tavrizelou S. et al. Impact of Mycotoxins on Animals' Oxidative Status. *Antioxidants*. 2021. Vol. 10, Iss. 2. Article 214. doi: 10.3390/antiox10020214
- Dumalasoová V., Bartoš P. Resistance of winter wheat cultivars to common bunt, *Tilletia tritici* (Bjerk.) Wint. and *T. laevis* Kühn. *Journal of Plant Diseases and Protection*. 2006. Vol. 113, Iss. 4. P. 159–163. doi: 10.1007/BF03356173
- Dumalasoová V., Bartoš P. Wheat reaction to common bunt in the field and in the greenhouse. *Czech Journal of Genetics and Plant Breeding*. 2012. Vol. 42. P. 37–41. doi: 10.17221/6229 cjpgb
- Borgen A., Davanlou M. Biological control of common bunt (*Tilletia tritici*) in organic agriculture. *Journal of Plant Diseases and Protection*. 2000. Vol. 107, Iss. 1. P. 74–80. doi: 10.1300/J144v03n01_14
- Koch E., Weil B., Wächter R. et al. Evaluation of selected microbial strains and commercial alternative products as seed treatments for the control of *Tilletia tritici*, *Fusarium culmorum*, *Drechslera graminea* and *D. teres*. *Journal of Plant Diseases and Protection*. 2006. Vol. 113, No. 4. P. 150–158. doi: 10.1007/BF03356172
- Todorovska E., Christov N., Slavov S. et al. Biotic stress resistance in wheat – Breeding and genomic selection implications. *Biotechnology & Biotechnological Equipment*. 2009. Vol. 23, Iss. 4. P. 1417–1426. doi: 10.2478/V10133 009 0006 6
- Limbalkar O. M., Meena K., Singh M., Sunilkumar V. P. Genetic improvement of wheat for biotic and abiotic stress tolerance. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*. 2018. Vol. 7, Iss. 12. P. 1962–1971. doi: 10.20546/ijcmas.2018.712.226
- Bai G., Su Z., Cai J. Wheat resistance to *Fusarium* head blight. *Canadian Journal of Plant Pathology*. 2018. Vol. 40, Iss. 3. P. 336–346. doi: 10.1080/07060661.2018.1476411
- Dweba C. C., Figlan S., Shimelis H. A. et al. *Fusarium* head blight of wheat: Pathogenesis and control strategies. *Crop Protection*. 2017. Vol. 91. P. 114–122. doi: 10.1016/j.cropro.2016.10.002
- McMullen M., Bergstrom G., De Wolf E. et al. A unified effort to fight an enemy of wheat and barley: *Fusarium* head blight. *Plant Disease*. 2012. Vol. 96, Iss. 12. P. 1712–1728. doi: 10.1094/PDIS 03 12 0291 FE
- Мурашко Л. А., Муха Т. І., Ковалишина Г. М., Дмитренко Ю. М. Характеристика вихідного матеріалу, стійкого проти фузаріозу колоса та кореневих гнилей, для селекції пшениці озимої. *Рослинництво та ґрунтознавство*. 2021. Т. 12, № 4. С. 80–90. doi: 10.31548/agr2021.04.080
- Власенко В. А., Осьмачко О. М., Бакуменко О. М. Методичні рекомендації щодо виділення ліній пшениці з груповою стійкістю до хвороб, які є носіями пшенично житніх транслокацій. Суми : ФОРП Литовченко Є. Б., 2020. 154 с.
- Методика проведення фітопатологічних досліджень за штучного зараження рослин / уклад. Н. В. Лещук та ін. Вінниця : Корзун Д. Ю., 2016. 75 с.
- Станкевич С. В., Забродіна І. В. Моніторинг шкідників сільськогосподарських культур. Харків : ФОРП Бровін О. В., 2016. 216 с.
- Васильєв В. П., Лісовий М. П., Веселовський І. В. та ін. До відник по захисту польових культур / за ред. В. П. Васильєва та М. П. Лісового. 2 е вид., перероб. і доп. Київ : Урожай, 1993. 224 с.

27. Трибель С. О., Гетьман М. В., Стригун О. О. та ін. Методологія оцінювання стійкості сортів пшениці проти шкідників і збудників хвороб / за ред. С. О. Трибеля. Київ : Колобір, 2010. 392 с.
28. Clark A., Sarti Dvorjak D., Brown Guedira G. et al. Identifying Rare FHB Resistant Segregants in Intransigent Backcross and F₂ Winter Wheat Populations. *Frontiers in Microbiology*. 2016. Vol. 7. P. 1–14. doi: 10.3389/fmicb.2016.00277
29. Buerstmayr H., Buerstmayr M., Schweiger W., Steiner B. Breeding for resistance to head blight caused by *Fusarium* spp. in wheat. *CABI Reviews*. 2014. Vol. 9, Iss. 7. P. 1–13. doi: 10.1079/PAVSNR20149007
30. Oliver R. E., Cai X., Xu S. S. et al. Wheat alien species derivatives: A novel source of resistance to *Fusarium* head blight in wheat. *Crop Science*. 2005. Vol. 45, Iss. 4. P. 1353–1360. doi: 10.2135/cropsci2004.0503
31. Li T., Zhang D., Zhou X. et al. *Fusarium* head blight resistance loci in a stratified population of wheat landraces and varieties. *Euphytica*. 2016. Vol. 207, Iss. 3. P. 551–561. doi: 10.1007/s10681-015-1539-4
32. Dvorjak D. S. *Fusarium* head blight resistance and agronomic performance in soft red winter wheat populations : Doctoral dissertation / University of Kentucky. Lexington, Kentucky, 2014. 157 p. URL: https://uknowledge.uky.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1038&context=psa_etds
33. Steiner B., Buerstmayr M., Michel S. et al. Breeding strategies and advances in line selection for *Fusarium* head blight resistance in wheat. *Tropical Plant Pathology*. 2017. Vol. 42, Iss. 3. P. 165–174. doi: 10.1007/s40858-017-0127-7
- with botanicals and tannic acid. *Toxins (Basel)*, 6(3), 830–849. doi: 10.3390/toxins6030830
10. Champeil, A., Fourbet, J. F., Dore, T., & Rossignol, L. (2003). Influence of cropping system on *Fusarium* head blight and mycotoxin levels in winter wheat. *Crop Protection*, 23(6), 531–537. doi: 10.1016/j.cropro.2003.10.011
11. Prandini, A., Sigolo, S., Filippi, L., Battilani, P., & Piva, G. (2009). Review of predictive models for *Fusarium* head blight and related mycotoxin contamination in wheat. *Food and Chemical Toxicology*, 47(5), 927–931. doi: 10.1016/j.fct.2008.06.010
12. Mavrommatis, A., Giamouri, E., Tavrizelou, S., Zacharioudaki, M., Danezis, G., Simitzis, P. E., ... Feggeros, K. (2021). Impact of Mycotoxins on Animals' Oxidative Status. *Antioxidants*, 10(2), Article 214. doi: 10.3390/antiox10020214
13. Dumalasoová, V., & Bartoš, P. (2006). Resistance of winter wheat cultivars to common bunt, *Tilletia tritici* (Bjerk.) Wint. and *T. laevis* Kühn. *Journal of Plant Diseases and Protection*, 113(4), 159–163. doi: 10.1007/BF03356173
14. Dumalasoová, V., & Bartoš, P. (2012). Wheat reaction to common bunt in the field and in the greenhouse. *Czech Journal of Genetics and Plant Breeding*, 42, 37–41. doi: 10.17221/6229-cjgpb
15. Borgen, A., & Davanlou, M. (2000). Biological control of common bunt (*Tilletia tritici*) in organic agriculture. *Journal of Plant Production*, 3(5), 159–174. doi: 10.1300/J144v03n01_14
16. Koch, E., Weil, B., Wächter, R., Wohlleben, S., Spiess, H., & Krauthausen, H. J. (2006). Evaluation of selected microbial strains and commercial alternative products as seed treatments for the control of *Tilletia tritici*, *Fusarium culmorum*, *Drechslera graminea* and *D. teres*. *Journal of Plant Diseases and Protection*, 113(4), 150–158. doi: 10.1007/BF03356172
17. Todorovska, E., Christov, N., Slavov, S., Christova, P., & Vassilev, D. (2009). Biotic stress resistance in wheat – Breeding and genomic selection implications. *Biotechnology & Biotechnological Equipment*, 23(4), 1417–1426. doi: 10.2478/V10133-009-0006-6
18. Limbalkar, O. M., Meena, K., Singh, M., & Sunilkumar, V. P. (2018). Genetic improvement of wheat for biotic and abiotic stress tolerance. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 7(12), 1962–1971. doi: 10.20546/ijcmas.2018.712.226
19. Bai, G., Su, Z., & Cai, J. (2018). Wheat resistance to *Fusarium* head blight. *Canadian Journal of Plant Pathology*, 40(3), 336–346. doi: 10.1080/07060661.2018.1476411
20. Dweba, C. C., Figlan, S., Shimelis, H. A., Motaung, T. E., Sydenham, S., Mwadingeni, L., & Tsiolo, T. J. (2017). *Fusarium* head blight of wheat: Pathogenesis and control strategies. *Crop Protection*, 91, 114–122. doi: 10.1016/j.cropro.2016.10.002
21. McMullen, M., Bergstrom, G., De Wolf, E., Dill Macky, R., Sherman, D., Shaner, G., & Sanford, D. V. (2012). A unified effort to fight an enemy of wheat and barley: *Fusarium* head blight. *Plant Disease*, 96(12), 1712–1728. doi: 10.1094/PDIS.03.12.0291.FE
22. Murashko, L. A., Mukha, T. I., Kovalyshyna, H., & Dmytrenko, Yu. M. (2021). Characteristics of the source material, which resistant to ear blight of wheatgrass and root rots, for breeding of winter wheat. *Plant and Soil Science*, 12(4), 80–90. doi: 10.31548/agr2021.04.080 [In Ukrainian]
23. Vlasenko, V. A., Osmachko, O. M., & Bakumenko, O. M. (2020). *Metodychni rekomendatsii shchodo vydilennia linii pshenytsi z hrupovoiu stiikistiю do khvorob, yaki ye nosiіamy pshenychno zhytnikh translokatsii* [Methodical recommendations for the selection of wheat lines with group resistance to diseases that are the transmitters of wheat rye translocations]. Sumy: FOP Lytovchenko E. B. [In Ukrainian]
24. Leshchuk, N. V. (Comp). (2016). *Metodyka provedennia fitopatohichnykh doslidzhen za shtuchnoho zarazhennia roslin* [Methodology of conducting phytopathological studies for artificial infection of plants]. Vinnytsia: Korzun D. Yu. [In Ukrainian]

25. Stankevych, S. V., & Zabrodina, I. V. (2016). *Monitorynh shkidnykiv silskohospodarskykh kultur* [Monitoring of pests of agricultural crops]. Kharkiv: FOP Brovin O. V. [In Ukrainian]
26. Vasyliiev, V. V., Veselovskyi, I. V., Horbach, T. I., Dehtiarov, B. H., & Vasyliiev, V. P. (1993). *Dovidnyk po zakhystu polovykh kultur* [Handbook for protection of field crops]. V. P. Vasyliiev, M. P. Lisovyi (Eds.). Kyiv: Urozhai. [In Ukrainian]
27. Trybel, S. O., Hetman, M. V., Stryhun, O. O., Kovalyshyna, H. M., & Andriushchenko, A. V. (2010). *Metodolohiia otsiniuvannia stiikosti sortiv pshenytsi proty shkidnykiv i zbudnykiv khvorob* [Methodology of assessing wheat varieties resistance to pests and pathogens]. S. O. Trybel (Ed.). Kyiv: Kolobih. [In Ukrainian]
28. Clark, A., Sarti Dvorjak, D., Brown Guedira, G., Dong, Y., Baik, B. K., & Van Sanford, D. (2016). Identifying Rare FHB Resistant Segregants in Intransigent Backcross and F₂ Winter Wheat Populations. *Frontiers in Microbiology*, 7, 1–14. doi: 10.3389/fmicb.2016.00277
29. Buerstmayr, H., Buerstmayr, M., Schweiger, W., & Steiner, B. (2014). Breeding for resistance to head blight caused by *Fusarium* spp. in wheat. *CABI Reviews*, 9(7), 1–13. doi: 10.1079/PAVSNNR20149007
30. Oliver, R. E., Cai, X., Xu, S. S., Chen, X., & Stack, R. W. (2005). Wheat alien species derivatives: A novel source of resistance to *Fusarium* head blight in wheat. *Crop Science*, 45(4), 1353–1360. doi: 10.2135/cropsci2004.0503
31. Li, T., Zhang, D., Zhou, X., Bai, G., Li, L., & Gu, S. (2016). *Fusarium* head blight resistance loci in a stratified population of wheat landraces and varieties. *Euphytica*, 207(3), 551–561. doi: 10.1007/s10681 015 1539 4
32. Dvorjak, D. S. (2014). *Fusarium head blight resistance and agronomic performance in soft red winter wheat populations* [Doctoral dissertation, University of Kentucky]. Retrieved from https://uknowledge.uky.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1038&context=pss_etds
33. Steiner, B., Buerstmayr, M., Michel, S., Schweiger, W., Lemmens, M., & Buerstmayr, H. (2017). Breeding strategies and advances in line selection for *Fusarium* head blight resistance in wheat. *Tropical Plant Pathology*, 42(3), 165–174. doi: 10.1007/s40858 017 0127 7

UDC 631.11.632.4

Murashko, L. A.¹, Mukha, T. I.¹, Humenyuk, O. V.¹, Suddenko, Yu. M.¹, Novytska, N. V.², & Martynov, O. M.³ (2022). Creation of the initial breeding material of soft winter wheat with a complex of economically valuable traits. *Plant Varieties Studying and Protection*, 18(2), 110–117. <https://doi.org/10.21498/25181017.18.2.2022.265178>

¹The V. M. Remeslo Myronivka Institute of Wheat, NAAS of Ukraine, 68 Tsentralna St., Tsentralne village, Obukhiv district, Kyiv region, 08853, Ukraine

²National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, 15 Heroiv Oborony St., Kyiv, 03041, Ukraine, e mail: novytska@ukr.net

³Ukrainian Institute for Plant Variety Examination, 15 Henerala Rodymtseva St., Kyiv, 03041, Ukraine

Purpose. Creation of new breeding material of soft winter wheat, highly resistant to diseases of the ear and pest colonization for use in the breeding process. **Methods.** The studies were carried out in 2017–2020 under conditions of artificial inoculation of wheat plants with pathogens of common bunt and fusariosis of the ear in field infectious nurseries of the Department of Plant Protection of the V. M. Remeslo Institute of Wheat of NAAS. An artificial infectious background of common bunt was created according to the method of A. I. Borggard Anpilogov, which consists in contamination of seed material with spores several days before sowing. An artificial infectious background of fusarium ear blight was created by spraying soft winter wheat plants in the flowering phase with a suspension of spores isolated from the local pathogen population. **Results.** According to the results of the conducted research, highly resistant (up to 5% ear damage) combinations of hybrids of the fourth generation of soft wheat were selected against the causative agent of fusarium: ‘Berehynia Myronivska’ / ‘Nobeoka bozu’ had a thrips population of 5.2 ind./ear, and cereal leaf beetle – 35,0 ind./m² and ‘Horlytsia myronivska’ / ‘C Lokia’, the thrips population

of which was 5.0 ind./ear, cereal leaf beetle – 2.0 ind./m². On an artificial infectious background of fourth generation hybrids, in terms of resistance to common bunt, the crossing combinations ‘Berehynia Myronivska’ / ‘Horianka’, ‘Lehenda Myronivska’ / ‘Nana’ were selected, which were affected by common bunt from 15 to 20%, and thrips population was 2.8–8.6 ind./ear, cereal leaf beetle – 5.0–6.0 ind./m². The highest indicators of the length of the ear, the number of grains in the ear and the mass of grain from the ear were obtained in the combinations of ‘Oberih Myronivskyi’ / ‘Maris Templer’ and ‘Berehynia Myronivska’ / ‘Horianka’, which were created in accordance with the breeding programs of soft winter wheat for resistance against fusarium head blight and common bunt. **Conclusions.** The constant lines of soft winter wheat, isolated by complex resistance against diseases and pests, are used in the breeding process of the V. M. Remeslo Institute of Wheat of NAAS and the National Center of Plant Genetic Resources of Ukraine (The Plant Production Institute named after V. Ya. Yuriev, Kharkiv).

Keywords: sources of stability; *Fusarium* head blight; common bunt; variety; hybrid; immunological characteristic.

Надійшла / Received 10.05.2022
Погоджено до друку / Accepted 21.06.2022

Селекція високопродуктивних гібридів буряків цукрових з поліпшеною формою коренеплоду

О. О. Парфенюк*, С. Г. Труш

Дослідна станція тютюництва ННЦ «Інститут землеробства НААН», вул. Інтернаціональна, 4, м. Умань, Черкаська обл., 20300, Україна, *e mail: oksana_parfenyuk@ukr.net

Мета. Виділення донорів цінних селекційно генетичних ознак та створення нового вихідного матеріалу для селекції батьківських компонентів гібридів буряків цукрових за формою коренеплоду. Оцінка продуктивного потенціалу експериментальних гібридів буряків цукрових з поліпшеними параметрами форми коренеплоду. **Методи.** Польовий (закладання дослідів, фенологічні спостереження), лабораторний (визначення вмісту цукру), вимірювально-ваговий (визначення структури врожаю), статистичний (математична обробка отриманих результатів досліджень). **Результати.** Представлено результати оцінки базової продуктивності батьківських компонентів різної генетичної структури та продуктивності експериментальних гібридів буряків цукрових з поліпшеною формою коренеплоду. Установлено підвищення врожайності коренеплодів, збору і виходу цукру з одиниці площі у гібридів буряків цукрових на цитоплазматичній чоловічостерильній (ЦЧС) основі, створених з використанням багаторосткових запилювачів з поліпшеною формою коренеплоду (овально-конічна). Експериментальні гібриди сформовані на основі багаторосткових запилювачів першого покоління бекросу (BC₁) переважали груповий стандарт за врожайністю коренеплодів на 15,2–22,8%, збором і виходом цукру – на 14,4–19,4 і 11,5–17,5% відповідно. Уміст цукрів у коренеплодах був нижчим або на рівні групового стандарту. Аналогічні показники гібридів сформованих на основі запилювачів другого покоління бекросу (BC₂) становили 14,0–21,2%, 17,0–23,2% і 17,6–23,9%, відповідно. Вміст цукру в їх коренеплодах був на рівні групового стандарту. Показники індексу форми коренеплоду становили 1,32 та 1,28 відповідно. Гібриди, сформовані на основі вихідних багаторосткових запилювачів, характеризувалися конічною формою коренеплоду (індекс форми – 0,61). За показниками врожайності, збору і виходу цукру з одиниці площі вони були на рівні групового стандарту. **Висновки.** Установлено, що форма коренеплоду є важливим чинником поліпшення продуктивного потенціалу буряків цукрових у селекції на гетерозис. Зміна форми коренеплоду з конічної на овально-конічну призводить до підвищення продуктивності багаторосткових запилювачів буряків цукрових на 8–19% та гібридів створених за їх участі на 17–23%.

Ключові слова: вихідний матеріал; багаторостковий запилювач; гетерозис; індекс форми; урожайність коренеплодів; уміст цукрів; збір цукру; вихід цукру.

Вступ

Аналіз тенденцій розвитку вітчизняної і зарубіжної селекції свідчить, що в нинішніх умовах селекційні дослідження й надалі будуть спрямовані на створення гібридів буряків цукрових на цитоплазматичній чоловічостерильній (ЦЧС) основі з використанням явища гетерозису, оскільки їх потенціал ще повністю не вичерпано [1–3]. Гібриди повинні характеризуватися високою продуктивністю, бути стійкими до стресових факторів довкілля, адаптованими до конкретних бурякосійних зон і придатними для біоадаптивної енергозаощадної технології вирощування [4–6].

Основним методом селекції на гетерозис є постійне включення у гібридизацію нових ЦЧС ліній та ліній і популяцій багаторостко-

вих запилювачів з послідувачим вивченням їх комбінаційної здатності та продуктивності створених за їх участю гібридів [7, 8].

У селекції високопродуктивних гібридів на ЦЧС основі велике значення надається теоретичним питанням з ідентифікації цінних генотипів рослин буряків цукрових на ранніх етапах селекційного процесу, подальшому їх всебічному вивченню і добору пар для гібридизації з метою максимального використання ефекту гетерозису [9, 10].

Успіх селекційної роботи обумовлений наявністю комбінаційно-здатних ліній закріплювачів стерильності (О-типів), їх аналогів із ЦЧС і багаторосткових запилювачів, як батьківських компонентів майбутніх гібридів [11].

У дослідженнях з буряками цукровими окрім основних критеріїв добору високопродуктивних гібридів на ЦЧС основі, не менш важливим нині є введення в оціночну систему сортовипробування ряду додаткових морфологічних ознак рослин першого року вегетації (форма коренеплоду, рівень розміщення його над поверхнею ґрунту та ін.). Це істотно прискорило б процес створення гіб-

Oksana Parfeniuk

https://orcid.org/0000_0002_2348_4904

Serhii Trush

https://orcid.org/0000_0002_0968_6358

ридів з поліпшеною формою коренеплоду (овально-конічна, широко-конічна), яка б забезпечувала вищу їх продуктивність та була найбільш придатною для механізованого збирання [12, 13]. Також, наявність вищевказаних форм коренеплодів сприятиме зниженню їхніх втрат і пошкоджень під час викопування, зменшенню загальної забрудненості вороху коренеплодів і непродуктивних витрат на перевезення сировини до місць перероблення [14, 15].

Нині особливо актуальними питаннями селекції є наявність генетичного різноманіття вихідного матеріалу, виділення донорів цінних селекційних ознак та створення на їх основі комбінаційно-цінних батьківських компонентів нових високопродуктивних гібридів буряків цукрових [16, 17].

Коренеплоди районуваних гібридів буряків цукрових ще не повністю відповідають вимогам сучасного цукровиробництва [18–20]. Нині є низка актуальних проблем, пов'язаних із формою коренеплоду, які потребують нагального розв'язання. Надмірне заглиблення його у ґрунт, недосконала форма, глибокі борозенки значно підвищують енергозатрати під час збирання врожаю та сприяють вивезенню родючого шару ґрунту з поля [19]. Окрім того, спостерігаються значні втрати маси коренеплодів через механічні пошкодження у процесі збирання. З огляду на це, форма коренеплоду є важливою еколого-селекційною ознакою [21].

Створення гібридів буряків цукрових з поліпшеною формою коренеплоду дасть можливість одночасно підвищити їх продуктивність та значно зменшити енергозатрати, травмування і забрудненість коренеплодів під час викопування [22, 23].

Вирішення поставленого завдання можливе шляхом впровадження в селекційний процес генотипів буряків кормових, як донорів цінних селекційно-генетичних ознак. Це дає можливість розширити генетичний потенціал та поліпшити буряки цукрові за проявом важливих господарсько-цінних ознак [12, 24].

Буряки кормові мають ряд генетично обумовлених ознак, які селекційними методами можливо привнести у цукрові для їх суттєвого поліпшення. За однакових агрокліматичних умов культивування вони можуть удвічі перевищувати цукрові за врожайністю коренеплодів. Майже дві третини коренеплоду в них розташовано над поверхнею ґрунту, що полегшує його викопування і суттєво зменшує винос родючого шару ґрунту [19].

Тому, питання гібридизації буряків цукрових з кормовими та створення нового вихідного матеріалу для формування батьківських компонентів гібридів буряків цукрових на ЦЧС основі з поліпшеною формою коренеплоду наразі є досить актуальними і складними в плані практичного їх виконання. При цьому необхідними є комплексні підходи ведення селекційного процесу з урахуванням прояву найважливіших селекційно-генетичних і господарсько-цінних ознак у рослинному організмі, характеру кореляційних взаємозв'язків між ними та типів успадкування в процесі гібридизації [25].

Лише за відповідного добору ЦЧС ліній та багаторосткових запилювачів зі зміненими параметрами форми коренеплоду можна отримати нове покоління гібридів буряків цукрових з найвищим потенціалом продуктивності. Позитивним є те, що в них також поліпшується форма коренеплоду. Він частково виступає над рівнем поверхні ґрунту, має гладеньку поверхню, мілку борізду (ортостиху) [12]. Забрудненість коренеплодів у таких гібридів, залежно від року досліджень та складу ґрунту, варіює від 1,9 до 4,8%. Також, значно знижуються енергозатрати за викопування їх з ґрунту [14, 15].

Завдяки рекомбінації генів, що контролюють форму коренеплоду буряків цукрових, урізноманітнюються їх сортові ресурси і підвищується продуктивність. Тому, роль генетичних особливостей сучасних гібридів буряків цукрових в інтенсифікації галузі є досить значущою [12, 17].

Мета досліджень – виділення донорів цінних селекційно-генетичних ознак та створення нового вихідного матеріалу для селекції батьківських компонентів гібридів буряків цукрових за формою коренеплоду. Оцінювання продуктивного потенціалу експериментальних гібридів буряків цукрових з поліпшеними параметрами форми коренеплоду.

Матеріали та методика досліджень

Експериментальні дослідження проводили на Дослідній станції тютюництва ННЦ «Інститут землеробства НААН» (м. Умань, Черкаська обл.) науковцями лабораторії селекції буряків цукрових упродовж 2015–2021 рр.

Ґрунт дослідного поля – чорнозем опідзолений з умістом гумусу в орному шарі (0–30 см) 3,31%. Дослідна станція тютюництва розміщена в зоні нестійкого зволоження. Середня кількість опадів за рік становить 470–490 мм, з яких на період з температурою понад 10 °C припадає 300–310 мм.

Загальна тривалість періоду вегетації рослин становить 200–212 діб. Сума активних температур понад 10 °С становить 2550–2600 °С.

Період проведення досліджень характеризувався нестабільними погодними умовами. Мали місце посухи, підвищена температура повітря. Найменше опадів (381 мм) було зафіксовано у 2019 р., найбільше (642 мм) – у 2021-му. Слід зазначити про нерівномірність розподілу опадів за місяцями. Упродовж періоду вегетації рослин (квітень–вересень) за роки досліджень найменше опадів випадало в серпні.

Кількість опадів у 2016 та 2018 рр. була в межах багаторічного показника (633 мм), у 2021-му перевищувала його, а 2019–2020 рр. були досить засушливими (380 і 483 мм відповідно). У весняні та літні місяці спостерігався недобір опадів до норми в межах 29–47 і 24–53 % відповідно. Осінь 2018 р. була досить вологою (перевищення норми вдвічі), в інші роки – засушливою (нестача вологи 10–35% до норми). За температурним режимом спостерігалось незначне перевищення середньобогаторічних даних (2,1–3,3 °С). Періоди вегетації рослин за роки досліджень характеризувались як слабкопосушливі (ГТК = 0,66–0,95). Лише 2021 р. був достатньо вологим впродовж усього періоду вегетації (ГТК = 1,30). Загалом, погодні умови років досліджень були сприятливими для нормального росту й розвитку рослин буряків цукрових.

До польових дослідів було залучено 36 зразків багаторосткових запилювачів першого і другого покоління бекросу з поліпшеною формою коренеплоду та 252 експериментальні диплоїдні гібриди буряків цукрових, сформовані на основі батьківських компонентів різного генетичного походження. Схрещування проведено під парними бязевими ізоляторами і на просторово ізольованих ділянках.

Площа облікової ділянки – 10,8 м², повторність досліду триразова. Розміщення ділянок – рендомізоване. Сортовивчення вихідних форм і гібридів проведено згідно з методикою сортовипробування, розробленою науковцями Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН (ІВКіЦБ НААН) [26]. Як стандарт обрано три найліпші вітчизняні гібриди буряків цукрових ‘Злука’, ‘Булава’ і ‘Кварта’, надані ІВКіЦБ НААН.

Урожайність коренеплодів буряків цукрових визначали методом суцільного подільного збирання з наступним перерахунком на 1 га. Цукристість коренеплодів установ-

лено методом холодної дигестії за методикою ІВКіЦБ НААН на автоматизованій лінії «Венема» [26]. Статистичну обробку експериментальних даних здійснювали методами дисперсійного аналізу за Б. О. Доспеховим з використанням прикладних програм Microsoft Excel 2010 та Statistica 6.0 [27].

Результати досліджень

Аналіз погодних умов 2015–2021 рр. свідчить про їх нестабільність за роками, що дало змогу всебічно оцінити експериментальний матеріал, виявити генетичні особливості та фенотиповий прояв найважливіших кількісних ознак і відібрати форми з високою адаптивною здатністю рослин.

Першим етапом досліджень було вивчення рівня базової продуктивності багаторосткових запилювачів буряків цукрових поліпшених за формою коренеплоду.

За результатами сортовипробування 2015–2017 рр. виділено потомства найкращих за продуктивністю багаторосткових запилювачів першого (BC₁) і другого (BC₂) покоління бекросу з поліпшеними параметрами форми коренеплоду (табл. 1).

Багаторосткові запилювачі гібридного походження (BC₁ і BC₂) з овально-конічною формою коренеплоду істотно переважали груповий стандарт за врожайністю коренеплодів і збором цукру з одиниці площі. Показники врожайності коренеплодів у запилювачів BC₁ варіювали в межах 56,1–62,8 т/га, запилювачів BC₂ – 55,0–60,1 т/га. За середнім показником умісту цукру в коренеплодах запилювачі BC₁ істотно поступалися груповому стандарту (18,9 і 19,5% відповідно). У багаторосткових запилювачів другого покоління бекросу (BC₂) уміст цукрів у коренеплодах досяг рівня групового стандарту. За комплексною ознакою «збір цукру» зразки BC₁ перевищували груповий стандарт на 6,4–18,3%, BC₂ – на 9,3–19,4%, за виходом цукру – на 1,6–13,1 і 10,1–20,6% відповідно.

Установлено, що після другого насичувального схрещування врожайність коренеплодів багаторосткових запилювачів BC₂ змінилася не суттєво порівняно із запилювачами BC₁, а вміст цукрів у коренеплодах і вихід цукру з одиниці площі значно зросли. Це обумовлено насамперед різним генетичним контролем прояву цих ознак та типом їх успадкування потомством.

За результатами досліджень було створено нові комбінаційно-здатні багаторосткові запилювачі буряків цукрових покоління BC₁ і BC₂ з овально-конічною формою коре-

Таблиця 1

Продуктивність найкращих багаторосткових запилювачів буряків цукрових першого і другого поколінь бекросу (BC₁, BC₂) (2015–2017 рр.)

Селекційний номер	Селекційний матеріал	Урожайність коренеплодів, т/га	Уміст цукрів, %	Збір цукру, т/га	Вихід цукру, т/га	Показники до групового стандарту, %			
						урожайність коренеплодів	уміст цукрів	збір цукру	вихід цукру
Багаторосткові запилювачі BC ₁									
242	B3 1729/21 b ₁	59,1	18,9	11,17	9,83	116,1	96,9	112,6	110,1
248	B3 1729/25 b ₁	62,8	18,7	11,74	10,10	123,4	95,9	118,3	113,1
253	B3 51997/12 b ₁	56,1	18,8	10,55	9,07	110,2	96,4	106,4	101,6
256	B3 33/9 b ₁	57,4	19,1	10,95	9,86	112,8	97,9	110,5	110,4
258	B3 33/14 b ₁	59,8	18,8	11,24	9,67	117,5	96,4	113,3	108,3
261	B3 33/17 b ₁	61,2	18,7	11,44	9,84	120,2	95,9	115,3	110,2
264	B3 76/2 b ₁	56,8	19,0	10,79	9,49	111,6	97,4	108,8	106,3
273	B3 76/11 b ₁	59,4	19,0	11,29	9,93	116,7	97,4	113,8	111,2
281	B3 1705/19 b ₁	56,4	18,9	10,66	9,49	110,8	96,9	107,5	106,3
x̄		58,7	18,9	11,02	9,70	115,5	96,8	111,8	108,6
Багаторосткові запилювачі BC ₂									
294	B3 1729/21 b ₂	56,7	19,5	11,06	9,95	111,4	100,0	111,5	111,4
296	B3 1729/25 b ₂	59,4	19,5	11,58	10,42	116,7	100,0	116,7	116,7
299	B3 51997/12 b ₂	55,7	19,6	10,92	9,93	109,4	100,5	110,1	111,2
302	B3 33/9 b ₂	57,1	19,6	11,19	10,18	112,2	100,5	112,8	114,0
308	B3 33/14 b ₂	58,9	19,4	11,43	9,83	115,7	99,5	111,3	110,1
311	B3 33/17 b ₂	60,1	19,7	10,84	10,77	118,1	101,0	119,4	120,6
320	B3 76/2 b ₂	56,5	19,5	11,02	9,92	111,0	100,0	111,1	111,1
324	B3 76/11 b ₂	58,8	19,6	11,52	10,37	115,5	100,5	116,1	116,1
332	B3 1705/19 b ₂	55,0	19,7	10,84	9,86	108,1	101,0	109,3	110,4
x̄		57,6	19,6	11,27	10,14	113,1	100,3	113,6	113,5
St груповий		50,9	19,5	9,92	8,93	–	–	–	–
HIP _{0,05}		3,62	0,44	0,41	0,40	–	–	–	–

неплоду та високою базовою продуктивністю. Їх доцільно використовувати як батьківські компоненти для подальшого підвищення продуктивного потенціалу нових гібридів на ЦЧС основі.

Для оцінки ефективності розробленого напряму і схем селекції нового вихідного матеріалу диплоїдних багаторосткових запилювачів з поліпшеними параметрами форми коренеплоду, нами створено експериментальні гібриди буряків цукрових на ЦЧС основі, де батьківськими компонентами слугували раніше відселектовані високоцукристі ЦЧС лінії різного генетичного походження з конічною формою коренеплоду, багаторосткові запилювачі першого і другого поколінь бекросу (BC₁, BC₂) з овально-конічною формою коренеплоду та вихідні зразки диплоїдних багаторосткових запилювачів з конічною формою коренеплоду.

Результати оцінювання продуктивності експериментальних гібридів буряків цукрових на ЦЧС основі, створених за використання вихідних форм багаторосткових запилювачів, наведено в таблиці 2.

Показники врожайності коренеплодів експериментальних гібридів порівняно з груповим стандартом варіювали в межах 92,0–

107,6%, умісту цукрів – 98,9–102,8%, збору цукру – 94,0–109,5% та виходу цукру – 94,3–109,1%.

Експериментальні гібриди, сформовані за використання поліпшених за формою коренеплоду багаторосткових запилювачів першого покоління бекросу (BC₁), переважали груповий стандарт за врожайністю коренеплодів на 15,2–22,8%, збором і виходом цукру – на 14,4–19,4 і 11,5–17,5% відповідно (табл. 3). Уміст цукрів у їх коренеплодах був нижчим або на рівні показника групового стандарту.

Слід зазначити, що в гібридів цього типу комплексні ознаки «збір цукру» і «вихід цукру» зросли завдяки підвищенню врожайності коренеплодів. Технологічна якість цукросировини у них була нижчою або на рівні показника групового стандарту.

Аналіз продуктивності експериментальних гібридів буряків цукрових створених за використання багаторосткових запилювачів другого покоління бекросу (BC₂) свідчить, що за врожайністю коренеплодів, збором і виходом цукру вони істотно переважають груповий стандарт (табл. 4).

За врожайністю коренеплодів перевищення становило 14,0–21,2%, збором і виходом цукру – 17,0–23,2 і 17,6–23,9% відповідно.

Таблиця 2

Продуктивність експериментальних гібридів буряків цукрових на ЦЧС основі, створених за використання вихідних форм багаторосткових запилювачів (2019–2021 рр.)

Селекційний номер	Комбінація схрещування	Урожайність, т/га	Уміст цукрів, %	Збір цукру, т/га	Вихід цукру, т/га	Показники до групового стандарту, %			
						урожайність	уміст цукрів	збір цукру	вихід цукру
E72112	ЦЧС4 × Б31729/21	45,9	18,3	8,40	7,54	94,4	101,1	95,5	96,3
E72116	ЦЧС32 × Б333/9	44,7	18,5	8,27	7,38	92,0	102,2	94,0	94,3
E72119	ЦЧС37 × Б3 76/2	49,6	18,4	9,13	8,45	102,1	101,7	103,8	107,9
E72121	ЦЧС42 × Б31729/25	48,9	18,5	9,05	8,08	100,6	102,2	102,8	103,2
E72124	ЦЧС48 × Б31705/19	51,8	18,4	9,53	8,51	106,6	101,7	108,3	108,7
E72144	ЦЧС51 × Б351997/12	47,8	18,2	8,70	7,81	98,4	100,6	98,9	99,7
E72146	ЦЧС54 × Б376/11	47,4	18,6	8,82	7,90	97,5	102,8	100,2	100,9
E72147	ЦЧС67 × Б31729/21	45,8	18,5	8,47	7,63	94,2	102,2	96,3	97,4
E72156	ЦЧС69 × Б351997/12	52,3	18,3	9,57	8,54	107,6	101,1	108,8	109,1
E72158	ЦЧС76 × Б3 33/14	48,6	17,9	8,70	7,85	100,0	98,9	98,9	100,3
E72160	ЦЧС79 × Б3 33/17	52,1	18,5	9,64	8,70	107,2	102,2	109,5	111,1
E72161	ЦЧС83 × Б3 76/11	47,2	18,1	8,54	7,63	97,1	100,0	97,0	97,4
E72166	ЦЧС89 × Б3 51997/12	50,5	18,2	9,19	8,21	103,9	100,6	104,4	104,9
E72169	ЦЧС96 × Б3 33/14	49,9	18,1	9,03	8,06	102,7	100,0	102,6	102,9
\bar{x}		48,8	18,3	8,93	8,02	100,3	101,2	101,5	102,4
St груповий		48,6	18,1	8,80	7,83	–	–	–	–
НІР _{0,05}		3,49	0,35	0,52	0,54	–	–	–	–

Таблиця 3

Продуктивність експериментальних гібридів буряків цукрових на ЦЧС основі, створених за використання багаторосткових запилювачів першого покоління бекросу (BC₁) (2019–2021 рр.)

Селекційний номер	Комбінація схрещування	Урожайність, т/га	Уміст цукрів, %	Збір цукру, т/га	Вихід цукру, т/га	Показники до групового стандарту, %			
						урожайність	уміст цукрів	збір цукру	вихід цукру
E72112	ЦЧС4 × Б31729/21b ₁	57,6	17,7	10,20	8,88	118,5	97,8	115,9	113,4
E72116	ЦЧС32 × Б333/9 b ₁	56,2	17,8	10,07	8,86	115,6	98,3	114,4	113,2
E72119	ЦЧС37 × Б3 76/2 b ₁	58,8	17,6	10,36	8,97	121,0	97,2	117,7	114,6
E72121	ЦЧС42 × Б31729/25 b ₁	57,5	17,8	10,23	8,96	118,3	98,3	116,3	114,4
E72124	ЦЧС48 × Б31705/19 b ₁	58,6	17,7	10,38	9,04	120,6	97,8	118,0	115,5
E72144	ЦЧС51 × Б351997/12 b ₁	57,3	17,6	10,08	8,73	117,9	97,2	114,5	111,5
E72146	ЦЧС54 × Б376/11 b ₁	56,8	17,8	10,12	8,86	116,9	98,3	115,0	113,2
E72147	ЦЧС67 × Б31729/21 b ₁	56,0	18,0	10,09	8,94	115,2	99,4	114,7	114,2
E72156	ЦЧС69 × Б351997/12 b ₁	59,3	17,7	10,38	8,96	122,0	97,8	118,0	114,4
E72158	ЦЧС76 × Б3 33/14 b ₁	59,4	17,5	10,40	8,96	122,2	96,7	118,2	114,4
E72160	ЦЧС79 × Б3 33/17 b ₁	59,0	17,8	10,51	9,20	121,4	98,3	119,4	117,5
E72161	ЦЧС83 × Б3 76/11 b ₁	57,3	17,6	10,08	8,73	117,9	97,2	114,5	111,5
E72166	ЦЧС89 × Б3 51997/12 b ₁	58,5	17,5	10,25	8,83	120,4	96,7	116,5	112,8
E72169	ЦЧС96 × Б3 33/14 b ₁	59,7	17,5	10,45	9,02	122,8	96,7	118,8	115,2
\bar{x}		58,1	17,7	10,34	8,99	119,3	97,7	116,5	114,0
St груповий		48,6	18,1	8,80	7,83	–	–	–	–
НІР _{0,05}		3,49	0,35	0,52	0,54	–	–	–	–

Уміст цукрів у коренеплодах у них був на рівні групового стандарту. Зростання врожайності коренеплодів і збору цукру в експериментальних гібридів буряків цукрових обумовлено насамперед гібридизаційним потенціалом батьківських компонентів та зміною форми їх коренеплоду з конічної на овально-конічну. Поліпшення технологічної якості цукросировини є результатом двох циклів бекросних схрещувань на підвищення вмісту цукрів у коренеплодах багаторосткових запилювачів, поліпшених за формою коренеплоду.

У процесі досліджень встановлено, збільшення вмісту цукрів у коренеплодах гібридів, сформованих на основі багаторосткових запилювачів другого покоління бекросу (BC₂), в середньому до 18,3%, порівняно з гібридами за використання багаторосткових запилювачів першого покоління бекросу (BC₁) з умістом цукрів 17,7%. Також, завдяки зміні форми коренеплоду з конічної на овально-конічну, значно зросла врожайність коренеплодів вищевказаних гібридів порівняно з гібридами, створеними за використання вихідних багаторосткових запилювачів.

Таблиця 4

Продуктивність експериментальних гібридів буряків цукрових на ЦЧС основі, створених за використання багаторосткових запилювачів другого покоління бекросу (BC_2) (2019–2021 рр.)

Селекційний номер	Комбінація схрещування	Урожайність, т/га	Уміст цукрів, %	Збір цукру, т/га	Вихід цукру, т/га	Показники до групового стандарту, %			
						урожайність	уміст цукрів	збір цукру	вихід цукру
E72205	ЦЧС4 × Б31729/21b ₂	57,1	18,2	10,39	9,26	117,5	100,6	118,1	118,3
E72217	ЦЧС32 × Б333/9 b ₂	55,4	18,6	10,30	9,29	114,0	102,8	117,0	118,6
E72224	ЦЧС37 × Б3 76/2 b ₂	58,0	18,2	10,56	9,40	119,3	100,6	120,0	120,1
E72229	ЦЧС42 × Б31729/25 b ₂	57,9	18,3	10,60	9,47	119,1	101,1	120,5	120,9
E72241	ЦЧС48 × Б31705/19 b ₂	58,9	18,4	10,84	9,70	121,2	101,7	123,2	123,9
E72253	ЦЧС51 × Б351997/12 b ₂	57,7	18,3	10,56	9,43	118,7	101,1	120,0	120,4
E72260	ЦЧС54 × Б376/11 b ₂	57,2	18,5	10,58	9,50	117,7	102,2	120,2	121,3
E72274	ЦЧС67 × Б31729/21 b ₂	56,7	18,4	10,43	9,33	116,7	101,7	118,5	119,2
E72277	ЦЧС69 × Б351997/12 b ₂	58,9	18,2	10,72	9,54	121,2	100,6	121,8	121,8
E72286	ЦЧС76 × Б3 33/14 b ₂	57,9	18,0	10,42	9,24	119,1	99,4	118,4	118,0
E72297	ЦЧС79 × Б3 33/17 b ₂	58,9	18,4	10,84	9,70	121,2	101,7	123,2	123,9
E72299	ЦЧС83 × Б3 76/11 b ₂	57,7	18,0	10,39	9,21	118,7	99,4	118,1	117,6
E72307	ЦЧС89 × Б3 51997/12 b ₂	58,7	18,1	10,62	9,44	120,8	100,0	120,7	120,6
E72318	ЦЧС96 × Б3 33/14 b ₂	57,8	18,1	10,46	9,29	118,9	100,0	118,9	118,6
\bar{x}		57,8	18,3	10,55	9,41	118,9	100,9	119,9	120,2
St груповий		48,6	18,1	8,80	7,83	–	–	–	–
HIP _{0,05}		3,44	0,37	0,49	0,48	–	–	–	–

чів з конічною формою коренеплоду. Унаслідок цього збільшилися й показники збору цукру у відповідних гібридів буряків цукрових. Загалом, багаторосткові запилювачі першого (BC_1) і другого (BC_2) поколінь бекросу та гібриди буряків цукрових, створені за їх участі, характеризуються врожайним напрямом (E) продуктивності.

Загальну тенденцію зміни елементів продуктивності експериментальних гібридів буряків цукрових, створених за використання поліпшених за формою коренеплоду багаторосткових запилювачів першого і другого поколінь бекросу (BC_1 , BC_2) та вихідних популяцій, показано на рисунку 1.

За результатами оцінювання продуктивності 252 експериментальних гібридів буряків цукрових, сформованих на основі різних батьківських компонентів, встановлено підвищення збору й виходу цукру з одиниці площі у гібридів буряків цукрових на ЦЧС основі, сформованих за використання багаторосткових запилювачів з поліпшеною формою коренеплоду (овально-конічною).

Гібриди, створені на основі запилювачів BC_1 (ЦЧС × BC_1), перевищували груповий стандарт за збором і виходом цукру на 16,5 і 14,0% відповідно. Гібриди, отримані з використанням запилювачів BC_2 (ЦЧС × BC_2), –

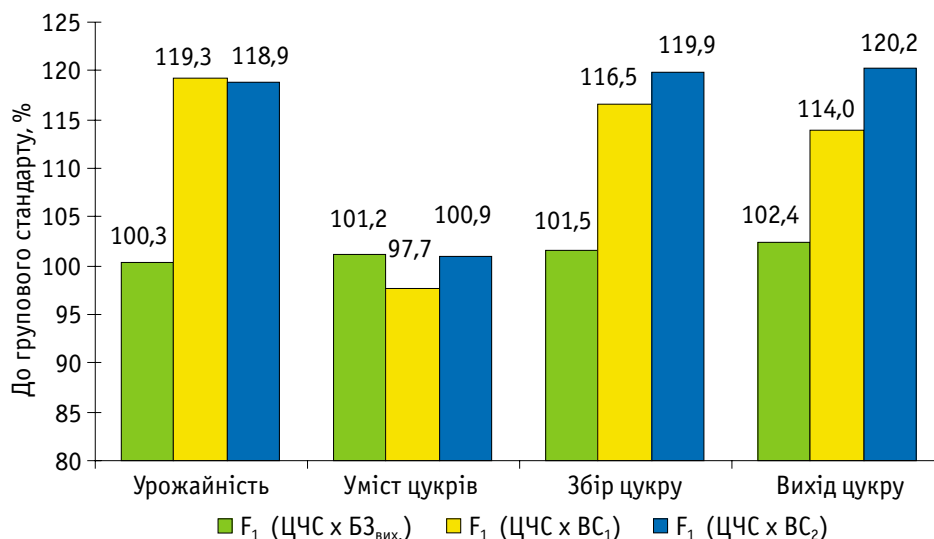


Рис. 1. Динаміка продуктивності гібридів буряків цукрових, створених на основі запилювачів з поліпшеною формою коренеплоду (BC_1 , BC_2) та вихідних популяцій (середнє за 2019–2021 рр.)

на 19,9 і 20,2% відповідно. Також, у гібридів ЦЧС × ВС₂ вміст цукрів у коренеплодах підвищився до рівня групового стандарту. Гібриди, отримані за використання як запилювачів вихідних багаторосткових популяцій, мали показники збору і виходу цук-

ру з одиниці площі на рівні групового стандарту.

Вихідні багаторосткові популяції (БЗ вих.) характеризувалися конічною формою коренеплоду (індекс форми – 0,66) і повним заглибленням його в ґрунт (табл. 5).

Таблиця 5

Середні значення біометричних показників форми коренеплоду батьківських компонентів та експериментальних гібридів буряків цукрових (2019–2021 рр.)

Селекційний матеріал	L	D	d	B	К	Індекс форми коренеплоду (Ф)	Форма коренеплоду	Ступінь заглиблення коренеплоду в ґрунт
	см							
БЗ _{вих.}	21,7	8,3	1,0	3,1	0,56	0,66	конічна	заглибл.
ВС ₁	27,5	11,1	1,0	4,5	0,69	1,25	овально конічна	3/4
ВС ₂	24,4	9,1	1,0	4,3	0,71	1,14	овально конічна	3/4
F ₁ (ЦЧС × БЗ _{вих.})	23,6	8,5	1,0	3,2	0,61	0,70	конічна	заглибл.
F ₁ (ЦЧС × ВС ₁)	28,0	11,5	1,0	4,4	0,73	1,32	овально конічна	3/4
F ₁ (ЦЧС × ВС ₂)	27,8	11,8	1,0	4,2	0,72	1,28	овально конічна	3/4
НІР _{0,05}	0,7	0,3	–	0,3	–	–	–	–

Примітка. L – довжина коренеплоду, D – максимальний діаметр, d – діаметр у хвостовій частині, B – відстань від площини максимального діаметра до вершини головки, К – коефіцієнт маси коренеплоду.

Гібридам буряків цукрових, сформованим на базі вихідних популяцій, також були притаманні конічна форма коренеплоду [індекс форми (Ф) – 0,70] та повне заглиблення в ґрунт. У багаторосткових запилювачів першого (ВС₁) та другого покоління бекросу (ВС₂), поліпшених селекційно-генетичними методами за формою коренеплоду (овально-конічна), індекс форми (Ф) становив 1,25 та 1,14 відповідно. Їх коренеплоди заглиблені в ґрунт на 3/4 довжини. Аналіз параметрів форми коренеплоду гібридів, сформованих на основі цих матеріалів свідчить, що всі вони характеризуються овально-конічною формою. Показники індексу форми коренеплоду в них становили 1,32 та 1,28 відповідно. Коренеплоди цих гібридів були заглиблені в ґрунт на 3/4 довжини, мали гладеньку поверхню і мілкі кореневі борізки (ортостиhi). Середній показник індексу форми коренеплоду за трьома стандартами становив 0,61.

Ці факти свідчать про широкі можливості підвищення продуктивного потенціалу буряків цукрових завдяки широкому впровадженню в селекційний процес різноманіття рослин виду *Beta vulgaris* L., як донорів цінних селекційно-генетичних ознак.

Установлено, що гібриди з конічною формою коренеплоду мають значно нижчі показники продуктивності, ніж з овально-конічною. Загалом, усе це підтверджує нашу гіпотезу, що зміна форми коренеплоду з конічної на овально-конічну є вагомим чинником підвищення продуктивного потенціалу буряків цукрових.

За результатами досліджень створено 14 конкурентоздатних гібридів буряків цукрових на ЦЧС основі з овально-конічною формою коренеплоду, частковим виступанням їх над поверхнею ґрунту, гладенькою поверхнею і мілкою кореневою борізкою (ортостиhiю), які характеризуються підвищеним рівнем продуктивності, придатні для енерго- та екологоощадних технологій вирощування.

Висновки

Установлено, що форма коренеплоду є важливим чинником поліпшення продуктивного потенціалу буряків цукрових у селекції на гетерозис. Зміна форми коренеплоду з конічної на овально-конічну призводить до підвищення продуктивності багаторосткових запилювачів буряків цукрових на 8–19%, а гібридів, створених за їх участі, – на 17–23%.

Використана література

1. Роїк М. В., Корнеєва М. О. Напрями, методи та стратегія розвитку селекції цукрових буряків. *Цукрові буряки*. 2015. № 6. С. 7–9.
2. De Lucchi C., Biancardi E., Skaracis G. et al. Sugar Beet (*Beta vulgaris* ssp. *vulgaris* L.) Improvement with Next Generation Breeding Technology. *Advances in Plant Breeding Strategies: Vegetable Crops* / J. M. Al Khayri, S. M. Jain, D. V. Johnson (Eds.). Cham : Springer, 2021. P. 305–343. doi: 10.1007/978 3 030 66965 2_8
3. Řezbová H., Belová, A., Škubna, O. Sugar beet production in the European Union and their future trends. *Agric on line Papers in Economics and Informatics*. 2013. Vol. 5. Iss. 4. P. 165–178. doi: 10.22004/ag.econ.162299
4. Adhikari P., Araya H., Aruna G. et al. System of crop intensification for more productive, resource conserving, climate resilient, and sustainable agriculture: experience with diverse

- crops in varying agroecologies. *International Journal of Agricultural Sustainability*. 2018. Vol. 16, Iss. 1. P. 1–28. doi: 10.1080/14735903.2017.1402504
5. Роїк М. В., Сінченко В. М. Біоадаптивна ресурсозберігаюча технологія вирощування цукрових буряків. Вінниця : Нілан LTD, 2015. С. 29–31.
 6. Роїк М. В., Присяжнюк О. І., Кононюк Н. О., Кулик О. Г. Особливості формування продуктивності гібридів буряків цукрових вітчизняної селекції. *Plant Varieties Studying and Protection*. 2020. Т. 16, № 3. С. 277–283. doi: 10.21498/25181017.16.3.2020.214929
 7. Labroo M. R., Studer A. J., Rutkoski J. E. Heterosis and Hybrid Crop Breeding: A Multidisciplinary Review. *Frontiers in Genetics*. 2021. Vol. 12. Article 643761. doi: 10.3389/fgene.2021.643761
 8. Korneeva M. O., Nenka M. M. Variability of Combining Abilities of MS (Male Sterility) Lines and Sterility Binders of Sugar Beets as to Sugar Content. *Chemical and Biochemical Technology: Materials, Processing and Reliability* / S. D. Varfolomeev (Ed.). Toronto–New Jersey : Apple Academic Press, 2014. P. 321–332.
 9. Чернуський В. В., Гументик М. Я. Інноваційні принципи добору цінних генотипів системі конкурсного сортовипробування. *Agrology*. 2020. Т. 3, № 4. С. 219–224. doi: 10.32819/020026
 10. Fasahat P., Rajabi A., Rad J. M. et al. Principles and utilization of combining ability in plant breeding. *Biometrics & Biostatistics International Journal*. 2016. Vol. 4, Iss. 1. P. 1–22. doi: 10.15406/bbij.2016.04.00085
 11. Дубчак О. В., Андреева Л. С., Вакулєнко П. І., Паламарчук Л. Ю. Створення гібридів цукрових буряків нового покоління. *Агробіологія*. 2021. № 1. С. 32–40. doi: 10.33245/23109270.2021.163.1.32.40
 12. Роїк М. В., Парфенюк О. О. Використання рекомбінантних матеріалів у селекції батьківських компонентів гібридів буряків цукрових за формою коренеплоду. *Вісник аграрної науки*. 2018. № 12. С. 52–58. doi: 10.31073/agrovisnyk201812.07
 13. Lubova T. N., Islamgulov D. R., Ismagilov K. R. et al. Economic Efficiency of Sugar Beet Production. *Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2018. Vol. 13, Iss. 8. P. 6565–6569. doi: 10.36478/jeasci.2018.6565.6569
 14. Panagos P., Borrelli P., Poesen J. Soil loss due to crop harvesting in the European Union: A first estimation of an underrated geomorphic process. *Science of The Total Environment*. 2019. Vol. 664. P. 487–498. doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.02.009
 15. Tuğrul K. M., İçöz E., Perendeci N. A. Determination of soil loss by sugar beet harvesting. *Soil and Tillage Research*. 2012. Vol. 123, Iss. 4. P. 71–77. doi: 10.1016/j.still.2012.03.012
 16. Galewski P., McGrath J. M. Genetic diversity among cultivated beets (*Beta vulgaris*) assessed via population based whole genome sequences. *BMC Genomics*. 2020. Vol. 21, Iss. 1. Article 189. doi: 10.1186/s12864-020-6451-1
 17. Frese L., Desprez B., Ziegler D. Potential of genetic resources and breeding strategies for base broadening in *Beta*. *Broadening the genetic base of crop production* / H. D Cooper, C. Spillane, T. Hodgkin (Eds.). Wallingford, UK : Cabi Publing, 2001. P. 295–309. doi: 10.1079/9780851994116.0295
 18. Stevanato P., Chiodi C., Broccanello C. et al. Sustainability of the sugar beet crop. *Sugar Tech*. 2019. Vol. 21. P. 703–716. doi: 10.1007/s12355-019-00734-9
 19. Перетятко В. Г., Боршківський І. М. Селекція на удосконалення форми і розмірів коренеплодів. *Цукрові буряки*. 2002. № 3. С. 16–21.
 20. Hoffmann C. M., Kenter C. Yield Potential of Sugar Beet – Have We Hit the Ceiling? *Frontiers in Plant Science*. 2018. Vol. 9. Article 289. doi: 10.3389/fpls.2018.00289
 21. Роїк М. В., Корнеєва М. О. Форма коренеплодів як важлива еколого селекційна ознака цукрових буряків. *Підвищення ефективності бурякового виробництва та проблеми екології і відходів*. Київ, 1994. С. 33–34.
 22. Hoffmann C. M. Changes in root morphology with yield level of sugar beet. *Sugar Industry*. 2017. Vol. 142, Iss. 7. P. 420–425. doi: 10.36961/si18549
 23. Tsialtas J. T., Maslaris N. Sugar beet root shape and its relation with yield and quality. *Sugar Tech*. 2010. Vol. 12, Iss. 1. P. 47–52. doi: 10.1007/s12355-010-0009-5
 24. Hassani M., Heidari B., Dadkhodaie A., Stevanato P. Genotype by environment interaction components underlying variations in root, sugar, and white sugar yield in sugar beet (*Beta vulgaris* L.). *Euphytica*. 2018. Vol. 214, Iss. 4. Article 79. doi: 10.1007/s10681-018-2160-0
 25. McGrath J. M., Panella L. Sugar Beet Breeding. *Plant Breeding Reviews* / I. Goldman (Ed.). Hoboken, NJ : John Wiley & Sons, 2018. Vol. 42. P. 167–218. doi: 10.1002/9781119521358.ch5
 26. Методики проведення досліджень у буряківництві / за ред. М. В. Роїка, Н. Г. Гізбуліна. Київ : ФОРМ Корзун Д. Ю., 2014. С. 24–345.
 27. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). 5-е изд., доп. и перераб. Москва : Агропромиздат, 1985. 351 с.

References

1. Roik, M. V., & Kornieieva, M. O. (2015). Directions, methods and strategy of development of sugar beet selection. *Sugar Beet*, 6, 7–9. [In Ukrainian]
2. De Lucchi, C., Biancardi, E., Skaracis, G., De Biaggi, M., Pavli, O., Ravi, S., & Stevanato, P. (2021). Sugar Beet (*Beta vulgaris* ssp. *vulgaris* L.) Improvement with Next Generation Breeding Technology. In J. M. Al Khayri, S. M. Jain, & D. V. Johnson (Eds.), *Advances in Plant Breeding Strategies: Vegetable Crops*. (pp. 305–343). Cham: Springer. doi:10.1007/978-3-030-66965-2_8
3. Řezbová H., Belová, A., Škubna, O. (2013). Sugar beet production in the European Union and their future trends. *Agris on line Papers in Economics and Informatics*, 5(4), 165–178. doi: 10.22004/ag.econ.162299
4. Adhikari, P., Araya, H., Aruna, G., Balamatti, A., Banerjee, S., Baskaran, P., & Verma, A. (2018). System of crop intensification for more productive, resource conserving, climate resilient, and sustainable agriculture: experience with diverse crops in varying agroecologies. *International journal of agricultural sustainability*, 16(1), 1–28. doi: 10.1080/14735903.2017.1402504
5. Roik, M. V., & Sinchenko, V. M. (2015). *Bioadaptivna resursoosh chadna tekhnolohiia vyroshchuvannia tsukrovykh buriakiv* [Bioadaptive resource saving technology of sugar beet cultivation] (pp. 29–31). Vinnytsia: Nilan LTD [In Ukrainian]
6. Roik, M. V., Prysiashniuk, O. I., Kononiuk, N. O., & Kulik, O. H. (2020). Features of formation of productivity of sugar beets hybrids of domestic breeding. *Plant Varieties Studying and Protection*, 16(3), 277–283. doi: 10.21498/25181017.16.3.2020.214929 [in Ukrainian]
7. Labroo, M. R., Studer, A. J., & Rutkoski, J. E. (2021). Heterosis and Hybrid Crop Breeding: A Multidisciplinary Review. *Frontiers in Genetics*, 12, Article 643761. doi: 10.3389/fgene.2021.643761
8. Korneeva, M. O., & Nenka, M. M. (2014). Variability of Combining Abilities of MS (Male Sterility) Lines and Sterility Binders of Sugar Beets as to Sugar Content. In S. D. Varfolomeev (Ed.), *Chemical and Biochemical Technology Materials, Processing and Reliability* (pp. 321–332). Toronto–New Jersey: Apple Academic Press.
9. Chernysky, V., & Gumentyk, M. (2020). Innovative principles of selection of valuable genotypes in the system of competitive strain testing. *Agrology*, 3(4), 219–224. doi: 10.32819/020026
10. Fasahat, P., Rajabi, A., Rad, J. M., & Derera, J. (2016). Principles and utilization of combining ability in plant breeding. *Biometrics & Biostatistics International Journal*, 4(1), 1–22. doi: 10.15406/bbij.2016.04.00085
11. Dubchak, O., Andreyeva, L., Vakulenko, P., & Palamarchuk, L. (2021). Creation of new generation sugar beet hybrids. *Agrobiology*, 1, 32–40. doi: 10.33245/23109270.2021.163.1.32.40 [In Ukrainian]

12. Roik, M. V., & Parfeniuk, O. O. (2018). Use of recombinant materials in selection of parent components of sugar beet hybrids in the root shape. *Bulletin of Agricultural Science*, 12, 52–58. doi: 10.31073/agrovisnyk201812_07 [In Ukrainian]
13. Lubova, T. N., Islamgulov, D. R., Ismagilov, K. R., Ismagilov, R. R., Mukhametshin, A. M., Alimgafarov, R. R., ... Lebedeva, O. Yu. (2018). Economic Efficiency of Sugar Beet Production. *Journal of Engineering and Applied Sciences*, 13(8), 6565–6569. doi: 10.36478/jeasci.2018.6565.6569
14. Panagos, P., Borrelli, P., & Poesen, J. (2019). Soil loss due to crop harvesting in the European Union: A first estimation of an underrated geomorphic process. *Science of The Total Environment*, 664, 487–498. doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.02.009
15. Tuğrul K. M., İçöz, E., & Perendeci, N. A. (2012). Determination of soil loss by sugar beet harvesting. *Soil and Tillage Research*, 123(4), 71–77. doi: 10.1016/j.still.2012.03.012
16. Galewski, P., & McGrath, J. M. (2020). Genetic diversity among cultivated beets (*Beta vulgaris*) assessed via population based whole genome sequences. *BMC Genomics*, 21, Article 189. doi: 10.1186/s12864-020-6451-1
17. Frese, L., Desprez, B., & Ziegler, D. (2001). Potential of genetic resources and breeding strategies for base broadening in Beta. In H. D. Cooper, C. Spillane, & T. Hodgkin (Eds.), *Broadening the genetic base of crop production* (pp. 295–309). Wallingford, UK: Cabi Publishing. doi: 10.1079/9780851994116.0295
18. Stevanato, P., Chiodi, C., Broccanello, C., Concheri, G., Biancardi, E., Pavli, O., & Skaracis, G. (2019). Sustainability of the sugar beet crop. *Sugar Tech*, 21, 703–716. doi: 10.1007/s.12355-019-00734-9
19. Peretiakko, V. G., & Borshkivskiy, I. M. (2002). Selection to improve the shape and size of roots. *Sugar Beets*, 3, 16–21. [In Ukrainian]
20. Hoffmann, C. M., & Kenter, C. (2018). Yield Potential of Sugar Beet – Have We Hit the Ceiling? *Frontiers in Plant Science*, 9, Article 289. doi: 10.3389/fpls.2018.00289
21. Roik, M. V., & Kornieieva, M. O. (1994). The shape of roots as an important ecological and selection feature of sugar beets. *Pid vyshchennia efektyvnosti buriakovoho vyrobnytstva ta problemy ekolohii i vidkhodiv* [Increasing the efficiency of beet production and problems of ecology and waste] (pp. 33–34). Kyiv: N.p. [In Ukrainian]
22. Hoffmann, C. M. (2017). Changes in root morphology with yield level of sugar beet. *Sugar Industry*, 142(7), 420–425. doi: 10.36961/si18549
23. Tsialtas, J. T., & Maslaris, N. (2010). Sugar beet root shape and its relation with yield and quality. *Sugar Tech*, 12(1), 47–52. doi: 10.1007/s12355-010-0009-5
24. Hassani, M., Heidari, B., Dadkhodaie, A., & Stevanato, P. (2018). Genotype by environment interaction components underlying variations in root, sugar, and white sugar yield in sugar beet (*Beta vulgaris* L.). *Euphytica*, 214(4), Article 79. doi: 10.1007/s10681-018-2160-0
25. McGrath, J. M., & Panella, L. (2018). Sugar Beet Breeding. In I. Goldman (Ed.), *Plant Breeding Reviews* (Vol. 42, pp. 167–218). Hoboken, NJ: John Wiley & Sons. doi: 10.1002/9781119521358.ch5
26. Roik, M. V., & Hizbullin, N. G. (Eds.). (2014). *Metodyky provedenia doslidzhen u buriakivnytstvi* [Methods of research in beet growing] (pp. 24–345). Kyiv: FOP Korzun D. Yu. [In Ukrainian]
27. Dospikhov, B. A. (1985). *Metodika polevogo opyta (s osnova mi statisticheskoy obrabotki rezul'tatov issledovaniy)* [Methods of field experiment (with the basics of statistical processing of research results)] (5th ed., rev. and enl.). Moscow: Agropromizdat. [In Russian]

UDC 633.63:631.527

Parfeniuk, O. O.*, & **Trush, S. H.** (2022). Breeding of highly productive sugar beet hybrids with improved beet root shape. *Varieties Studying and Protection*, 18(2), 118–126. https://doi.org/10.21498/2518_1017.18.2.2022.265179

*Tobacco Research Station of the National Research Center "Institute of Agriculture of the National Academy of Agricultural Sciences", 4 Internationalna St., Uman, Cherkasy region, 20300, Ukraine, *e mail: oksana_parfenyuk@ukr.net*

Purpose. Isolation of donors of valuable breeding and genetic traits and the creation of a new source material for the selection of parental components of sugar beet hybrids according to the shape of the root. Evaluation of the productive potential of experimental sugar beet hybrids with improved root shape parameters. **Methods.** Field (experiments, phenological observations), laboratory (determination of sugar content), measuring and weighing (determination of crop structure), statistical (mathematical processing of research results). **Results.** The results of the evaluation of the basic productivity of parental components of different genetic structure and productivity of experimental sugar beet hybrids with improved root shape are presented. An increase in the yield of root crops, sugar yield and sugar output per unit area in sugar beet hybrids on a cytoplasmic male sterile (CMS) basis, created using multigerm pollinators with an improved root crop shape (oval conical), has been established. Experimental hybrids formed on the basis of first generation of multigerm pollinators of backcross (BC₁) prevailed the group standard in root crop yield by 15.2–22.8%, sugar yield and sugar output by 14.4–19.4%

and 11.5–17.5%, respectively. The sugar content was low or at the level of the group standard. Similar indicators of hybrids formed on the basis of pollinators of the second generation of backcross (BC₂) were 14.0–21.2%, 17.0–23.2% and 17.6–23.9%, respectively. The sugar content was at the level of the group standard. Root shape in dex indicators were 1.32 and 1.28, respectively. The hybrids formed using the initial multigerm pollinators were characterized by a conical root shape (shape index – 0.61). According to indicators of yield, sugar yield and sugar output per unit area, they were at the level of the group standard. **Conclusions.** It was established that the shape of the root crop is an important factor in improving the productive potential of sugar beets in selection for heterosis. The change in the shape of the root crop from conical to oval conical leads to an increase in the productivity of multigerm pollinators of sugar beets by 8–19% and hybrids created with their participation by 17–23%.

Keywords: source material; multigerm pollinator; heterosis; shape index; yield of root crops; sugar content; sugar yield; sugar output.

*Надійшла / Received 10.06.2022
Погоджено до друку / Accepted 25.06.2022*

Урожайність та борошномельні властивості сортів пшениці м'якої ярої залежно від умов вирощування

Н. В. Василенко*, І. В. Правдзіва

Миронівський інститут пшениці імені В. М. Ремесла НААН України, с. Центральне, Обухівський р н, Київська обл., 08853, Україна, *e mail: vasylenkonv147@gmail.com

Мета. Визначити вплив різних умов зовнішнього середовища на врожайність та борошномельні властивості нових миронівських сортів пшениці м'якої ярої. **Методи.** Упродовж 2017–2019 рр. в умовах Миронівського інституту пшениці імені В. М. Ремесла НААН досліджували 12 сортів пшениці м'якої ярої. Показники якості зерна і борошна визначали згідно із загальноприйнятими методиками. **Результати.** Виявлено, що більш сприятливим для реалізації потенціалу врожайності сортів пшениці ярої був 2019 р., однак умови цього року негативно вплинули на показники якості. За перевищенням на 30–40% сорту стандарту 'Елегія миронівська' за врожайністю виділено сорти 'Божена' (4,23 т/га), 'Оksamит миронівський' (4,28 т/га), 'МІП Світлана' (4,31 т/га) і 'Дубравка' (4,62 т/га). Сорти 'Сімкода миронівська', 'МІП Злата', 'Божена', 'МІП Візерунок', 'МІП Олександра' виокремлено за поєднанням високих фізичних показників якості зерна. З комплексом кращих показників якості борошна виявлено сорти 'Сімкода миронівська', 'Оksamит миронівський', 'Панянка'. Визначено найстабільніші сорти за врожайністю – 'Сімкода миронівська', 'МІП Злата', 'Божена', 'Оksamит миронівський', 'МІП Світлана', 'МІП Олександра'. За показниками якості, зокрема масою 1000 зерен, – сорти 'Сімкода миронівська', 'МІП Візерунок'; за склоподібністю зерна – високі показники були у більшості сортів, крім 'Елегія миронівська', 'Сімкода миронівська' та 'МІП Олександра'; за натурою зерна та виходом борошна всі сорти мали високі показники; за масовою часткою білка виділявся сорт 'Оksamит миронівський'; за масовою часткою клейковини – сорти 'Дубравка' й 'МІП Олександра'. Дисперсійним аналізом встановлено, що від умов середовища найбільше залежали такі показники, як маса 1000 зерен (частка впливу – 83,7%), уміст білка (76,7%), показник седиментації (66,7%), вихід борошна (52,6%), індекс деформації клейковини (46,0%) та вміст клейковини (42,6%); від взаємодії чинників рік × сорт – урожайність (52,3%), склоподібність (50,5%) і натура зерна (36,5%). Виявлено достовірний вплив сорту на врожайність (34,9%) та всі досліджувані показники якості (5,1–35,1%). **Висновки.** Визначені вище сорти доцільно використовувати як джерела певних ознак для створення нових урожайних та якісних сортів за різними напрямками використання.

Ключові слова: *Triticum aestivum* L.; погодні умови; фізичні показники якості зерна; показники якості борошна; коефіцієнт варіації; ANOVA.

Вступ

Одним із головних завдань сільськогосподарської науки й виробництва є зростання виробництва зерна, що відповідає вимогам міжнародних стандартів [1, 2]. Відтак, питання високих урожаїв та якості зерна пшениці є позачерговим завданням, виконанню якого приділяється значна увага. Задля вирішення проблеми підвищення якості зерна пшениці важливо виявити закономірності

формування ознак якості за різних середовищних умов її вирощування [3, 4]. Такі дослідження ускладнюються тим, що ознаки якості належать до категорії кількісних, які проявляють постійну мінливість під впливом багатьох генів і факторів середовища [5, 6].

Одним із основних зовнішніх чинників, що впливають на ріст і розвиток рослин впродовж вегетації пшениці, є клімат, який кардинально змінюється на всій земній кулі. Спостерігається підвищення температури повітря і зменшення кількості опадів, що сприяє виникненню посухи та суховіїв, а це приводить до зниження врожайності продовольчої пшениці [7]. Тому для збільшення виробництва зернової продукції та

Nadiia Vasylenko
http://orcid.org/0000_0002_4326_6613

Iryna Pravdziva
http://orcid.org/0000_0002_0808_1584

поліпшення її якості важливо знати, як впливають кліматичні умови на фізіологічні та хімічні процеси у рослин. Добре відомо, що в посушливі роки масова частка білка збільшується, у дощові – зменшується. Тобто, чим вищий температурний режим, тим більша масова частка білка, і навпаки, за м'якшого і прохолоднішого клімату вміст білка зменшується. Відомо [8, 9], що впродовж вегетації пшениці формується врожайність, а за наливу та дозрівання зерна – його якість, і значна роль у цьому належить генотипу сорту в поєднанні з комплексом ґрунтово-кліматичних умов та агротехнологічних заходів. Оптимальна температура повітря особливо важлива в період формування зерна [10]. У цей час визначається високий кореляційний зв'язок температури з фізичними властивостями зерна [11]. На виповненість зерна пшениці в період його наливу негативно впливає затяжна спекотна погода, що призводить до зниження показників товарної якості зерна, від яких залежать і борошномельні властивості.

Основним сировинним продуктом зерна пшениці є борошно. Борошномельні властивості пшениці характеризуються рядом фізичних показників якості, основним з яких є маса 1000 зерен, склоподібність, натура зерна, вихід і вологість борошна, показник седиментації, вміст білка й клейковини, її якість та ін. Вважається, що із зерна більшої маси можна отримати вищий вихід борошна. Між масою 1000 зерен та вмістом білка й клейковини встановлена кореляційна залежність [12]. Також існує помірна, але обернена залежність між часткою білка і масою 1000 зерен. Щупле зерно має вищий вміст білкових речовин, котрі сконцентровані в периферичних частинах зернівки і при розмелі відходять у висівки, що веде до погіршення харчової якості зерна. Дрібні зерна з масою 1000 зерен менше ніж 32–34 г мають підвищений вміст сирової клейковини [11, 12].

Кількісне (маса 1 л, г/л) вираження виповненості та однорідності зерна визначає його натуру. Чим краще виповнене зерно, тим вища його натура. При розмелі з високонатурного зерна можна отримати більше борошна, ніж із зерна за низької натури, з більшим вмістом оболонки. Тому натура є одним із борошномельних показників зерна. Крупне зерно одного й того ж об'єму має більшу вагу порівняно з щуплим, недозрілим зерном. Знижений рівень натури може вказувати на невисоку врожайність зерна та погіршення хлібопекарських властивостей [12].

Цінним борошномельним показником є склоподібність. Зерно з високою склоподібністю забезпечує одержання крупки при подрібненні, яку легко відокремити від менш цінних часточок зернівки, що необхідно для одержання хлібопекарського борошна. Склоподібність і консистенція в період формування та досягання зерна прямо залежать від вмісту білка. За зростання склоподібності зерна відмічено вищий вміст білка, клейковини і ліпші технологічні властивості та хлібопекарські якості [13].

Одним із основних показників борошномельних властивостей зернових культур є вихід борошна, який залежить від процесу розмелу та безпосередньо від сортових особливостей досліджуваного матеріалу, що впливає на його кількість та якість [12].

Вміст білка в борошні пшениці є однією зі складових ознак її якості. Тому важливим є отримання високого врожаю з підвищеним вмістом білка. Відомо, що на фоні посухи і загального зниження врожайності, вагомий вплив на білковість зерна мають екологічні чинники, відтак масова частка білка підвищується [11–13]. Накопичення білка в зерні проходить унаслідок використання двох джерел азоту – використання азоту, котрий накопичується у вегетативних органах рослини до фази цвітіння (реутилізація), та поглинання азоту з ґрунту в період наливу та дозрівання [12, 14]. За низьких температур та високої забезпеченості рослин азотом у період наливу в зерні збільшується вміст вільних амінокислот, що негативно впливає на його білковість [15]. Між урожайністю та вмістом білка в зерні наявна чітка зворотна фізіологічна залежність. Високобілкове зерно формується лише за умови необхідної концентрації доступного для рослини азоту в ґрунті. Відома закономірність: чим вищий вміст білка в зерні, тим вищою буде якість борошна [16, 17]. Зниження температурного режиму в поєднанні з підвищеною кількістю опадів зменшує як кількість, так і якість білкових речовин, при цьому застосування азотного живлення знижує негативний вплив таких умов [12, 14].

На ранніх етапах селекції особливу увагу звертають на вивчення таких ознак, як показник седиментації, вміст і якість клейковини [18]. Ознаки якості дуже мінливі, і ступінь їх детермінації теж різна. М. М. Гордній та О. І. Рибалка зі співавторами [12, 19] вказують на чітку залежність індексу Зелені (показника седиментації) від вмісту білка і доцільність контролювати цей показник та вести на нього селекцію. Водночас Н. М. Притула та ін. [20] роблять висновок,

що взаємодія чинників «генотип–середовище» сильніше проявляються за ознаками вмісту білка й клейковини і меншою мірою за якістю клейковини та індексом Зелені. Вологозабезпечення сприяє підвищенню взаємодії «генотип–середовище», очевидно через механізм негативного зв'язку між продуктивністю рослин і якістю зерна. У вологі роки підвищується гідратація клейковини, що супроводжується збільшенням її розтяжності і зменшенням пружності [19].

Якість клейковини впливає на об'ємний вихід хліба та його органолептичні властивості. Доброю якістю вважається тоді, коли індекс деформації клейковини (ІДК) становить 45–75 одиниць при вимірюванні на приладі ВДК-1 (вимірювач деформації клейковини). Пружність клейковини зумовлюється сукупністю багатьох факторів (умови вирощування, досягання, збирання, післязбиральної доробки та зберігання) [21]. У проблемі підвищення якості пшениці важливо виявити закономірності формування окремих технологічних показників у різних умовах і цілеспрямовано їх використовувати.

Мета досліджень – з використанням дисперсійного аналізу визначити залежність урожайності та борошномельних властивостей нових миронівських сортів пшениці м'якої ярої від умов середовища.

Матеріали та методика досліджень

Упродовж 2017–2019 рр. визначали врожайність та показники якості зерна (масу 1000 зерен, натуру, склоподібність) і борошна (вихід, седиментацію; масову частку білка й клейковини та її якість), котрі визначали у лабораторії якості зерна Миронівського інституту пшениці імені В. М. Ремесла НААН (МІП), відповідно до загальноприйнятих методик [21–23]. Зерно пшениці ярої розмелювали на млині МЛУ-202 Бюлер; натуру зерна визначали у двох повтореннях, використовуючи пурку літрову з падаючим вантажем ПХ-1; склоподібність – за допомогою діафаноскопа ДПП-253; вміст білка – за допомогою інфрачервоного аналізатора СПЕКТРАН 119-М; масову частку сирої клейковини – відмиванням клейковини ручним способом; індекс деформації клейковини (ІДК) – за допомогою вимірювача деформації клейковини ВДК-1. Досліджували внесені до Державного реєстру 12 сортів пшениці м'якої ярої: сорт-стандарт (St) 'Елегія миронівська', 'Сімкода миронівська', 'Панянка', 'МІП Злата', 'Божена', 'Оксамит миронівський', 'Дубравка', 'МІП Світлана', 'МІП Візерунок', 'МІП Олександра', 'МІП

Соломія', 'МІП Дана', які вирощували після попередника соя на зерно. Розміщення ділянок систематичне, повторність чотириразова, облікова площа – 10 м². Статистичну обробку даних проводили за методами описової статистики і дисперсійного аналізу [24]. Для інтерпретації коефіцієнта варіації врожайності та показників якості використовували шкалу Г. І. Купалова: слабкий коефіцієнт варіації ($C_v < 5,4\%$), помірний ($5,5 < C_v < 20,4\%$) та високий ($20,5 < C_v < 50,4\%$) [25].

Умови зовнішнього середовища під час вирощування суттєво різнилися між собою, це вплинуло на врожайність і параметри якості пшениці м'якої ярої, і дало змогу визначити частку їх впливу на досліджувані ознаки.

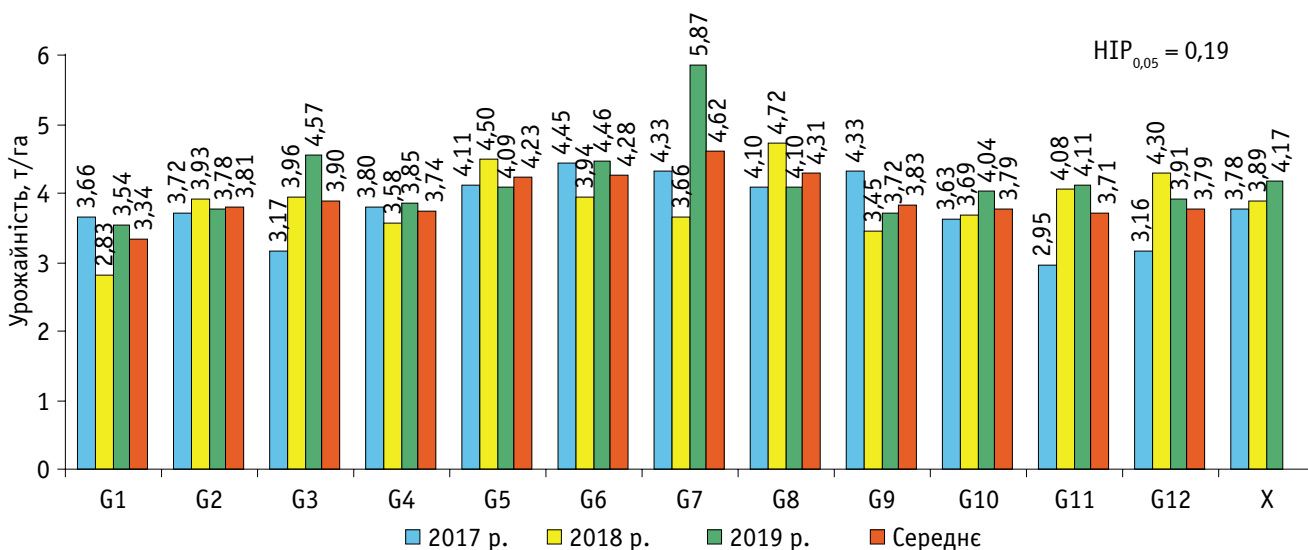
Упродовж періоду формування–дозрівання зерна у 2017 р. за перевищення тепла (на 1 °C) та недостатнього вологозабезпечення (40% до середньобогаторічного рівня) спостерігали негативний вплив як на врожайність, так і на показники якості та борошномельні властивості пшениці м'якої ярої. Умови середовища в період наливу і дозрівання у 2018 р. характеризувалися незначним підвищенням температури повітря та наближенням до оптимального зволоження. При цьому спостерігали стрімке наростання температури повітря (на 6,3 °C) й зливові дощі (удвічі більше норми) у червні та недостатнє (55,2%) вологозабезпечення у I–II декаді липня. Такі умови послабили стійкість рослин до вилягання та негативно вплинули на дозрівання зерна, що певним чином відобразилось на врожайності і борошномельній якості зерна окремих сортів. Умови середовища 2019 р. для пшениці ярої були недосить сприятливими, і відзначались збільшенням кількості атмосферних опадів з підвищенням температури повітря. За період наливу зерна (травень–червень) вологозабезпечення було вищим на 26,9 мм за середньобогаторічний рівень, однак період дозрівання (I–II декада липня) проходив з недобором (–22,3 мм до середньобогаторічного рівня) вологи, що проявилось у недостатній виповненості зерна та позначилось на певних ознаках якості у деяких сортів.

Результати досліджень

Установлено, що умови середовища 2017–2019 рр. істотно впливали на формування врожайності й ознак якості (рис. 1). Середня врожайність сортів ярої пшениці миронівської селекції залежно від умов року була на рівні 3,78 т/га (2017 р.); 3,89 т/га (2018 р.) і 4,17 т/га (2019 р.). Отже, умови 2019 р. були більш сприятливими для реалізації потенціалу врожайності сортів пшениці ярої.

У посушливому 2017 р. 72,7% сортів за врожайністю перевищували стандарт 'Елегія миронівська' (3,66 т/га), з них найвищою врожайністю характеризувались сорти 'Оксамит миронівський' (4,45 т/га), 'Дубравка' (4,33 т/га), 'МІП Візерунок' (4,33 т/га) 'Божена' (4,11 т/га) і 'МІП Світлана' (4,10 т/га), що вказує на їх посухостійкість. У 2018 та 2019 рр. усі досліджувані сорти переважали сорт-стандарт 'Елегія миронівська' за врожайністю зерна. Виявлено максимальну врожайність у 2018 р. для сорту 'МІП Світлана' (4,72 т/га), у 2019 р. – для 'Дубравка' (5,87 т/га).

У середньому за 2017–2019 рр. всі сорти достовірно перевищували сорт-стандарт 'Елегія миронівська' за врожайністю на 0,37–1,58 т/га. Упродовж часу досліджень варіювання середньої врожайності нових сортів було в межах від 3,34 ('Елегія миронівська') до 4,62 т/га ('Дубравка'). З перевищенням на 20–40% до стандарту за врожайністю вирізнялися сорти 'Божена' (4,23 т/га), 'Оксамит миронівський' (4,28 т/га), 'МІП Світлана' (4,31 т/га) і 'Дубравка' (4,62 т/га), які можуть бути джерелами ознаки продуктивності.



Примітка. G1 – генотип сорту 'Елегія миронівська', G2 – 'Сімкода миронівська', G3 – 'Панянка', G4 – 'МІП Злата', G5 – 'Божена', G6 – 'Оксамит миронівський', G7 – 'Дубравка', G8 – 'МІП Світлана', G9 – 'МІП Візерунок', G10 – 'МІП Олександра', G11 – 'МІП Соломія', G12 – 'МІП Дана', X – середнє за роками.

Рис. 1. Урожайність нових сортів пшениці м'якої ярої (2017–2019 рр.)

Прослідковували різний вплив умов років вирощування на формування показників якості (табл. 1). У посушливому 2017 р. у сортів пшениці м'якої ярої виявлено максимальну склоподібність зерна (97%), показник седиментації (78 мл), уміст білка (13,2%); масу 1000 зерен (44,2 г), уміст клейковини (28,0%) – у 2018 р.; натуру зерна (776 г/л), пошкодження зерна клопом-черепашкою (1,7%), вихід борошна (75,4%), індекс деформації клейковини (78 од. пр. ВДК) – у 2019 р. При цьому найменші значення маси 1000 зерен (34,9 г), натуре зерна (753 г/л), виходу борошна (69,1%), індексу деформації клейковини (50 од. пр. ВДК) встановлено у 2017 р.; пошкодження зерна клопом-черепашкою (0,6%), показника седиментації (51 мл) – у 2018 р.; склоподібності зерна (82%), умісту білка (9,6%) та клейковини (21,9%) – у 2019 р.

Залежно від умов середовища прослідковували різне варіювання показників якості,

від слабкого ($C_v < 5,4\%$), до високого ($20,5 < C_v < 50,4\%$) (див. табл. 1). У досліджуваних сортів пшениці м'якої ярої у розрізі років відмічали слабку варіацію натуре зерна ($C_v = 1,5\%$) та виходу борошна ($C_v = 4,6\%$), це свідчить про більшу стабільність цих показників в даних умовах середовища. Помірною варіацією характеризувалася склоподібність зерна ($C_v = 9,1\%$); значною – маса 1000 зерен ($C_v = 13,6\%$), уміст клейковини ($C_v = 13,3\%$), уміст білка ($C_v = 16,4\%$), отже, поряд з особливостями сортів на ці показники вагомий вплив мали умови вирощування. Визначено високу варіацію показника седиментації ($C_v = 25,4\%$) та індексу деформації клейковини ($C_v = 26,6\%$), що вказує на залежність цих показників від середовищних умов у період досліджень.

У середньому за 2017–2019 рр. (табл. 2) маса 1000 зерен сортів пшениці м'якої ярої знаходилась у межах від 36,9 г ('МІП Світлана' та 'Оксамит миронівський') до 40,3 г

Таблиця 1

Варіювання показників якості сортів пшениці м'якої ярої впродовж дослідження

Показники якості	Роки досліджень			Cv, %
	2017	2018	2019	
Маса 1000 зерен, г	34,9	44,2	36,0	13,6
Склоподібність зерна, %	97	96	82	9,1
Натура зерна, г/л	753	767	776	1,5
Пошкодження зерна клопом черепашкою, %*	1,0	0,6	1,7	–
Вихід борошна, %	69,1	74,2	75,4	4,6
Показник седиментації, мл	78	51	52	25,4
Уміст білка, %	13,2	10,8	9,6	16,4
Уміст сирової клейковини, %	27,7	28,0	21,9	13,3
Індекс деформації клейковини (ІДК), од. пр. ВДК	50	51	78	26,6

Примітка. *Отримані результати не підлягають розподілу Гауса (нормальний розподіл), Cv – коефіцієнт варіації.

(‘МІП Злата’). Сорти ‘Сімкода миронівська’ (38,9 г), ‘МІП Злата’ (40,3 г), ‘Божена’ (39,1 г), ‘МІП Візерунок’ (39,5 г), ‘МІП Олександра’ (39,3 г) достовірно перевищували стандарт ‘Елегія миронівська’ (37,7 г). Натурна вага зерна досліджуваного набору сортів коливалася від 742 (‘МІП Світлана’) до 780 г/л (‘МІП Олександра’). Більшість (55%) сортів за натурою зерна перевищували сорт ‘Елегія миронівська’ (762 г/л) на 6–14 г/л. Першокласним і висококонатурним зерном характеризувались сорти ‘МІП Олександра’ (780 г/л), ‘МІП Злата’ (776 г/л) і ‘МІП Дана’ (776 г/л). Усі досліджувані сорти пшениці м'якої ярої, вирощені в умовах Миронівського інституту

пшениці, вирізнялися високою склоподібністю зерна 74–98%, перевищували стандарт на 8–24% та належали до I класу. Високі показники склоподібності характерні для сортів: ‘Панянка’ (96%), ‘МІП Злата’ (96%), ‘Божена’ (97%), ‘МІП Соломія’ (97%) та ‘Оксамит миронівський’ (98%). Стійкими проти пошкодження зерна клопом-черепашкою були сорти ‘Елегія миронівська’ (0,4%), ‘МІП Олександра’ (0,5%), ‘Дубравка’ (0,6%), ‘Панянка’ (0,8%), ‘МІП Світлана’ (0,9%), ‘МІП Соломія’ (0,9%), більшого пошкодження цим шкідником зазнали ‘МІП Дана’, ‘Божена’, ‘МІП Візерунок’, ‘Оксамит миронівський’, ‘МІП Злата’ і ‘Сімкода миронівська’ (1,1–1,9%).

Таблиця 2

Борошномельні властивості миронівських сортів пшениці м'якої ярої (середнє за 2017–2019 рр.)

Сорт	Маса 1000 зерен, г	Натура зерна, г/л	Склоподібність зерна, %	Пошкодження зерна клопом черепашкою, %	Вихід борошна, %	Седиментація, мл	Уміст білка, %	Уміст сирової клейковини, %	ІДК, од. пр. ВДК
‘Елегія миронівська’	37,7	762	74	0,4	76,5	58	11,5	26,6	63
‘Сімкода миронівська’	38,9	774	82	1,9	71,4	63	11,9	29,8	72
‘Панянка’	37,7	752	96	0,8	73,6	62	11,7	29,0	60
‘МІП Злата’	40,3	776	96	1,6	72,5	64	11,9	26,6	54
‘Божена’	39,1	771	97	1,2	74,0	71	11,3	28,0	60
‘Оксамит миронівський’	36,9	762	98	1,3	71,7	67	12,1	27,6	61
‘Дубравка’	38,5	760	94	0,6	72,7	62	10,9	23,7	53
‘МІП Світлана’	36,9	742	91	0,9	72,4	59	10,0	20,4	56
‘МІП Візерунок’	39,5	764	94	1,3	76,6	51	10,3	25,3	77
‘МІП Олександра’	39,3	780	88	0,5	74,6	58	11,1	24,3	37
‘МІП Соломія’	37,7	768	97	0,9	72,0	60	11,1	25,4	73
‘МІП Дана’	38,0	776	92	1,1	69,7	52	10,7	23,8	47
X	38,4	766	92	1,0	73,1	61	11,2	25,9	59
min	36,9	742	74	0,4	69,7	51	10,0	20,4	37
max	40,3	780	98	1,9	76,6	71	12,1	29,8	77
R (max–min)	3,4	58	24	1,5	6,9	20	2,1	9,4	40
Sx	0,4	2,1	0,6	0,0	0,7	0,1	1,0	0,1	0,9
Sd	0,6	3,0	0,8	0,1	1,0	0,1	1,4	0,2	1,2
HIP _{0,05}	1,0	6	2	0,1	2,0	3	0,5	0,7	2

Примітка. X – середнє значення, min – мінімум та max – максимум значення показника, R (max–min) – різниця між максимумом і мінімумом показника, Sx – похибка дослідження, Sd – похибка відмінності середніх, HIP_{0,05} – найменша істотна різниця для 5% го рівня значущості, од. пр. ВДК – одиниць приладу вимірювача деформації клейковини.

У середньому за три роки досліджень (див. табл. 2) вихід борошна у сортів пшениці м'якої ярої коливався в межах від 69,7 ('МІП Дана') до 74,6% ('МІП Олександра'). Найбільший вихід борошна формували 'МІП Візерунок' (76,6%) та 'Елегія миронівська' (76,5%). Варіювання показника седиментації нових сортів було значним: від 51 ('МІП Візерунок') до 71 мл ('Божена'). Сорти 'МІП Світлана', 'МІП Візерунок', 'МІП Олександра', 'МІП Дана' і 'МІП Соломія' мали середній (51–60 мл) рівень показника; 'Сімкода миронівська', 'Панянка', 'Божена', 'МІП Злата', 'Оксамит миронівський' і 'Дубравка' – високий (62–71 мл). Уміст білка за сортами коливався від 10,0 ('МІП Світлана') до 12,1% ('Оксамит миронівський'), що свідчить про різну біологічну особливість сортів. Виділено сорт 'Оксамит миронівський' (12,1%), який достовірно переважав стандарт за цим показником. Сорти 'Сімкода миронівська' (11,9%), 'Панянка' (11,7%) і 'МІП Злата' (11,9%) перевищували стандарт 'Елегія миронівська' (11,5%) у межах найменшої істотної різниці ($HP_{0,05} = 0,5$). Варіювання масової частки сирової клейковини у цього набору сортів становило від 20,4 ('МІП Світлана') до 29,8% ('Сімкода миронівська'). Достовірно переважали сорт-стандарт за цим показником 'Сімкода миронівська' (29,8%), 'Панянка' (29,0%), 'Божена' (28,0%) 'Оксамит миронівський' (27,6%). За індексом деформації клейковини (47–73 од. пр.) більшість досліджуваних сортів мали клейковину доброї якості (І група), крім сорту 'МІП Олександра' (37 од. пр. ВДК –

ІІ група), який мав задовільно міцну клейковину. Максимумом (77 од. пр.) показника відзначався сорт 'МІП Візерунок'.

За групою високих фізичних показників якості зерна виділено сорти 'Сімкода миронівська', 'МІП Злата', 'Божена', 'МІП Візерунок', 'МІП Олександра', а за комплексом найвищих показників якості борошна – сорти 'Сімкода миронівська', 'Оксамит миронівський', 'Панянка'. Вищевказані сорти можуть бути використані як джерела за фізичними показниками якості зерна та борошна. Також виокремлено сорт 'Сімкода миронівська' з поєднанням в одному генотипі високих фізичних показників якості зерна і борошна.

Упродовж дослідження спостерігали різну реакцію сортів пшениці м'якої ярої на умови вирощування. Зокрема, згідно з таблицею 3, слабку ($Cv < 5,4\%$) та помірну ($5,5 < Cv < 10,4\%$) варіацію за врожайністю відмічали у сортів 'Сімкода миронівська' (2,8%), 'МІП Злата' (3,8%), 'Божена' (5,5%), 'Оксамит миронівський' (6,9%), 'МІП Світлана' (8,3%), 'МІП Олександра' (5,8%); за показниками маси 1000 зерен – 'Сімкода миронівська', 'МІП Візерунок'; за склоподібністю – у більшості сортів, крім 'Елегія миронівська', 'Сімкода миронівська' та 'МІП Олександра'; за натурою зерна та виходом борошна – у всіх сортів; за масовою часткою білка – 'Оксамит миронівський'; за масовою часткою клейковини – 'Дубравка', 'МІП Олександра'. Отже, вище вказані сорти найменше реагували на умови вирощування, що свідчить про їх стабільність за відповідними показниками.

Таблиця 3

Коефіцієнти варіації (%) для сортів пшениці м'якої ярої за врожайністю та показниками якості (2017–2019 рр.)

Сорт	Урожайність	Маса 1000 зерен	Склоподібність зерна	Натура зерна	Седиментація	Вихід борошна	Масова частка білка	Масова частка клейковини	Індекс деформації клейковини
'Елегія миронівська'	13,4	19,1	54,9	1,1	29,2	6,8	12,6	18,3	55,7
'Сімкода миронівська'	2,8	10,1	33,8	1,2	41,3	7,9	21,9	19,0	41,3
'Панянка'	18,0	17,8	2,8	3,7	34,2	4,1	17,5	16,5	27,4
'МІП Злата'	3,8	11,1	0,6	0,5	22,9	3,4	12,7	18,4	22,5
'Божена'	5,5	10,7	1,6	1,9	23,2	2,4	14,0	18,1	24,8
'Оксамит миронівський'	6,9	15,4	0,6	2,3	18,6	2,6	10,4	10,7	31,2
'Дубравка'	24,5	12,1	2,2	3,3	19,0	1,1	15,2	6,6	45,0
'МІП Світлана'	8,3	14,4	6,3	1,0	30,7	9,2	26,6	23,5	26,3
'МІП Візерунок'	11,8	9,8	8,1	0,9	25,0	4,3	17,7	11,1	25,5
'МІП Олександра'	5,8	12,2	18,5	4,1	28,4	3,7	15,2	9,5	26,8
'МІП Соломія'	17,8	17,0	2,1	3,1	26,5	4,6	21,2	17,8	25,6
'МІП Дана'	15,3	15,4	4,4	0,9	24,5	6,7	19,7	19,2	31,6

Також виявлено сорти пшениці м'якої ярої з високими коефіцієнтами варіації ($20,5 < C_v < 50,4\%$) за врожайністю – сорт 'Дубравка'; за склоподібністю зерна – сорти 'Елегія миронівська' та 'Сімкода миронівська'; за показником седиментації – більшість сортів, крім 'Оksamит миронівський' та 'Дубравка'; за масовою часткою білка – сорти 'Сімкода миронівська', 'МПП Світла-

на', 'МПП Соломія'; за масовою часткою клейковини – сорт 'МПП Світлана'; за індексом деформації клейковини – усі сорти. Отже, досліджувані сорти за окремими показниками значною мірою залежали від умов середовища.

За результатами двофакторного дисперсійного аналізу (табл. 4) встановлено найбільшу частку впливу умов років вирощу-

Таблиця 4

Частка впливу (%) досліджуваних чинників на врожайність та показники якості сортів пшениці м'якої ярої (2017–2019 рр.)

Показники	Джерела варіації			
	Рік	Сорт	Рік × Сорт	Невраховані чинники
Урожайність	8,2	34,9	52,3	4,6
Масу 1000 зерен	83,7	5,1	10,1	1,1
Натура зерна	27,2	35,1	36,5	1,2
Склоподібність зерна	24,5	24,2	50,5	0,8
Вихід борошна	52,6	19,8	17,2	10,4
Седиментації	66,7	18,2	13,6	1,5
Масова частка білка	76,7	12,3	8,2	2,8
Масова частка клейковини	42,6	33,4	23,1	0,9
Якість клейковини (ІДК)	46,0	29,2	24,2	0,6

вання, порівняно з іншими чинниками, на показник маси 1000 зерен (83,7%), вихід борошна (52,6%), показник седиментації (66,7%), уміст білка (76,7%), уміст клейковини (42,6%), індекс деформації клейковини (46,0%). Виявлено більшу частку впливу взаємодії чинників рік × сорт на врожайність (52,3%), натуру зерна (36,5%), склоподібність зерна (50,5%), що свідчить про різну реакцію генотипів на контрастні умови вирощування. Складова впливу сорту на врожайність (34,9%) та показники якості (5,1–35,1%) пшениці м'якої ярої була достовірною ($p \leq 0,05$), при цьому не перевищувала частки впливу інших чинників.

Висновки

Виявлено сорти, що перевищували стандарт на 30–40% за врожайністю – 'Божена', 'Оksamит миронівський', 'МПП Світлана' і 'Дубравка'. Виокремлено сорти 'Сімкода миронівська', 'МПП Злата', 'Божена', 'МПП Візерунок', 'МПП Олександра' за поєднанням високих фізичних показників якості зерна. Виявлено ряд сортів з комплексом найвищих показників якості борошна – 'Сімкода миронівська', 'Оksamит миронівський', 'Панянка'. Виділені сорти доцільно використовувати як джерела певних ознак для створення нових врожайних та якісних сортів за різними напрямками використання.

Визначено найстабільніші сорти за врожайністю – 'Сімкода миронівська', 'МПП

Злата', 'Божена', 'Оksamит миронівський', 'МПП Світлана', 'МПП Олександра'; за масою 1000 зерен – 'Сімкода миронівська', 'МПП Візерунок'; за склоподібністю – більшість сортів, крім 'Елегія миронівська', 'Сімкода миронівська' та 'МПП Олександра'; за натурою зерна та виходом борошна – всі сорти; за масовою часткою білка – 'Оksamит миронівський'; за масовою часткою клейковини – 'Дубравка', 'МПП Олександра'.

Установлено найбільшу частку впливу умов середовища, порівняно з іншими чинниками, на масу 1000 зерен (83,7%), показник седиментації (66,7%), вихід борошна (52,6%), уміст білка (76,7%) і сирі клейковини (42,6%) та індекс деформації клейковини (46,0%); взаємодії чинників рік × сорт на врожайність (52,3%), натуру зерна (36,5%), склоподібність зерна (50,5%). Виявлено достовірний вплив сорту на врожайність (34,9%) та всі досліджувані показники якості (5,1–35,1%).

Використана література

- Betsiashvili M., Samadashvili T., Simonishvili N. et al. Agromorphological and biochemical characterization of Georgian common wheat (*T. aestivum*) – "Dolis puri" sub varieties. *Annals of Agrarian Science*. 2020. Vol. 18, Iss. 4. P. 448–458.
- Gomez Becerra H. F., Abugaliev A., Morgounov A. et al. Phenotypic correlations, G × E interactions and broad sense heritability analysis of grain and flour quality characteristics in high latitude spring grain wheats from Kazakhstan and Siberia. *Euphytica*. 2010. Vol. 171, Iss. 1. P. 23–28. doi: 10.1007/s10681 009 9984 6
- Манько К. М., Усов О. С., Жижка Н. Г. Вплив комплексної взаємодії факторів на формування врожайності пшениці ярої.

- Вісник Центру наукового забезпечення АПВ Харківської області. 2016. Вип. 20. С. 46–53.
4. Bagulho A. S., Costa R., Almeida A. S. et al. Influence of year and sowing date on bread wheat quality under Mediterranean conditions. *Emirates Journal of Food and Agriculture*. 2015. Vol. 27, Iss. 2. P. 186–199. doi: 10.9755/ejfa.v27i2.19279
 5. Петриченко В. Ф., Корнійчук О. В. Фактори стабілізації зерна пшениці озимої в Лісостепу Правобережному. *Вісник аграрної науки*. 2018. № 2. С. 17–23. doi: 10.31073/agrovisnyk201802_03
 6. Angus J. F., Kirkegaard J. A., Hunt J. R. et al. Break crops and rotations for wheat. *Crop and Pasture Science*. 2015. Vol. 66, Iss. 6. P. 523–552. doi: 10.1071/CP14252
 7. Leng G., Hall J. Crop yield sensitivity of global major agricultural countries to droughts and the projected changes in the future. *Science of the Total Environment*. 2019. Vol. 654. P. 811–821. doi: 10.1016/j.scitotenv.2018.10.434
 8. Nadew B. B. Effects of Climatic and Agronomic Factors on Yield and Quality of Bread of Wheat (*Triticum aestivum* L.) Seed: A Review on Selected Factors. *Advances in Crop Science and Technology*. 2018. Vol. 6, Iss. 2. P. 356–361. doi: 10.4172/2329_8863.1000356
 9. Демидов О. А., Вологдіна Г. Б., Замліла Н. П., Колючий В. Т. Реакція перспективних ліній пшениці озимої на умови вирощування. *Миронівський вісник*. 2016. Вип. 2. С. 226–240. doi: 10.21498/2518_7910.0.2016.119576
 10. Орлюк А. П., Жужа В. А. Оценка качества зерна озимой мягкой пшеницы на ранних этапах селекции. *Selekcija i semenarstvo*. 2006. Vol. 12, No. 1–2. P. 15–21.
 11. Künzel A., Münzel S., Böttcher F., Spengler D. Analysis of weather related growth differences in winter wheat in a three year field trial in North East Germany. *Agronomy*. 2021. Vol. 11, Iss. 9. Article 1854. doi: 10.3390/agronomy11091854
 12. Городній М. М., Мельничук С. Д., Гончар О. М. та ін. Приклад на біохімія та управління якістю продукції рослинництва. Київ : Арістей, 2006. С. 137–151.
 13. Fu B. X., Wang K., Dupuis B. et al. Kernel vitreousness and protein content: Relationship, interaction and synergistic effects on durum wheat quality. *Journal of Cereal Sciences*. 2018. Vol. 79. P. 210–217. doi: 10.1016/j.jcs.2017.09.003
 14. Кірізій Д. А., Лісневич Л. О., Починков В. М. Продуктивність та особливості реутилізації азоту в контрастних за якістю зер на рослин озимої пшениці різних генотипів. *Фізіологія і біохімія культурних рослин*. 2008. Т. 40, № 1. С. 23–32.
 15. Вінюков О. О., Коноваленко Л. І., Бондарева О. В., Василенко Т. Ф. Вплив абіотичних факторів на формування якості зерна пшениці м'якої озимої в умовах Донецької області. *Миронівський вісник*. 2017. Вип. 5. С. 114–125. doi: 10.31073/mvis201705_10
 16. Luo L., Hui X., Wang Z. et al. Multi site evaluation of plastic film mulch and nitrogen fertilization for wheat grain yield, protein content and its components in semiarid areas of China. *Field Crops Research*. 2019. Vol. 240. P. 86–94. doi: 10.1016/j.fcr.2019.06.002
 17. Tahir I. S., Nakata N. Remobilization of nitrogen and carbohydrate from stems of bread wheat in response to heat stress during grain filling. *Journal of Agronomy and Crop Science*. 2005. Vol. 191, Iss. 2. P. 106–115. doi: 10.1111/j.1439_037X.2004.00127.x
 18. Жигунов Д., Ковальова В., Ковальов М., Коритнюк О. Визначення показників якості індивідуальних потоків борошна із заводу зі скороченою схемою технологічного процесу. *Технічні науки та технології*. 2019. № 1. С. 195–203. doi: 10.25140/2411_5363_2019_1(15)_195_203
 19. Рибалка О. І., Соколов В. М., Червоніс М. В. та ін. Урожай озимої пшениці–2007: характеристика показників якості. *Хранение и переработка зерна*. 2007. № 8. С. 36–42.
 20. Притула Н. М., Панченко І. А., Лучной В. В., Касьяненко О. М. Рівень фенотипового прояву мішливості ознак якості зерна у сортозразків озимої пшениці. *Selekcija i nasinnictvo*. 2006. Вип. 92. С. 121–128.
 21. Пшениця. Технічні умови : ДСТУ 3768:2019. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2019. 21 с.
 22. Методика державного сортопробування сільськогосподарських культур. Методи визначення показників якості рослинницької продукції / за ред. О. М. Гончара. Київ : Алефа, 2000. Вип. 7. 144 с.
 23. Технологічна оцінка рослинницької продукції сортів сільськогосподарських видів. Методика державної науково технічної експертизи сортів рослин. Методи визначення показників якості продукції рослинництва / за ред. С. О. Ткачик. 4-те вид. Вінниця : Нілан ЛТД, 2015. 160 с.
 24. Little T. M., Hills F. J. *Agricultural experimentation: design and analysis*. New York, N.Y. : John Wiley & Sons, 1978. 368 p.
 25. Купалова Г. І. Теорія економічного аналізу. Київ : Знання, 2008. 639 с.

References

1. Betsiashvili, M., Samadashvili, T., Simonishvili, N., Silagava, N., & Lohwasser, U. (2020). Agro morphological and biochemical characterization of Georgian common wheat (*T. aestivum*) – “Dolis puri” sub varieties. *Annals of Agrarian Science*, 18(4), 448–458.
2. Gomes Becerra, H. F., Abugaliev, A., Morgounov, A., Abdul layev, K., Bekenova, L., Yessimbekova, M., ... Cakmak, I. (2010). Phenotypic correlations, G × E interactions and broad sense heritability analysis of grain and flour quality characteristics in high latitude spring grain wheats from Kazakhstan and Siberia. *Euphytica*, 171(1), 23–28. doi: 10.1007/s10681_009_9984_6
3. Manko, K. M., Usov, O. S., & Zhyzhka, N. H. (2016). Spring wheat yield affected by complex interaction of different factors. *Bulletin of the Center for Science Provision of Agribusiness in the Kharkiv region*, 20, 46–53. [In Ukrainian]
4. Bagulho, A. S., Costa, R., Almeida, A. S., Pinheiro, N., Moreira, J., Gomes, C., ... Maças, B. (2015). Influence of year and sowing date on bread wheat quality under Mediterranean conditions. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 27(2), 186–199. doi: 10.9755/ejfa.v27i2.19279
5. Petrychenko, V. F., & Kornichuk, O. V. (2018). Factors of stabilization of production of grain of winter wheat in Right bank Forest Steppe region. *Bulletin of Agricultural Science*, 2, 17–23. doi: 10.31073/agrovisnyk201802_03 [in Ukrainian]
6. Angus, J. F., Kirkegaard, J. A., Hunt, J. R., Ryan, M., Ohlander, L., & Peoples, M. B. (2015). Break crops and rotations for wheat. *Crop and Pasture Science*, 66(6), 523–552. doi: 10.1071/CP14252
7. Leng, G., & Hall, J. (2019). Crop yield sensitivity of global major agricultural countries to droughts and the projected changes in the future. *Science of the Total Environment*, 654, 811–821. doi: 10.1016/j.scitotenv.2018.10.434
8. Nadew, B. B. (2018). Effects of Climatic and Agronomic Factors on Yield and Quality of Bread of Wheat (*Triticum aestivum* L.) Seed: A Review on Selected Factors. *Advances in Crop Science and Technology*, 6(2), 356–361. doi: 10.4172/2329_8863.1000356
9. Demydov, O. A., Vologdina, H. B., Zamlila, N. P., & Koliuchyi, V. T. (2016). Productivity of winter wheat depending on growing conditions. *Myronivka Bulletin*, 2, 226–240. doi: 10.21498/2518_7910.0.2016.119576 [In Ukrainian]
10. Orliuk, A. P., & Zhuzha, V. A. (2006). Estimation of grain quality of winter soft wheat at early stages of breeding. *Selekcija i semenarstvo*, 12(1–2), 15–21. [In Russian]
11. Künzel, A., Münzel, S., Böttcher, F., & Spengler, D. (2021). Analysis of weather related growth differences in winter wheat in a three year field trial in North East Germany. *Agronomy*, 11(9), Article 1854. doi: 10.3390/agronomy11091854
12. Horodniy, M. M., Melnychuk, S. D., Honchar, O. M., Kalenskiy, V. P., Yashchenko, L. A., Shaturskiy, Ya. P., ... Borysiuk, B. V. (2006). *Prykladna biokhimiia ta upravlinnia yakistiu produktsii roslinnytstva* [Applied Biochemistry and Plant Production Quality Management] (pp. 137–151). Kyiv: Aristei. [In Ukrainian]
13. Fu, B. X., Wang, K., Dupuis, B., Taylor, D., & Nam, S. (2018). Kernel vitreousness and protein content: Relationship, interac

- tion and synergistic effects on durum wheat quality. *Journal of Cereal Sciences*, 79, 210–217. doi: 10.1016/j.jcs.2017.09.003
14. Kiriziy, D. A., Lesnevich, L. A., & Pochinok, V. M. (2008). Productivity and peculiarities of nitrogen reutilization in contrast at grain quality winter wheat cultivars. *Physiology and Biochemistry of Cultivated Plants*, 40(1), 23–32. [In Ukrainian]
 15. Viniukov, O. O., Konovalenko, L. I., Bondareva, O. B., & Vasylenko, T. F. (2017). The influence of abiotic factors on forming grain quality of bread winter wheat in the conditions of the Donetsk region. *Myronivka Bulletin*, 5, 114–125. doi: 10.31073/mvis201705_10 [In Ukrainian]
 16. Luo, L., Hui, X., Wang, Z., Zhang, X., Xie, Y., Gao, Z., ... Malhi, S. S. (2019). Multi site evaluation of plastic film mulch and nitrogen fertilization for wheat grain yield, protein content and its components in semiarid areas of China. *Field Crops Research*, 240, 86–94. doi: 10.1016/j.fcr.2019.06.002
 17. Tahir, I. S., & Nakata, N. (2005). Remobilisation of nitrogen and carbohydrate from stems of bread wheat in response to heat stress during grain filling. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 191(2), 106–115. doi: 10.1111/j.1439-037X.2004.00127.x
 18. Zhyhunov, D., Kovalova, V., Kovalov, M., & Korytniuk, O. (2019). Indicators determination of individual flows quality streams from the plant with the reduced scheme of the technological process. *Technical Sciences and Technologies*, 1, 195–203. doi: 10.25140/2411_5363_2019_1(15)_195_203 [In Ukrainian]
 19. Rybalka, O. I., Sokolov, V. M., Chervonis, M. V., Parfentiev, M. H., & Toporash, I. H. (2007). Winter wheat harvest–2007: characteristics of quality indicators. *Grain Storage and Processing*, 8, 36–42. [In Ukrainian]
 20. Prytula, N. M., Panchenko, I. A., Luchnoi, V. V., & Kasianenko, O. M. (2006). The level of phenotypic manifestation of variability of grain quality traits in winter wheat cultivars. *Plant Breeding and Seed Production*, 92, 121–128. [In Ukrainian]
 21. *Wheat. Specifications: State Standard of Ukraine (DSTU) 3768:2019*. (2019). Kyiv: UkrNDNTs. [In Ukrainian]
 22. Honchar, O. M. (Ed.). (2000). *Metodyka derzhavnoho sortovyp robuvannya silskohospodarskykh kultur. Metody vyznachennia pokaznykiv yakosti roslynnytskoi produktsii* [Methodology of state variety testing of agricultural crops. Methods of determining quality of crop products] (Vol. 7). Kyiv: Alefa. [In Ukrainian]
 23. Tkachyk, S. O. (Ed.). (2015). *Metodyka derzhavnoi naukovo tekhnichnoi ekspertyzy sortiv roslyn. Metody vyznachennia pokaznykiv yakosti produktsii roslynnytsva* [Methodology of State Scientific and Technical Examination of Plant Varieties. Methods of Determining Quality Indices of Crop Production]. (4th ed.). Vinnytsia: Nilan LTD. [In Ukrainian]
 24. Little, T. M., & Hills, F. J. (1978). *Agricultural experimentation: design and analysis*. New York, N.Y.: John Wiley & Sons.
 25. Kupalova, H. I. (2008). *Teoriia ekonomichnoho analizu* [Theory of economic analysis]. Kyiv: Znannia. [In Ukrainian]

UDC 633.111.1: 631.524.7:664.6/.7

Vasylenko, N. V.*, & **Pravdziva, I. V.** (2022). Yielding capacity and flour milling properties of spring bread wheat varieties depending on growing environmental conditions. *Plant Varieties Studying and Protection*, 18(2), 127–135. https://doi.org/10.21498/2518_1017.18.2.2022.265180

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

Purpose. To determine the dependence of yield and flour milling properties of new spring bread wheat varieties of Myronivka breeding on different growing season conditions. **Methods.** During 2017–2019, twelve spring bread wheat varieties were studied in the conditions of the V. M. Remeslo Myronivka Institute of Wheat of NAAS. Grain and flour quality indicators were determined according to conventional methods. **Results.** It was found that weather conditions in 2019 were more favorable for realizing the yield potential of spring wheat varieties, but they had a negative impact on quality indicators. By exceeding on 30–40% the standard ‘Elehiia myronivska’, the varieties – ‘Bozhena’ (4.23 t/ha), ‘Oksamyt myronivskiyi’ (4.28 t/ha), ‘MIP Svitlana’ (4.31 t/ha), and ‘Dubravka’ (4.62 t/ha) were selected in terms of yield. The varieties ‘Simkoda myronivska’, ‘MIP Zlata’, ‘Bozhena’, ‘MIP Vizerunok’, and ‘MIP Oleksandra’ were singled out by the combination of high physical indicators of grain quality. The varieties ‘Simkoda myronivska’, ‘Oksamyt myronivskiyi’, and ‘Panianka’ were distinguished by complex of the highest flour quality indicators. The varieties being the most stable in terms of individual characters were identified. These were ‘Simkoda myronivska’, ‘MIP Zlata’, ‘Bozhena’, ‘Oksamyt myronivskiyi’, ‘MIP Svitlana’, and ‘MIP Oleksandra’ by yielding capacity. According to quality indicators, in particular,

by 1000 kernel weight, varieties ‘Simkoda myronivska’, ‘MIP Vizerunok’ were distinguished; high scores for grain vitreousness were in most varieties, except for ‘Elehiia myronivska’, ‘Simkoda myronivska’, and ‘MIP Oleksandra’; according to test weight and flour yield, all varieties had high rates; according to the protein content, the variety ‘Oksamyt myronivskiyi’ was distinguished; varieties ‘Dubravka’ and ‘MIP Oleksandra’ by wet gluten content. The ANOVA established that the most dependence on weather conditions was revealed for such parameters as 1000 kernel weight (part of influence 83.7%), protein content (76.7%), sedimentation value (66.7%), flour yield (52.6%), gluten deformation in dex (46.0%), and wet gluten content (42.6%); the most dependence on the interaction of factors year × variety was revealed for yielding capacity (52.3%), the grain vitreousness (50.5%), and the test weight (36.5%). A reliable effect of the factor variety on yield (34.9%) and all investigated quality indicators (5.1–35.1%) was revealed. **Conclusions.** It is expedient to use the varieties listed above as sources of certain traits for the creation of new high yielding and high quality varieties for different areas of use.

Keywords: *Triticum aestivum* L.; weather conditions; physical indicators of grain quality; flour quality indicators; coefficient of variation; ANOVA.

Надійшла / Received 18.07.2022
Погоджено до друку / Accepted 20.08.2022

Інтродуковані та зареєстровані сорти проса прутоподібного (*Panicum virgatum* L.) як вихідний матеріал для селекції за продуктивністю біомаси

М. І. Кулик*, І. І. Рожко

¹Полтавський державний аграрний університет, вул. Г. Сковороди, 1/3, м. Полтава, 36003, Україна,

*e mail: kulykmaksym@ukr.net

Мета. На основі багаторічних досліджень за комплексом господарсько цінних ознак виокремити як вихідний матеріал для селекції за продуктивністю найліпші сорти проса прутоподібного (*Panicum virgatum* L.). До них належать сорти: 'Pathfinder', 'Carthage', 'Blackwell', 'Морозко', 'Лядовське' і 'Зоряне'. **Методи.** Дослідження проводили протягом 2017–2021 рр. на базі Полтавського державного аграрного університету. Ґрунти дослідної ділянки колекції «Енергетичні культури» – чорноземи типові, з умістом гумусу на рівні 3,4%. Ділянки закладали з рендомізованим розміщенням варіантів в чотирикратній повторності згідно з методиками дослідної справи в агрономії. Також застосовували затверджені науково практичні й методичні рекомендації до вирощування енергетичних культур. Для підтвердження істотної відмінності між досліджуваними сортами застосовували дисперсійний аналіз з використанням програм Excel та Statistica. **Результати.** Проведено групування сортів проса прутоподібного за тривалістю вегетаційного періоду на: ранньо (до 160 діб), середньо (161–171 доба) та пізньостиглі (понад 170 діб). Установлено комплексну стійкість сортів проса прутоподібного до посухи, морозів та вилягання рослин: 'Cave in Rock', 'Зоряне', 'Морозко' та 'Лядовське'. Визначено, що господарсько цінні ознаки більшою мірою залежать від сортових особливостей, аніж від умов вирощування. Урожайність наземної вегетативної маси за сухим залишком для досліджуваних сортів варіювала від 12,1 до 15,6 т/га. **Висновки.** Найпристосованішими до умов вирощування виявилися сорти проса прутоподібного 'Cave in Rock', 'Зоряне', 'Морозко' й 'Лядовське'. Найбільша висота стеблостою відмічена для сортів: 'Kanlow' та 'Cave in Rock', найнижчими виявилися рослини сорту 'Dacotah'. Значну кількість стебел та високу врожайність біомаси здатні забезпечити сорти проса прутоподібного 'Pathfinder', 'Blackwell', 'Shelter', 'Carthage' і 'Зоряне'. Останні, разом з українським сортом 'Зоряне', рекомендовано використовувати як вихідний матеріал для селекції культури за продуктивністю біомаси.

Ключові слова: просо прутоподібне (світчграс); сортозразки; біометричні показники рослин; урожайність; фіто маса; селекційна цінність.

Вступ

Інтродукція проса прутоподібного (світчграсу), особливості вирощування, збирання й зберігання біомаси та насіння висвітлено у численних публікаціях [1–4]. У деяких наукових працях аналізуються варіанти допосівної підготовки насіння до сівби та заходи виведення його зі стану спокою [5–8]. У значній кількості публікацій наводяться результати досліджень щодо особливостей формування врожайності біомаси цієї культури залежно від агротехнічних заходів [9–12], сортових особливостей [13–15] та ґрунтово-кліматичних умов вирощування [16–18].

Просо прутоподібне – рослина з родини тонконогових. Культура має біоенергетичний напрям використання – для виробництва твердого та рідкого біопалива. *P. virga-*

tum розмножується як насінням, так і поділом кореневища [19]. Урожайність біомаси залежить від різних чинників: ґрунтово-кліматичних умов, агротехніки, часу збирання та сортових особливостей культури [20–23].

Важливим чинником збільшення продуктивності агрофітоценозів енергокультур є добір сортів, що формують високу врожайність біомаси. Сорти проса прутоподібного височинного екотипу порівняно з низовинними більш урожайні в посушливих умовах. Це також пов'язується із особливостями сорту, біологічними особливостями культури та морфологією рослинного ценозу [24, 25].

Як зазначають українські вчені [26], вибір сорту проса прутоподібного для вирощування має важливе значення для росту й розвитку рослин певної місцевості, їх стійкості до несприятливих чинників та стабільного отримання біомаси.

Український учений С. Д. Орлов [27], за результатами комплексної оцінки біологічних ознак потомства рослин проса прутопо-

Maksym Kulyk

https://orcid.org/0000_0003_0241_6408

Ilona Rozhko

https://orcid.org/0000_0002_0646_4004

дібного, виокремив селекційні зразки за врожайністю сухої маси: 737-10 (P. v. L.) 'Cave-in-Rock' / 377-10 (P. v. L.) 'Alamo', 398-10 (P. v. L.) 'Sunburst' / 737-10 / (P. v. L.) 'Cave-in-Rock', 1025-10 (P. v. L.) 'Forestburg' / 737-10 (P. v. L.) 'Cave-in-Rock', які рекомендовано для створення вітчизняних сортів.

Згідно з даними досліджень Д. Б. Рахметова зі співаторами [28], за інтродукції сортів проса прутоподібного особливу увагу необхідно звертати на морфометричні параметри рослин, як результат їх адаптації до нових умов вирощування, з урахуванням господарсько-цінних ознак [28].

Вивчаючи адаптивні особливості сортів проса прутоподібного, Wullschleger зі співавторами визначили, що інтенсивність процесу фотосинтезу в листках, визначена у вересні, була вищою в гексаплоїдів порівняно з тетраплоїдними популяціями культури [29].

У дослідженнях Alexoroulou et al. [30], усі сорти сформували найбільшу врожайність на третій сезон вегетації: 17,9 т/га в умовах Греції та 12,3 т/га в Італії. Низовинні сорти проса прутоподібного ('Cathage', 'Kanlow', 'SL 93-2' і 'SL 93-3') виявилися продуктивнішими порівняно з височинними, як усереднено за ділянками, так і за роками досліджень.

Біомасу проса прутоподібного використовують у різних галузях: для отримання дешевої енергії, в будівництві, в паперовій промисловості, у тваринництві та птахівництві [31–34].

Тому, зважаючи на комплексне використання цієї культури, постає потреба дослідити особливості формування врожайності біомаси сортів проса прутоподібного, що в перспективі дасть змогу отримувати значний її обсяг. А добір нових сортозразків за стійкістю до абіотичних чинників та продуктивністю біомаси дасть можливість використати його як вихідний матеріал для селекції.

Мета досліджень – вивчити вихідний матеріал проса прутоподібного для селекції за стійкістю до абіотичних чинників та продуктивністю біомаси в умовах Лісостепу України.

Матеріали та методика досліджень

Дослідження із сортами проса прутоподібного проводили протягом 2017–2021 рр. на базі Полтавського державного аграрного університету, що знаходиться у центральній частині Лісостепу.

Найбільша кількість опадів за декаду – 78,8 мм – була у 2018 р. (третя декада липня), у 2017-му – 45,5 мм (перша декада січня), у 2019-му – 41,4 мм (перша декада жовтня), та у 2020 р. – 49,8 мм (перша декада червня). За період проведення експерименту спостерігалися періоди без опадів 19 разів (10,6% часу): по три декади без опадів за рік було у 2019–2021 рр., чотири декади – у 2018 р. та шість декад без опадів було у 2017 р. Близькі до оптимального значення погодні умови за гідротермічним коефіцієнтом (ГТК) були у 2020 та у 2018 рр. (ГТК близький до 1). Отже, середньодобова температура повітря та кількість опадів протягом року є дуже нерівномірним та малоповторюваними з року в рік. Це дало змогу оцінити реакцію сортів проса прутоподібного на погодні умови протягом досліджуваного багаторічного періоду.

Ділянки закладали на чорноземах типових, з умістом гумусу на рівні 3,4%. Експеримент мав рендомізоване розміщення варіантів у чотирикратній повторності згідно з методикою дослідної справи в агрономії [35]. Також застосовували затверджені науково-практичні й методичні рекомендації та методики [36–38]. Облікова площа ділянки становила 5 м². Агротехніка в досліді – загальноприйнята, відповідно до науково-практичних рекомендацій. Упродовж вегетації культури проводили прополювання бур'янів; щороку весною, на початку відновлення вегетації рослин, посіви підживлювали аміачною селітрою дозою N₆₀ [39, 40]. Сіяли культуру весною в оптимальні строки за температури ґрунту 10 °C з шириною міжряддя 45 см. Норму висіву насіння встановлювали з урахування посівної придатності насінневого матеріалу та рекомендованої норми висіву 5 кг/га (300 шт./м²) [41, 42]. Обсяг вибірки для визначення кількісних показників рослин становив 50 рослин з кожного варіанту в розрізі повторень. Густану (кількість стебел) та висоту стеблостою рослин визначали на закріплених ділянках площею 1,0 м² у чотирьох місцях по діагоналі кожної ділянки досліду.

Стійкість рослин проса прутоподібного до посухи, морозостійкість та стійкість до вилягання визначали за п'ятибальною шкалою, де: один бал характеризував низьку стійкість, п'ять – високу [43].

Характеристику досліджуваних сортів проса прутоподібного наведено в таблиці 1.

Сорти проса прутоподібного підтримувалися оригінаторами на базі дослідних станцій США або України залежно від місця створення та дослідження. Насіння сортів культури

Характеристика сортів проса прутоподібного [44–48]

Назва		Оригіна́тор	Походження*	Плоїдність	Рік реєстрації
українська	латинська				
‘Картрадж’	‘Carthage’	Нью Джерсі, Центр рослинних матеріалів	USA	8n	2006
‘Блеквелл’	‘Blackwell’	Центр рослинних матеріалів, Служба охорони ґрунтів, Манхеттен, Канзас; Канзаська сільсько господарська дослідна станція	USA	8n	1944
‘Патфіндер’	‘Pathfinder’	Небраська сільськогосподарська дослідна станція	USA	8n	1967
‘Шелтер’	‘Shelter’	Служба охорони ґрунтів; Корнельський університет; Відділ охорони навколишнього середовища риб та дикої природи Нью Йорка у Пенсильванії	USA	8n	1986
‘Кейв ін рок’	‘Cave in Rock’	Центр рослинних матеріалів, Служба охорони ґрунтів, Міссурі, Міссурійська сільськогосподарська дослідна станція	USA	8n	1973
‘Форестбург’	‘Forestburg’	Центр рослинних матеріалів, Служба охорони ґрунтів, Бісмарк, Дакота, штат Міннесота, сільськогосподарська дослідна станція	USA	4n	1987
‘Санбурст’	‘Sunburst’	Південна Дакота, Сільськогосподарська дослідна станція	USA	8n	1983
‘Дакота’	‘Dacotah’	Центр рослинних матеріалів, Служба охорони ґрунтів, Бісмарк, Дакота та Міннесота, сільсько господарські дослідні станції	USA	4n	1989
‘Небраска’	‘Nebraska’	Небраська сільськогосподарська дослідна станція; Відділ розплідників, Служба охорони ґрунтів	USA	4n	1949
‘Канлоу’	‘Kanlow’	Канзаська сільськогосподарська дослідна станція; Відділ науки про рослини	USA	4n	1963
‘Аламо’	‘Alamo’	Центр рослинних матеріалів, Служба охорони ґрунтів, Нокс Сіті, Техас; Техаська сільськогосподарська дослідна станція	USA	4n	1978
‘Морозко’	‘Morozko’	Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків Національної академії аграрних наук України	UA	4n	2015
‘Лядовське’	‘Lydivske’	Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків Національної академії аграрних наук України	UA	4n	2018
‘Зоряне’	‘Zoriane’	Національний ботанічний сад імені М. М. Гришка Національної академії наук України	UA	2n	2015

Примітка. USA – США, UA – Україна.

американської селекції надано на основі договору співпраці за виконання Міжнародного наукового проекту Королівства Нідерландів «Pellets for power: Sustainable biomass import from Ukraine» (2010–2013 pp.), сайт: <https://subsites.wur.nl/en/show/Pellets-for-Power.htm>.

Згідно з наявним на сьогодні поділом за морфологічними ознаками та біологічними особливостями рослин, сорти проса прутоподібного розподіляють за еколого-географічним підходом на височинні та низовинні. Згідно з цим розподілом, серед досліджуваного сортименту до височинного екотипу належать ‘Carthage’, ‘Shelter’, ‘Forestburg’, ‘Sunburst’, ‘Dacotah’, ‘Cave-in-Rock’, ‘Nebraska’, ‘Blackwell’, ‘Pathfinder’, ‘Морозко’, ‘Лядовське’ та ‘Зоряне’, до низовинного – ‘Kanlow’ і ‘Alamo’. Установлено, що низовинні екотипи менш вологостійкі та формують високі, товсті й грубі стебла, які ростуть

кущами. Рослини височинного екотипу адаптованіші до сухого клімату, мають тонші, ніж низовинні стебла та більшу їх кількість у куці [25, 46].

Результати досліджень аналізували за допомогою дисперсійного аналізу (ANOVA) у програмі Statistica для визначення істотних відмінностей між варіантами дослідження за рівня значущості (p) < 0,05.

Результати досліджень

Основними елементами структури врожаю проса прутоподібного є густина та висота стеблостою. На ці показники впливають як погодні умови років дослідження, так і сортові властивості [28]. Установлено, що серед досліджуваних в експерименті сортів найвищими були рослини ‘Kanlow’ та ‘Cave-in-Rock’ (на рівні, або понад 180,0 см), найнижчими – ‘Dacotah’ (менше ніж 160,0 см). Найбільшу кількість стебел на одиницю

площі відзначено в ‘Cave-in-Rock’, ‘Pathfinder’, ‘Blackwell’, ‘Shelter’, ‘Carthage’ і ‘Зоряне’ (понад 510,0 шт./м²).

Під час спостережень за рослинами проса прутіноподібного визначали дати настан-

ня та тривалість фенологічних фаз росту й розвитку рослин, а також провели групування сортів за тривалістю вегетаційного періоду: ранньо-, середньо- та пізньостиглі (табл. 2).

Таблиця 2

Групування сортів проса прутіноподібного за тривалістю вегетаційного періоду (2017–2021 рр.)

Група стиглості	Сорт*													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Ранньостиглі (до 160 діб)	+	+	+											
Середньостиглі (161–170 діб)				+	+	+	+	+	+					
Пізньостиглі (понад 170 діб)										+	+	+	+	+

*1 – ‘Dacotah’, 2 – ‘Nebraska’, 3 – ‘Forestburg’, 4 – ‘Sunburst’, 5 – ‘Shelter’, 6 – ‘Cave in Rock’, 7 – ‘Морозко’, 8 – ‘Лядовське’, 9 – ‘Зоряне’, 10 – ‘Carthage’, 11 – ‘Kanlow’, 12 – ‘Alamo’, 13 – ‘Blackwell’, 14 – ‘Pathfinder’.

З переліченого сортименту проса прутіноподібного до ранньостиглих віднесли сорти ‘Dacotah’, ‘Nebraska’, ‘Forestburg’, до середньостиглих – ‘Sunburst’, ‘Shelter’, ‘Cave-in-Rock’, ‘Морозко’, ‘Лядовське’, ‘Зоряне’, а до пізньостиглих – ‘Carthage’, ‘Kanlow’, ‘Alamo’, ‘Blackwell’ і ‘Pathfinder’.

Визначено, що відновлення весняної вегетації у більшості сортів проса прутіноподібного розпочинається одночасно – у II–III декаді квітня (окрім пізньостиглої групи), а фаза куціння припадає на III декаду квітня, вихід у трубку спостерігали у II декаді травня. Фазу викидання волоті для сортів ‘Dacotah’, ‘Nebraska’ відмічено у III декаді травня, для ‘Blackwell’, ‘Pathfinder’, ‘Cave-in-Rock’, ‘Nebraska’ – у III декаді червня, для ‘Shelter’, ‘Forestburg’, ‘Sunburst’ – у I декаді липня, для ‘Alamo’ та ‘Kanlow’ – у II–III декаді липня. Ранні сорти розпочинають цвітіння

у I–II декаді липня, середньостиглі – у II–III декаді липня, а пізньостиглі – у III декаді липня.

Достигання насіння у сортів ‘Blackwell’, ‘Pathfinder’, ‘Dacotah’ припадає на III декаду серпня, у ‘Forestburg’, ‘Sunburst’ – на III декаду вересня, у ‘Nebraska’ – на I декаду вересня, у ‘Shelter’, ‘Cave-in-Rock’, ‘Alamo’, ‘Carthage’ – на I декаду жовтня, сорту ‘Kanlow’ – на I–II декаду листопада.

У середньому за роки дослідження визначено, що тривалість вегетаційного періоду в сортів ‘Sunburst’, ‘Dacotah’, ‘Nebraska’ становить приблизно 140 діб, у ‘Cave-in-Rock’, ‘Carthage’, ‘Forestburg’, ‘Shelter’, ‘Зоряне’, ‘Морозко’ та ‘Лядовське’ – 160, у ‘Kanlow’, ‘Alamo’, ‘Blackwell’ і ‘Pathfinder’ – 180 діб (рис. 1).

Упродовж років досліджень тривалість вегетаційного періоду проса прутіноподібного

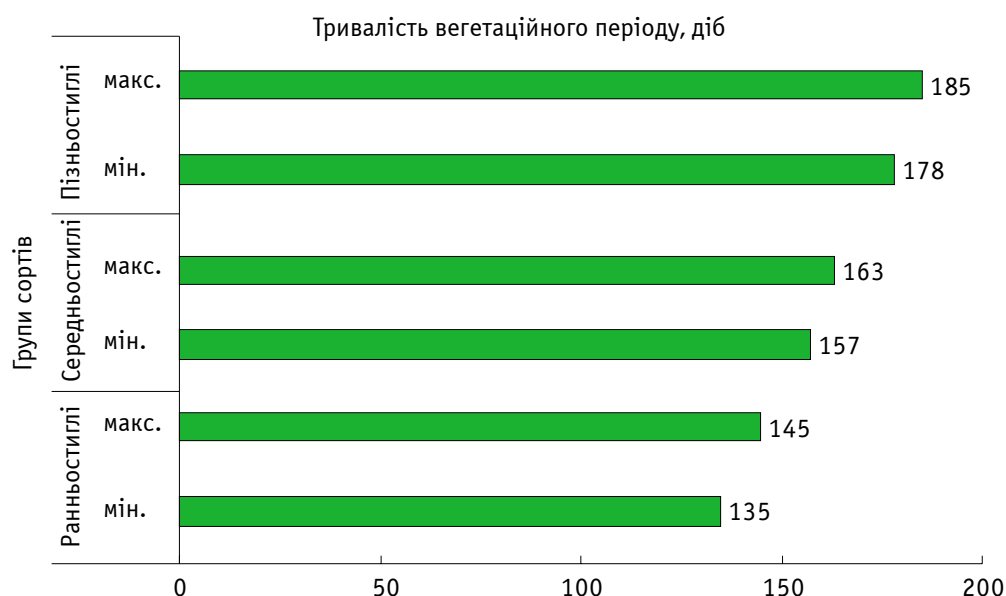


Рис. 1. Тривалість вегетаційного періоду сортів проса прутіноподібного (2017–2021 рр.)

була різною залежно від кліматичних умов у всіх групах стиглості.

У сортів ранньостиглої групи вегетаційний період тривав від 135 до 145 діб (у середньому 140 діб), середньої – від 157 до 163 діб (у середньому 160 діб) і пізньостиглої – 178–182 доби (у середньому 180 діб). Установлено, що за роки досліджень вегетаційний період пізньостиглих сортів був на 19–21 добу довшим порівняно із середньостиглими, і на 37–43 діб – порівняно з ранньостиглими сортами. Результати наших досліджень щодо розподілу сортів проса

прутоподібного на групи стиглості за тривалістю вегетаційного періоду цілком збігаються з даними інших авторів [49].

До адаптивних особливостей проса пруроподібного належать такі показники, як посухостійкість і стійкість до вилягання.

З усіх досліджуваних сортів за адаптивними властивостями виокремлено 'Cave-in-Rock', 'Морозко', 'Лядовське' й 'Зоряне', які протягом років дослідження за показниками посухостійкості та морозостійкості, а також стійкістю до вилягання мали найвищі бали (табл. 3, рис. 2–5).

Таблиця 3

Адаптивні властивості сортів проса пруроподібного (2017–2021 рр.)

Сорт	Посухостійкість, бал	Морозостійкість, бал	Стійкість до вилягання, бал	Загальна стійкість, бал
'Carthage'	4,9	3,6	4,6	4,4
'Blackwell'	3,9	4,5	2,8	3,7
'Pathfinder'	3,8	4,5	2,9	3,7
'Shelter'	4,5	4,5	3,5	4,2
'Cave in Rock'	4,7	4,9	4,6	4,7
'Forestburg'	4,7	3,9	4,8	4,5
'Sunburst'	3,5	3,0	3,8	3,4
'Dacotah'	3,8	2,5	3,9	3,4
'Nebraska'	2,0	2,7	3,6	2,8
'Kanlow'	1,0	1,7	2,8	1,8
'Alamo'	1,0	2,0	2,9	2,0
'Морозко'	4,8	5,0	4,7	4,8
'Зоряне'	5,0	5,0	4,9	5,0
'Лядовське'	4,7	4,9	4,7	4,8

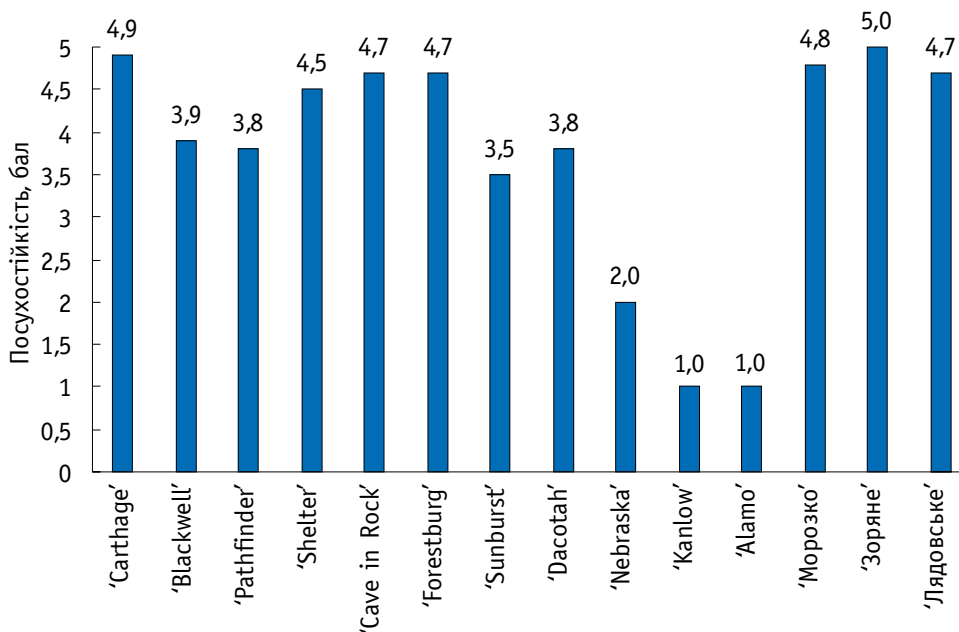


Рис. 2. Посухостійкість сортів проса пруроподібного (2017–2021 рр.)

Упродовж років досліджень усі сорти проса пруроподібного характеризувалися високою посухостійкістю – 3,5 бала і більше (окрім сортів 'Alamo', 'Nebraska', 'Kanlow', для яких цей показник був на

рівні 2 і менше балів), мали високу й середню стійкість до вилягання – від 3,5 до 4,9 бала, окрім сортів 'Blackwell', 'Pathfinder', 'Kanlow', 'Alamo' – на рівні 3 балів.

Протягом років дослідження визначено ступінь пристосування рослин проса прутоподібного до умов вирощування за посухо- й морозостійкістю та стійкістю до вилягання посівів (рис. 2–5).

Упродовж років досліджень, найвищою посухостійкістю відзначилися сорти ‘Cave-

in-Rock’, ‘Зоряне’, ‘Морозко’, ‘Лядовське’, найменшою – ‘Nebraska’, ‘Kanlow’ та ‘Alamo’, що, ймовірно, пов’язано із пристосувальними реакціями височинного екотипу сортів проса прутоподібного: збільшенням кореневої системи та наземної вегетативної маси рослин.

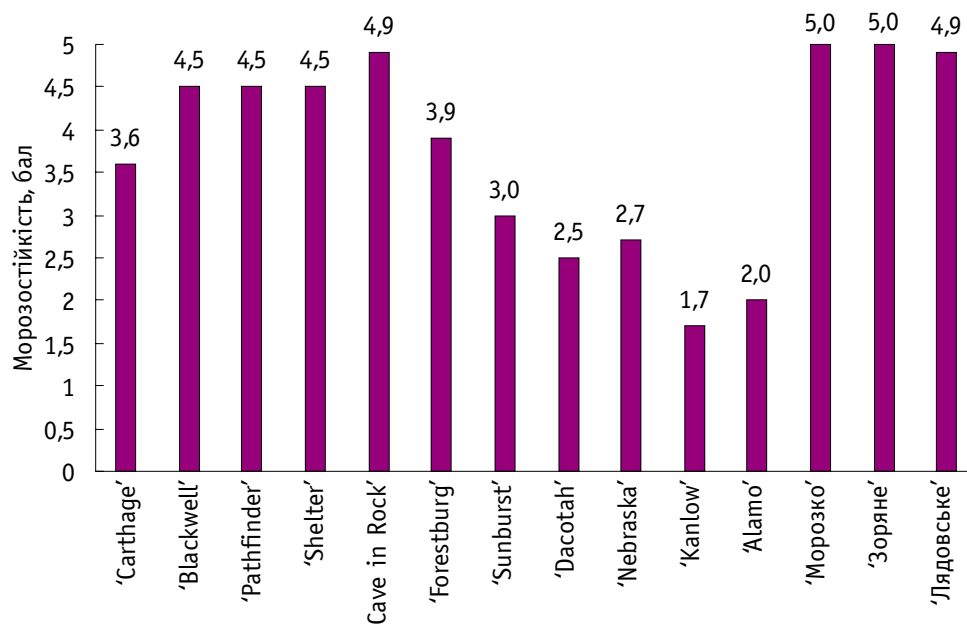


Рис. 3. Морозостійкість сортів проса прутоподібного (2017–2021 рр.)

Визначено, що найвища морозостійкість (із сумою балів понад 4) притаманна рослинам сортів ‘Cave-in-Rock’, ‘Зоряне’, ‘Морозко’ та ‘Лядовське’. Найменш морозостійкими виявилися сорти ‘Kanlow’ та ‘Alamo’ – на рівні 2 балів. Усі інші сорти проса прутопо-

дібного мали проміжне значення за цим показником. Серед досліджуваного сортименту проса прутоподібного також виділено стійкі та менш стійкі до вилягання сорти (рис. 4).

Загалом за роки дослідження найвищою стійкістю до вилягання відзначалися сорти

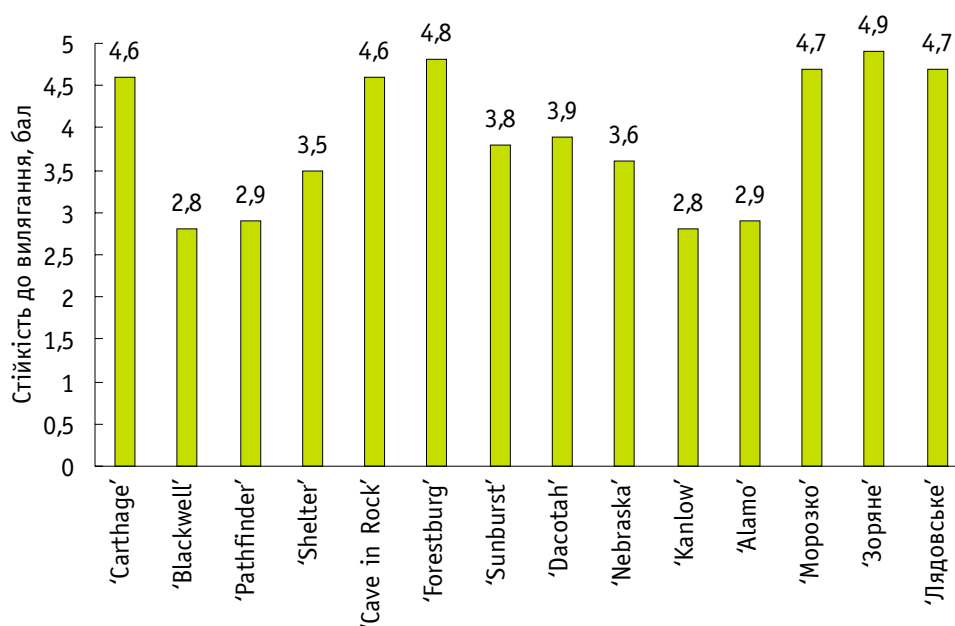


Рис. 4. Стійкість до вилягання сортів проса прутоподібного (2017–2021 рр.)

‘Cave-in-Rock’, ‘Зоряне’, ‘Морозко’ та ‘Лядовське’ – на рівні 5 балів, найнижчою – ‘Blackwell’, ‘Pathfinder’, ‘Kanlow’, ‘Alamo’ – 3 бали. Низька стійкість останніх сортів зумовлена меншим діаметром нижнього міжвузля та товщиною самої соломини, а також будовою наземної частини їхніх рослин. Це підтверджується й нашими попередніми дослідженнями, у яких прослідковується зв'язок між адаптивними властивостями енергетичних культур та агробіологічними чинниками [8, 50]. За даними D. K. Lee та A. Voe [20], вищий потенціал урожайності біомаси притаманний менш адаптованому до умов вирощування (центральна частина Південної Дакоти) сорту ‘Cave-in-Rock, порівняно з більш адаптованим ‘Dacotah’. Ця залежність проявлялась у ті роки, коли кількість опадів становила понад 75% від їх середнього багаторічного значення.

У селекції проса прутіподібного одним із джерел нового вихідного матеріалу є комплексна стійкість (посухо- і морозостійкість, стійкість до вилягання рослин), що притаманна сортам проса прутіподібного ‘Cave-in-Rock’, ‘Зоряне’, ‘Морозко’ та ‘Лядовське’.

За даними [23], найвищу урожайність сухої біомаси на третій рік вегетації формують сорти проса прутіподібного ‘Cave-in-Rock’, ‘Carthage’, ‘Forestburg’ – понад 16,0 т/га, дещо нижчу – ‘Nebraska’, ‘Sunburst’ (15,4 і 15,2 т/га), а найменшу – сорти ‘Kanlow’ і ‘Alamo’ (12,0 і 12,2 т/га відповідно).

Інші дослідники [51] установили, що сорти проса прутіподібного: ‘Alamo’, ‘Kanlow’ і ‘Pathfinder’ були урожайнішими порівняно з ‘Blackwell’ і ‘Cave-in-Rock’, та мали вищу стійкість до вилягання стеблостою.

Згідно з результатами випробувань 13 сортів проса прутіподібного та міскантуса, Zheng Cheng разом із співавторами [52] визначили, що середня врожайність біомаси світчграсу становила 5,66 т/га, а у 12 сортів міскантуса змінювалась від 1,99 до 32,09 т/га. Урожай біомаси міскантуса був значно вищим, ніж у сортів проса прутіподібного, однак вони були більш чутливими до погодних умов, ніж світчграс.

Вищевикладене цілком збігається з нашими попередніми дослідженнями [53], у яких встановлено, що просо прутіподібне третього-п'ятого року вегетації формує високу врожайність за сухою біомасою (до 15,2 т/га), але значно нижчу, ніж міскантус гігантський. Визначено, що світчграс забезпечує високі показники виходу біопалива (до 18,2 т/га) та енергії (до 313,0 ГДж/га) за середнього рівні коефіцієнта енергоефективності ($Ke > 4,5$).

Установлено, що варіювання врожайності за сухою біомасою у досліджуваних сортів проса прутіподібного було в межах від 12,1 до 15,6 т/га, з найвищими показниками у сортів закордонної – ‘Blackwell’, ‘Carthage’ і ‘Pathfinder’, та української – ‘Морозко’, ‘Зоряне’ і ‘Лядовське’ селекції. Дані щодо вмісту сухої речовини та врожайності біомаси сортів проса прутіподібного наведено в таблиці 4.

За вмістом сухого залишку в біомасі виокремлено сорти культури пізньостиглої групи ‘Blackwell’, ‘Carthage’ і ‘Pathfinder’, а також середньостиглі ‘Морозко’, ‘Зоряне’ і ‘Лядовське’. За врожайністю біомаси найбільше значення мали середньо- й пізньостиглі сорти (рис. 5).

Таблиця 4

Уміст сухої речовини та врожайність біомаси проса прутіподібного (2017–2021 рр.)

Сорт	Маса сирого снопа, кг/м ²	Сухий залишок, %	Маса сухого снопа, кг/м ²	Урожайність сухої біомаси, т/га
‘Carthage’	2,4	64,3	1,54	15,4
‘Blackwell’	2,4	65,0	1,56	15,6
‘Pathfinder’	2,4	64,1	1,54	15,3
‘Shelter’	2,2	61,2	1,35	13,5
‘Cave in Rock’	2,4	60,8	1,46	14,6
‘Forestburg’	2,2	58,7	1,29	12,9
‘Sunburst’	2,3	60,2	1,38	13,8
‘Dacotah’	2,1	57,5	1,21	12,1
‘Nebraska’	2,2	58,3	1,28	12,8
‘Kanlow’	2,3	63,3	1,46	14,5
‘Alamo’	2,2	63,1	1,39	13,9
‘Морозко’	2,4	63,8	1,53	15,3
‘Зоряне’	2,4	64,1	1,54	15,4
Лядовське’	2,4	64,4	1,55	15,5
Середнє	2,3	62,1	1,4	14,3
НІР _{0,05}	0,04	1,23	0,05	0,15

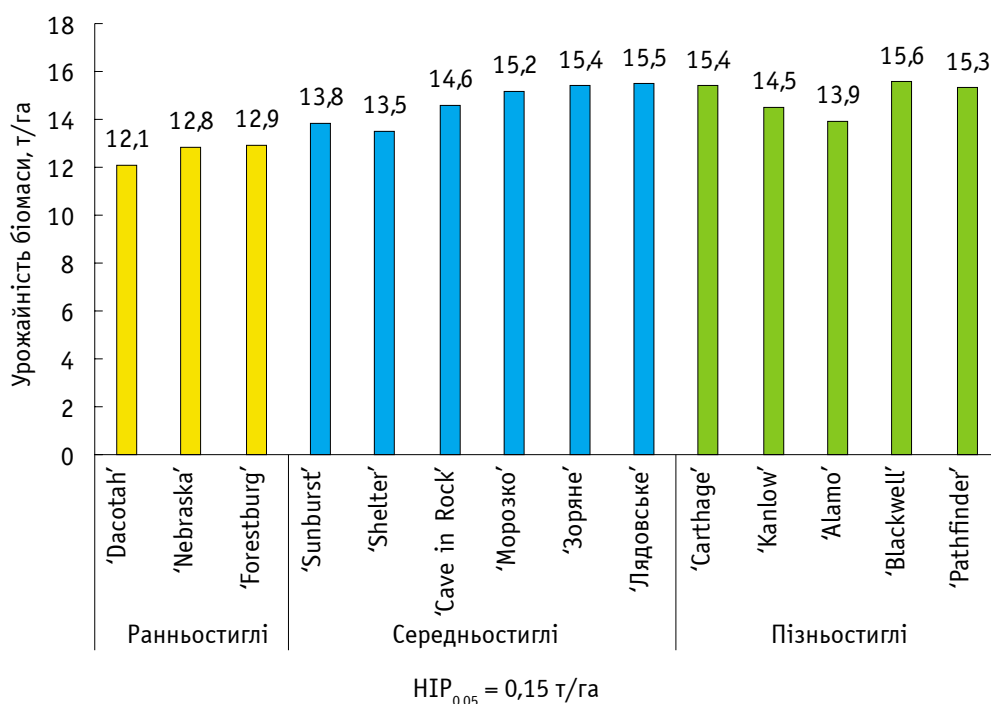


Рис. 5. Урожайність біомаси сортів проса прутіподібного (2017–2021 рр.)

Отже, серед досліджених сортів проса прутіподібного найвищу врожайність біомаси формували 'Blackwell', 'Лядовське', 'Carthage' і 'Зоряне' (відповідно 15,6; 15,5; 15,4 і 15,4 т/га), дещо меншу – 'Pathfinder' і 'Морозко' (15,3 і 15,2 т/га). Ці сорти культури рекомендовано використовувати як вихідний матеріал для селекції за продуктивністю. Низька врожайність біомаси характерна для ранньостиглих сортів 'Forestburg', 'Dacotah', 'Nebraska' (від 12,1 до 12,9 т/га). Інші сорти проса прутіподібного за цим показником займали проміжне значення (від 13,5 до 14,6 т/га).

Висновки

1. У результаті фенологічних спостережень за тривалістю вегетаційного періоду виокремлено ранні, середні та пізньостиглі сорти проса прутіподібного. До ранньостиглих належать 'Dacotah', 'Sunburst' і 'Nebraska', до середньостиглих – 'Cave-in-Rock', 'Forestburg', 'Carthage', 'Shelter', 'Морозко', 'Зоряне', 'Лядовське', до пізньостиглих – 'Alamo', 'Kanlow', 'Blackwell', 'Pathfinder'.

2. Усі сорти проса прутіподібного, окрім 'Alamo', 'Nebraska' і 'Kanlow', характеризуються високою посухо- й морозостійкістю. Високу й середню стійкість до вилягання мали майже всі сорти, окрім 'Blackwell', 'Pathfinder', 'Kanlow' та 'Alamo'. Комплексна стійкість за посухо- й морозостійкістю та стійкістю до вилягання рослин притаманна сортам 'Cave-in-Rock', 'Зоряне', 'Морозко' і

'Лядовське', які рекомендовано використовувати як вихідний матеріал для селекції за стійкістю до абіотичних чинників.

3. За показниками сухого залишку в біомасі та її врожайністю найвищі показники відзначено в сортів проса прутіподібного закордонної – 'Blackwell', 'Carthage' і 'Pathfinder' та української – 'Морозко', 'Зоряне' і 'Лядовське' селекції, які рекомендовано як вихідний матеріал для селекції за продуктивністю біомаси.

Використана література

- Sanderson M. A., Adler P. R., Boateng A. A. et al. Switchgrass as a biofuels feedstock in the USA. *Canadian Journal of Plant Science*. 2006. Vol. 86, Iss. 5. P. 1315–1325. doi: 10.4141/P06 136
- Madakadze I. C., Prithiviraj B., Madakadze R. M. et al. Effect of preplant seed conditioning treatment on the germination of switchgrass (*Panicum virgatum* L.). *Seed Science and Technology*. 2000. Vol. 28, Iss. 2. P. 403–411.
- Дрига В. В., Доронін В. А., Кравченко Ю. А., Доронін В. В. Сортування насіння проса прутіподібного за аеродинамічними властивостями як спосіб підвищення його якості. *Біоенергетика*. 2021. № 2. С. 16–20. doi: 10.47414/be.2.2021. 244103
- Дрига В. В., Доронін В. А., Карпук Л. М. та ін. Сортування насіння проса прутіподібного (*Panicum virgatum* L.) за сукупністю ознак. *Агробіологія*. 2021. № 2. С. 50–56. doi: 10.33245/2310 9270 2021 167 2 50 56
- Doronin V., Dryha V., Honcharuk H. et al. Seed germination of switchgrass (*Panicum virgatum* L.) depending on its biological peculiarities. *Plant Archives*. 2020. Vol. 20, Iss. 2. P. 7493–7496.
- Guo C., Wang Q., Liu Y. et al. Modelling analysis for enhancing seed vigour of switchgrass (*Panicum virgatum* L.) using an ultrasonic technique. *Biomass and Bioenergy*. 2012. Vol. 47. P. 426–435. doi: 10.1016/j.biombioe.2012.09.015
- Щербаківа Т. О., Рахметов Д. Б. Особливості будови пагонів проса прутіподібного (*Panicum virgatum* L.) в умовах інтродукції в Правобережному Лісостепу та Поліссі України. *Plant*

- Varieties Studying and Protection*. 2017. Т. 13, № 1. С. 85–88. doi: 10.21498/2518 1017.13.1.2017.97334
8. Кулик М. І., Рожко І. І., Сиплива Н. О., Божок Ю. О. Агробіологічні особливості формування врожайності та якості на сіння проса прутоподібного. *Вісник аграрної науки Причорно мор'я*. 2019. Вип. 4. С. 51–60. doi: 10.31521/2313 092X/2019 4(104) 6
 9. Гументик М. Я. Агротехнічні прийоми вирощування проса прутоподібного *Panicum virgatum* L. *Біоенергетика*. 2014. № 1. С. 29–32.
 10. Калетнік Г. М., Мазур В. А., Браніцький Ю. Ю., Мазур О. В. Оптимізація технологічних прийомів вирощування проса лозо видного (світчграс) для умов Лісостепу Правобережного. *Вінниця : Друк*, 2020. 212 с.
 11. Gazoulis I., Kanatas P., Papastylanou P. et al. Weed Management Practices to Improve Establishment of Selected Lignocellulosic Crops. *Crops Energies*. 2021. Vol. 14, Iss. 9. Article 2478. doi: 10.3390/en14092478
 12. Iqbal Y., Gauder M., Claupein W. et al. Yield and quality development comparison between miscanthus and switchgrass over a period of 10 years. *Energy*. 2015. Vol. 89. P. 268–276. doi: 10.1016/j.energy.2015.05.134
 13. Brandon A. G., Scheller H. V. Engineering of bioenergy crops: dominant genetic approaches to improve polysaccharide properties and composition in biomass. *Frontiers in Plant Science*. 2020. Vol. 11. Article 282. doi: 10.3389/fpls.2020.00282
 14. Kumar P., Hashemi M., Herbert S. J. et al. Integrated Management Practices for Establishing Upland Switchgrass Varieties. *Agronomy*. 2021. Vol. 11, Iss. 7. Article 1400. doi: 10.3390/agronomy11071400
 15. Sanderson M. A., Schmer M. R., Owens V. et al. Crop management of Switchgrass. *Switchgrass. A Valuable Biomass Crop for Energy / A. Monti* (Ed.). London : Springer, 2012. P. 87–112. doi: 10.1007/978 1 4471 2903 5_4
 16. Miesel J. R., Renz M. J., Doll J. E., Jackson R. D. Effectiveness of weed management methods in establishment of switchgrass and a native species mixture for biofuels in Wisconsin. *Biomass and Bioenergy*. 2012. Vol. 36. P. 121–131. doi: 10.1016/j.biombioe.2011.10.018
 17. Polley H. W., Collins H. P., Fay P. A. Biomass production and temporal stability are similar in switchgrass monoculture and diverse grassland. *Biomass and Bioenergy*. 2020. Vol. 142. Article 105758. doi: 10.1016/j.biombioe.2020.105758
 18. Korenko M., Bulgakov V., Kurylo V. et al. Formation of Crop Yields of Energy Crops Depending on the Soil and Weather Conditions. *Acta Technologica Agriculturae*. 2021. Vol. 24, Iss. 1. P. 41–47. doi: 10.2478/ata 2021 0007
 19. Рахметов Д. Б., Вергун О. М., Рахметова С. О. *Panicum virgatum* L. – перспективний інтродуцент у Національному ботанічному саду ім. М. М. Гришка НАН України. *Інтродукція рослин*. 2014. № 3. С. 3–14.
 20. Lee D. K., Boe A. Biomass Production of Switchgrass in Central South Dakota. *Crop Science*. 2005. Vol. 45, Iss. 6. P. 2583–2590. doi: 10.2135/cropsci2005.04 0003
 21. Razar R. M., Qi P., Devos K., Missaoui A. M. Genotyping by Sequencing and QTL Mapping of Biomass Yield in Two Switchgrass F₁ Populations (Lowland × Coastal and Coastal × Upland). *Frontiers in Plant Science*. 2022. Vol. 13. P. 739133–739133. doi: 10.3389/fpls.2022.739133
 22. Sanderson M. A., Reed R. L., McLaughlin S. B. et al. Switchgrass as a sustainable bioenergy crop. *Bioresource Technology*. 1996. Vol. 56, Iss. 1. P. 83–93. doi: 10.1016/0960 8524(95)00176 X
 23. Кулик М. І., Сиплива Н. О. Рівень врожайності проса прутоподібного залежно від сорту та строку збирання. *Таврійський науковий вісник*. 2019. № 107. С. 93–100. doi: 10.32851/2226 0099.2019.107.12
 24. Casler M. D., Sosa S., Hofmann L. et al. Biomass yield of switchgrass cultivars under high vs. low input conditions. *Crop Science*. 2017. Vol. 57, Iss. 2. P. 821–832. doi: 10.2135/cropsci2016.08.0698
 25. Childs K. L., Nandety A., Hirsch C. N. et al. Generation of Transcript Assemblies and Identification of Single Nucleotide Polymorphisms from Seven Lowland and Upland Cultivars of Switchgrass. *The Plant Genome*. 2014. Vol. 7, Iss. 2. doi: 10.3835/plantgenome2013.12.0041
 26. Філіпась Л. П., Горобець А. М., Мандровська С. М. Продуктивність різних сортів світчграсу. *Наукові праці Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків*. 2012. Вип. 14. С. 359–361.
 27. Орлов С. Д. Особливості прояву біологічних, господарських ознак рослин *Panicum virgatum* (світчграс) з метою створення сортів з високою енергетичною цінністю в Лісостеповій зоні України. *Наукові праці Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків*. 2013. Вип. 19. С. 93–96.
 28. Кулик М. І., Рахметов Д. Б., Рожко І. І., Сиплива Н. О. Вихідний матеріал проса прутоподібного (*Panicum virgatum* L.) за комплексом господарсько цінних ознак в умовах Центрального Лісостепу України. *Plant Varieties Studying and Protection*. 2019. Т. 15, № 4. С. 354–364. doi: 10.21498/2518 1017.15.4.2019.188549
 29. Wullschlegel S. D., Sanderson M. A., McLaughlin S. B. et al. Photosynthetic Rates and Ploidy Levels among Populations of Switchgrass. *Crop Science*. 1996. Vol. 36, Iss. 2. P. 306–312. doi: 10.2135/cropsci1996.0011183X003600020016x
 30. Alexopoulou E., Sharma N., Papatheohari Y. et al. Biomass yields for upland and lowland switchgrass varieties grown in the Mediterranean region. *Biomass and Bioenergy*. 2008. Vol. 32, Iss. 10. P. 926–933. doi: 10.1016/j.biombioe.2008.01.015
 31. Кулик М. І., Курило В. Л. Енергетичні культури для виробництва біопалива: довідник. Полтава: РВВ ПДАА, 2017. 74 с.
 32. Keshwani D. R., Cheng J. J. Switchgrass for bioethanol and other value added applications: a review. *Bioresource Technology*. 2009. Vol. 100, Iss. 4. P. 1515–1523. doi: 10.1016/j.biortech.2008.09.035
 33. Kulyk M. I., Kurylo V. L., Kalinichenko O. V., Galytska M. A. Plant energy resources: agroecological, economic and energy aspects. *Poltava : Astraya*, 2019. 119 p.
 34. Berezyuk S., Tokarchuk D., Pryshliak N. Economic and Environmental Benefits of Using Waste Potential as a Valuable Secondary and Energy Resource. *Journal of Environmental Management and Tourism*. 2019. Vol. 10, Iss. 1. P. 149–160. doi: 10.14505//jemt.10.1(33).15
 35. Тимошенко І. І., Майшук З. М., Косилович Г. О. Основи наукових досліджень в агрономії. Львів : ЛДАУ, 2004. 111 с.
 36. Роїк М., Рахметов Д., Гончаренко С. та ін. Методика проведення експертизи сортів проса прутоподібного (*Panicum virgatum* L.) на відмінність, однорідність і стабільність. Київ, 2014. С. 637–651.
 37. Parrish D. J., Fike J. H. Selecting, establishing and managing switchgrass (*Panicum virgatum*) for biofuels. *Biofuels Methods in Molecular Biology (Methods and Protocols) / J. Mielenz* (Ed.). Totowa, NJ : Humana Press, 2009. Vol. 581. P. 27–40. doi: 10.1007/978 1 60761 214 8_2
 38. Методика державного сортопробування сільськогосподарських культур. Вип. 1. Загальна частина / за ред. В. В. Волкодава. Київ, 2000. 100 с.
 39. Курило В. Л., Гументик М. Я., Гончарук Г. С. та ін. Методичні рекомендації з проведення основного та передпосівного обробітків ґрунту і сівби проса лозовидного. Київ : ІБКіЦБ, 2012. 28 с.
 40. Cherney J. H., Cherney D. J. R., Paddock K. M. Biomass Yield and Composition of Switchgrass Bales on Marginal Land as Influenced by Harvest Management Scheme. *BioEnergy Research*. 2018. Vol. 11, Iss. 1. P. 34–43. doi: 10.1007/s12155 017 9875 y
 41. McLaughlin S. B., Kszos L. A. Development of switchgrass (*Panicum virgatum*) as a bioenergy feedstock in the United States. *Biomass and Bioenergy*. 2005. Vol. 28, Iss. 6. P. 515–535. doi: 10.1016/j.biombioe.2004.05.006
 42. Кулик М. І., Рахметов Д. Б., Курило В. Л. Методика проведення польових та лабораторних досліджень з просом прутоподібним (*Panicum virgatum* L.). Полтава : РВВ ПДАА, 2017. 24 с.
 43. Kulyk M., Elbersen W. Methods of calculation productivity phytomass for switchgrass in Ukraine. *Poltava*, 2012. 10 p.

44. Seed Smut of Switchgrass. USDA NRCS Plant Materials Program. Americus, GA, USA : Manhattan Plant Materials Center News letter, 2011. URL: https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_PLANTMATERIALS/publications/gapmcfcs10202.pdf
45. Державний Реєстр сортів рослин, придатних для поширення в Україні на 2022 рік / Мін во аграр. політики та прод ва України. Київ, 2022. URL: https://sops.gov.ua/derzavnij_reestr
46. Williams T., Auer C. Ploidy Number for *Panicum virgatum* (switch grass) from the Long Island Sound Coastal Lowland compared to Upland and Lowland Cultivars. *Plant Science Articles*. 2014. Vol. 27. URL: https://opencommons.uconn.edu/plsc_articles/27
47. Lu F., Lipka A. E., Glaubitz J. et al. Switchgrass genomic diversity, ploidy, and evolution: novel insights from a network based SNP discovery protocol. *PLoS Genetics*. 2013. Vol. 9, Iss. 1. Article e1003215. doi: 10.1371/journal.pgen.1003215
48. Elbersen H. W., Poppens R. P., Bakker R. R. C. Switchgrass (*Panicum virgatum* L.). A perennial biomass grass for efficient production of feedstock for the biobased economy. Wageningen : Wageningen UR, Food & Biobased Research, 2013. 28 p.
49. Alexopoulou E., Zanetti F., Papazoglou G. E. et al. Long Term Productivity of Thirteen Lowland and Upland Switchgrass Ecotypes in the Mediterranean Region. *Agronomy*. 2020. Vol. 10, Iss. 7. Article 923. doi: 10.3390/agronomy10070923
50. Курило В. Л., Рахметов Д. Б., Кулик М. І. Біологічні особливості та потенціал урожайності енергетичних культур родини тонконогових в умовах України. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2018. № 1. С. 11–17. doi: 10.31210/visnyk2018.01.01
51. Alexopoulou E., Zanetti F., Papazoglou E. G. et al. Long term studies on switchgrass grown on a marginal area in Greece under different varieties and nitrogen fertilization rates. *Industrial Crops and Products*. 2017. Vol. 107, Iss. 15. P. 446–452. doi: 10.1016/j.indcrop.2017.05.027
52. Zheng C., Iqbal Y., Labonte N. et al. Performance of switchgrass and *Miscanthus* genotypes on marginal land in the Yellow River Delta. *Industrial Crops and Products*. 2019. Vol. 141, Iss. 1. Article 111773. doi: 10.1016/j.indcrop.2019.111773
53. Kulyk M., Kalynychenko O., Pryshliak N., Pryshliak V. Efficiency of using biomass from energy crops for sustainable bioenergy development. *Journal of Environmental Management and Tourism*. 2020. Vol. 11, Iss. 5. P. 1040–1053. doi: 10.14505/jemt.v11.5(45).02
6. Guo, C., Wang, Q., Liu, Y., Li, Y., Cui, J., Liu, Y., Liu, H., & Zhang, Y. (2012). Modelling analysis for enhancing seed vigour of switch grass (*Panicum virgatum* L.) using an ultrasonic technique. *Bio mass and Bioenergy*, 47, 426–435. doi: 10.1016/j.biombioe.2012.09.015
7. Scherbakova, T. O., & Rakhmetov, D. B. (2017). Structural peculiarities of shoots of switch grass (*Panicum virgatum* L.) in the context of introduction in the Right Bank Forest Steppe and Polissia zones of Ukraine. *Plant Varieties Studying and Protection*, 13(1), 85–88. doi: 10.21498/2518_1017.13.1.2017.97334 [In Ukrainian]
8. Kulyk, M. I., Rozhko, I. I., Syplyva, N. O., & Bozhok, Yu. O. (2019). Agrobiological specifics of switchgrass seed productivity for mation. *Ukrainian Black Sea Region Agrarian Science*, 4, 51–60. doi: 10.31521/2313_092X/2019_4(104)_6 [In Ukrainian]
9. Humentyk, M. Ya. (2014). Agrotechnical methods of growing switchgrass *Panicum virgatum* L. *Bioenergy*, 1, 29–32. [In Ukrainian]
10. Kaletnik, H. M., Mazur, V. A., Branitskyi, Y. Yu., & Mazur, O. V. (2020). *Optimization of technological methods of cultivation of vine shaped millet (switchgrass) for the conditions of the Left Bank Forest Steppe*. Vinnytsia: Print. [In Ukrainian]
11. Gazoulis, I., Kanatas, P., Papastylianou, P., Alexandros, T., Alexopoulou, E., & Travlos, I. (2021). Weed Management Practices to Improve Establishment of Selected Lignocellulosic Crops. *Crops Energies*, 14(9), Article 2478. doi: 10.3390/en14092478
12. Iqbal, Y., Gauder, M., Claupein, W. Graeff Hönninger, S., & Lewandowski, I. (2015). Yield and quality development comparison between miscanthus and switchgrass over a period of 10 years. *Energy*, 89, 268–276. doi: 10.1016/j.energy.2015.05.134
13. Brandon, A. G., & Scheller, H. V. (2020). Engineering of bioenergy crops: dominant genetic approaches to improve polysaccharide properties and composition in biomass. *Frontiers in Plant Science*, 11, Article 282. doi: 10.3389/fpls.2020.00282
14. Kumar, P., Hashemi, M., Herbert, S. J., Jahanzad, E., Safari Katesari, H., Battaglia, M., Zandvakili, O. R., & Sadeghpour, A. (2021). Integrated Management Practices for Establishing Upland Switchgrass Varieties. *Agronomy*, 11(7), Article 1400. doi: 10.3390/agronomy11071400
15. Sanderson, M. A., Schmer, M. R., Owens, V., Keyser, P., & Elbersen, W. (2012). Crop management of Switchgrass. In A. Monti (Ed.), *Switchgrass. A Valuable Biomass Crop for Energy* (pp. 87–112). London: Springer. doi: 10.1007/978_1_4471_2903_5_4
16. Miesel, J. R., Renz, M. J., Doll, J. E., & Jackson, R. D. (2012). Effectiveness of weed management methods in establishment of switchgrass and a native species mixture for biofuels in Wisconsin. *Biomass and Bioenergy*, 36, 121–131. doi: 10.1016/j.biombioe.2011.10.018
17. Polley, H. W., Collins, H. P., & Fay, P. A. (2020). Biomass production and temporal stability are similar in switchgrass monoculture and diverse grassland. *Biomass and Bioenergy*, 142, Article 105758. doi: 10.1016/j.biombioe.2020.105758
18. Korenko, M., Bulgakov, V., Kurylo, V., Kulyk, M., Kainichanko, A., Ihnatiev, Y., & Matusekova, E. (2021). Formation of Crop Yields of Energy Crops Depending on the Soil and Weather Conditions. *Acta Technologica Agriculturae*, 24(1), 41–47. doi: 10.2478/ata.2021.0007
19. Rakhmetov, D. B., Verhun, O. M., & Rakhmetova, S. O. (2014). *Panicum virgatum* L. – promising introduced crop in M. M. Gryshko National Botanical Garden of the NAS of Ukraine. *Plant Introduction*, 3, 3–14. [In Ukrainian]
20. Lee, D. K., & Boe, A. (2005). Biomass Production of Switch grass in Central South Dakota. *Crop Science*, 45(6), 2583–2590. doi: 10.2135/cropsci2005.04.0003
21. Razar, R. M., Qi, P., Devos, K., & Missaoui A. M. (2022). Genotyping by Sequencing and QTL Mapping of Biomass Yield in Two Switchgrass Populations (Lowland × Coastal and Coastal × Upland). *Frontiers in Plant Science*, 13, 739133–739133. doi: 10.3389/fpls.2022.739133

22. Sanderson, M. A., Reed, R. L., McLaughlin, S. B., Wullschlegel, S. D., Conger, B. V., Parrish, D. J., ... Tischler, C. R. (1996). Switch grass as a sustainable bioenergy crop. *Bioresource Technology*, 56(1), 83–93. doi: 10.1016/0960 8524(95)00176 X
23. Kulyk, M. I., & Syplyva, N. A. (2019). Level productivity switch grass depending on the sort and time harvesting. *Taurian Scientific Herald*, 107, 93–100. doi: 10.32851/2226 0099.2019.107.12 [In Ukrainian]
24. Casler, M. D., Sosa, S., Hofmann, L., Mayton, H., Ernst, C., Adler, P. R., Boe, A. R., & Bonos, S. A. (2017). Biomass yield of switchgrass cultivars under high vs. low input conditions. *Crop Science*, 57(2), 821–832. doi: 10.2135/cropsci2016.08.0698
25. Childs, K. L., Nandety, A., Hirsch, C. N., Góngora Castillo, E., Schmutz, J., Kaeppler, S. M., Casler, M. D., & Buell, C. R. (2014). Generation of Transcript Assemblies and Identification of Single Nucleotide Polymorphisms from Seven Lowland and Upland Cultivars of Switchgrass. *The Plant Genome*, 7(2). doi: 10.3835/plantgenome2013.12.0041
26. Filipas, L. P., Horobets, A. M., & Mandrovska, S. M. (2012). Productivity of different varieties of switchgrass. *Scientific Papers of Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet*, 14, 359–361. [In Ukrainian]
27. Orlov, S. D. (2013). Display of biological and economic features of switchgrass (*Panicum virgatum*) and developing new varieties with high energy value in the Forest Steppe zone of Ukraine. *Scientific Papers of Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet*, 19, 93–96. [In Ukrainian]
28. Kulyk, M. I., Rakhmetov, D. B., Rozhko, I. I., & Syplyva, N. O. (2019). The study of the varietal specimens of switchgrass (*Panicum virgatum* L.) on a complex of useful signs in the Central Forest Steppe of Ukraine conditions. *Plant Varieties Studying and Protection*, 15(4), 354–364. doi: 10.21498/2518 1017.15.4.2019.188549 [In Ukrainian]
29. Wullschlegel, S. D., Sanderson, M. A., McLaughlin, S. B., Biradar, D. P., & Rayburn, A. L. (1996). Photosynthetic Rates and Ploidy Levels among Populations of Switchgrass. *Crop Science*, 36(2), 306–312. doi: 10.2135/cropsci1996.0011183X003600020016x
30. Alexopoulou, E., Sharma N., Papatheohari Y., Myrsini, C., Picioneri, I., Panoutsou, C., & Pignatelli, V. (2008). Biomass yields for upland and lowland switchgrass varieties grown in the Mediterranean region. *Biomass and Bioenergy*, 32(10), 926–933. doi: 10.1016/j.biombioe.2008.01.015
31. Kulyk, M. I., & Kurylo, V. L. (2017). *Enerhetychni kultury dlia vyrobnytstva biopalyva: dovidnyk* [Energy crops for biofuel production: a guide]. Poltava: RVV PDAA. [In Ukrainian]
32. Keshwani, D. R., & Cheng, J. J. (2009). Switchgrass for bioethanol and other value added applications: a review. *Bioresource Technology*, 100(4), 1515–1523. doi: 10.1016/j.biortech. 2008.09.035
33. Kulyk, M. I., Kurylo, V. L., Kalinichenko, O. V., & Galytska, M. A. (2019). *Plant energy resources: agroecological, economic and energy aspects*. Poltava: Astraya. [In Ukrainian]
34. Bereznyuk, S., Tokarchuk, D., & Pryshliak, N. (2019). Economic and Environmental Benefits of Using Waste Potential as a Valuable Secondary and Energy Resource. *Journal of Environmental Management and Tourism*, 10(1), 149–160. doi: 10.14505//jemt.10.1(33).15
35. Tymoshenko, I. I., Maishchuk, Z. M., & Kosylovych, H. O. (2004). *Osnovy naukovykh doslidzhen v ahronomii* [Fundamentals of scientific research in agronomy]. Lviv: LSAU. [In Ukrainian]
36. Roik, M., Rakhmetov, D., Honcharenko, S., Kurylo, V., Humentyuk, M. Blium, Ya., ... Andriushchenko, A. (2014). *Metodyka provedennia ekspertyzy sortiv prosa prutopodibnogo (Panicum virgatum L.) na vidminnist, odnoridnist i stabilnist* [Methodology for examination of varieties of millet (*Panicum virgatum* L.) for distinction, homo geneity and stability] (pp. 637–651). Kyiv: N.p. [In Ukrainian]
37. Parrish, D. J., & Fike, J. H. (2009). Selecting, establishing and managing switchgrass (*Panicum virgatum*) for biofuels. In J. Mielenz (Ed.), *Biofuels Methods in Molecular Biology (Methods and Protocols)* (Vol. 581, pp. 27–40). Totowa, NJ: Humana Press. doi: 10.1007/978 1 60761 214 8_2
38. Volkodava, V. V. (Ed.). (2000). *Metodyka derzhavnoho sortovyp robuвання silskohospodarskykh kultur. Vyp. 1. Zahalna chasty na* [Methodology of state variety testing of agricultural crops. Vol. 1. General part]. Kyiv: N.p. [In Ukrainian]
39. Kurylo, V. L., Humentyuk, M. Ya., Honcharuk, H. S., Smirnykh, V. M., Horobets, A. M., Kaskiv, V. V., Maksymenko, O. V., & Mandrovska, S. M. (2012). *Metodychni rekomendatsii z provedennia os novnoho ta peredposivnoho obrobitkiv gruntu i sivby prosa lo zovydnoho* [Methodical recommendations for carrying out the main and pre sowing tillage and sowing of switch grass]. Kyiv: IBC&SB. [In Ukrainian]
40. Cherney, J. H., Cherney, D. J. R., & Paddock, K. M. (2018). Bio mass Yield and Composition of Switchgrass Bales on Marginal Land as Influenced by Harvest Management Scheme. *BioEnergy Research*, 11(1), 34–43. doi: 10.1007/s12155 017 9875 y
41. McLaughlin, S. B., & Kszos, L. A. (2005). Development of switchgrass (*Panicum virgatum*) as a bioenergy feedstock in the United States. *Biomass and Bioenergy*, 28(6), 515–535. doi: 10.1016/j.biombioe.2004.05.006
42. Kulyk, M. I., Rakhmetov, D. B., & Kurylo, V. L. (2017). *Metodyka provedennia polovykh ta laboratornykh doslidzhen z prosom pru topodibnym (Panicum virgatum L.)* [Methodology of conducting field and laboratory studies with switchgrass (*Panicum virgatum* L.)]. Poltava: PSAA. [In Ukrainian]
43. Kulyk, M., & Elbersen, W. (2012). *Methods of calculation productivity phytomass for switchgrass in Ukraine*. Poltava: N.p. [In Ukrainian]
44. Manhattan Plant Materials Center Newsletter. (2011). *Seed Smut of Switchgrass*. USDA NRCS Plant Materials Program. Americus, GA, USA: Manhattan Plant Materials Center Newsletter. Retrieved from https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_PLANTMATERIALS/publications/gapmcs10202.pdf
45. Ministry of Agrarian Policy and Food of Ukraine. (2022). *State register of plant varieties suitable for dissemination in Ukraine in 2022*. Kyiv: N.p. Retrieved from <https://sops.gov.ua/derzavnij-reestr> [in Ukrainian]
46. Williams, T., & Auer, C. (2014). Ploidy Number for *Panicum virgatum* (switchgrass) from the Long Island Sound Coastal Lowland compared to Upland and Lowland Cultivars. *Plant Science Articles*, 27. Retrieved from https://opencommons.uconn.edu/plsc_articles/27
47. Lu, F., Lipka, A. E., Glaubitz, J., Elshire, R., Cherney, J. H., Casler, M. D., Buckler, E. S., & Costich, D. E. (2013). Switchgrass genomic diversity, ploidy, and evolution: novel insights from a network based SNP discovery protocol. *PLoS Genetics*, 9(1), Article e1003215. doi: 10.1371/journal.pgen.1003215
48. Elbersen, H. W., Poppens R. P., & Bakker, R. R. C. (2013). *Switch grass (Panicum virgatum L.). A perennial biomass grass for efficient production of feedstock for the biobased economy*. Wageningen: Wageningen UR, Food & Biobased Research.
49. Alexopoulou, E., Zanetti, F., Papazoglou, G. E., Iordanoglou, K., & Monti, A. (2020). Long Term Productivity of Thirteen Lowland and Upland Switchgrass Ecotypes in the Mediterranean Region. *Agronomy*, 10(7), Article 923. doi: 10.3390/agronomy10070923
50. Kurylo, V. L., Rakhmetov, D. B., & Kulyk, M. I. (2018). Biological features and potential of yield of energy crops of the thin skinned family in the conditions of Ukraine. *Bulletin of the Poltava State Agrarian Academy*, 1, 11–17. doi: 10.31210/visnyk2018.01.01 [In Ukrainian]
51. Alexopoulou, E., Zanetti, F., Papazoglou, E. G., Christou, M., Papatheohari, Y., Tsiotas, K., & Papamichael, I. (2017). Long term studies on switchgrass grown on a marginal area in Greece under different varieties and nitrogen fertilization rates. *Industrial Crops and Products*, 107(15), 446–452. doi: 10.1016/j.indcrop.2017.05.027
52. Zheng, C., Iqbal, Y., Labonte, N., Sun, G., Feng, H., Yi, Z., & Xiao, L. (2019). Performance of switchgrass and *Miscanthus* genotypes on marginal land in the Yellow River Delta. *Industrial Crops and Products*, 141(1), Article 111773. doi: 10.1016/j.indcrop.2019.111773
53. Kulyk, M., Kalynychenko, O., Pryshliak, N., & Pryshliak, V. (2020). Efficiency of using biomass from energy crops for sustainable bioenergy development. *Journal of Environmental Management and Tourism*, 11(5), 1040–1053. doi: 10.14505//jemt.v11.5(45).02

UDC 633.179:631.559

Kulyk, M. I.*, & **Rozhko I. I.** (2022). Introduced and registered switchgrass varieties (*Panicum virgatum* L.) as a source material for breeding for biomass productivity. *Plant Varieties Studying and Protection*, 18(2), 136–147. https://doi.org/10.21498/2518_1017.18.2.2022.265181

*Poltava State Agrarian University, 1/3 Skovorody St., Poltava, 36003, Ukraine, *e mail: kulykmaksym@ukr.net*

Purpose. On the basis of multi year research on the complex of economically valuable characteristics, the best switchgrass varieties (*Panicum virgatum* L.) 'Patfinder', 'Carthage', 'Blackwell', 'Morozko', 'Liadovske' and 'Zoriane' were singled out as a source material for breeding for productivity.

Methods. The research was conducted during 2017–2021 on the basis of the Poltava State Agrarian University. The soils of the experimental site of the "Energy Crops" collection are typical chernozems with a humus content of 3.4%. Plots were planted with randomized placement of options in four fold repetition according to the methods of experimental work in agronomy. Also, approved scientific practical and methodical recommendations for growing energy crops were applied. To confirm the significant difference between the studied varieties, dispersion analysis using Excel and Statistica programs was used. **Results.** Switchgrass varieties were grouped according to the duration of the growing season into: early (up to 160 days), medium (161–171 days) and late ripening (more than 170 days). The complex resis-

tance of switchgrass varieties to drought, frost and plant lodging: 'Cave in Rock', 'Zoriane', 'Morozko' and 'Liadovske' was revealed. It was determined that economically valuable characteristics depend to a greater extent on varietal characteristics than on growing conditions. The yield of ground vegetative mass based on dry residue for the studied varieties varied from 12.1 to 15.6 t/ha. **Conclusions.** The varieties 'Cave in Rock', 'Zoriane', 'Morozko', 'Liadovske' were the most adaptable to growing conditions. The switchgrass varieties 'Kanlow' and 'Cave in rock' provided the highest plant stand and switchgrass variety 'Dacotah' provided the lowest plant stand. Varieties 'Pathfinder', 'Blackwell', 'Shelter', 'Carthage' and 'Zoriane' were singled out according to the number of stems and productivity. The latter, together with the Ukrainian variety 'Zoriane', are recommended to be used as starting material for crop selection based on biomass productivity.

Keywords: switchgrass; variety; biometric characteristics of plants; yield; phytomass; breeding value.

Надійшла / Received 16.05.2022

Погоджено до друку / Accepted 15.06.2022

Remote spectral analysis of varieties and lines of winter wheat during the flowering period

R. I. Topko¹, H. M. Kovalyshyna²

¹The V. M. Remeslo Myronivka Institute of Wheat, NAAS of Ukraine, Tsentralne village, Obushiv district, Kyiv region, 03022, Ukraine, e mail: R.topko@gmail.com

²National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, 15 Heroiv Oborony St., Kyiv, 03041, Ukraine, e mail: hkovalyshyna@gmail.com

Purpose. Conduct a spectral assessment of winter wheat varieties ('MIP Assol', 'Balada Myronivska', 'Hratsiia Myronivska', 'MIP Yuvileina', 'MIP Lada', 'MIP Dniprianka', and standard 'Podoliianka') and perspective breeding lines ('Erythrosperrum 55023', 'Lutescens 22198', 'Lutescens 37519', 'Lutescens 60049', 'Lutescens 60107') of Myronivka Institute breeding during the flowering period and to evaluate the dependence of the obtained NDVI indicator on their productivity. **Methods.** The research was conducted during the 2018/19–2020/21 growing seasons in the breeding crop rotation of the winter wheat breeding laboratory of the V. M. Remeslo Myronivka Wheat Institute of the National Academy of Sciences of Ukraine. The main method of research is field, supplemented by analytical studies, measurements, calculations and observations. Obtaining values of vegetation indices of varieties and breeding lines of winter wheat was carried out using the Mavic zoom 2 UAV (unmanned aerial vehicle) using the Parrot Sequoia multispectral camera. Pix4Dcapture and Pix4Dmapper programs were used to create an orthophoto map. Photographing was carried out with a multispectral camera at a height of 30 m above the level of the object under study in order to improve the quality of the orthophoto map with an overlap of 80% of the images and a time interval of 2 seconds. The NDVI index (normalized difference vegetation index) was calculated according to the appropriate formula. **Results.** According to the research results, regardless of the conditions of the year, in the first, optimal sowing period (25.09–05.10), the NDVI indicator in the flowering ripening phase of wheat had higher values than in the second, late period (05–15.10) (average value over three years for the first semester was 0.69, the second – 0.62). In the course of the research, we established the dependence of the vegetation index NDVI on the level of productivity of wheat genotypes. The best varieties and promising lines among those studied were 'MIP Lada', 'Lutescens 55198' and 'Lutescens 60049', as well as 'MIP Assol' and 'Hratsiia Myronivska', which were less sensitive to sowing dates and had a higher index and control of yield indicators even with late sowing dates. **Conclusions.** Although existing today phenotyping methods need to be improved and localized, in the near future they will become an indispensable tool for the breeder, which will increase the volume of studied varieties and improve the quality of the results of morpho biological analysis.

Keywords: winter wheat; variety; breeding lines; flowering; NDVI index; spectral evaluation.

Introduction

To feed the several billion people who live on this planet, the production of high-quality food must increase at a lower cost, but this will be especially difficult to achieve in the face of the challenges of global environmental change. Breeders should focus on traits with great potential for higher yields. Therefore, new technologies need to be developed to accelerate breeding by improving genotyping and phenotyping methods and increasing the existing genetic diversity in germplasm used for breeding. The best results will be obtained from the introduction of these technologies in developing countries, but the technologies must be economically available and easily distributed [1].

Plant breeding brings the value of indicators closer to their theoretical maximums,

leaving the indicator of light conversion efficiency, which is mainly determined by photosynthesis, as the only significant prospect for its improvement [2].

Winter wheat is the main agricultural crop in Ukraine. It continues to rank first in terms of sown area (within 6.4–6.8 million hectares) not only among cereals, but also among the entire list of agricultural crops in Ukraine. According to the review of the world wheat market, which the US Department of Agriculture published in October 2021 [3], wheat yields in Ukraine grew at an explosive pace – over 20 years (1996–2016), the average value of the indicator increased by 44%. To a large extent, this was influenced by breeding activities. The creation of modern varieties of winter wheat was the impetus for the intensification of cultivation technologies, which was aimed at increasing the level of crop yield.

Currently, the global trend in agricultural production is the use of spectral images obtained using satellites and UAVs. The introduction and use of modern screening technologies

Rostyslav Topko

https://orcid.org/0000_0002_5918_2131

Hanna Kovalyshyna

https://orcid.org/0000_0002_2715_7679

in breeding practice, along with existing biometric evaluation methods, opens up the possibility of improving the quality of selection of source and breeding material and enables the breeder to obtain a more objective assessment, as well as to increase the volume of samples under study by several times.

It was proved that the photosynthetic activity and nitrogen status of the plant affect the accumulation of dry matter and nitrogen in the ear before and during flowering, both parameters being correlated with the number of ovaries [4].

According to the international classification of the BBCH (Biologische Bundesanstalt, Bundessortenamt und Chemische Industrie, Bayer, BASF, Ciba-Geigy, and Hoechst), the wheat flowering phase is determined by macrostage 6, which in turn is divided into microstages: 61 – the beginning of flowering (appearance of the first anthers), 65 is the middle of flowering (50% of mature anthers), 67 is full flowering (75% of mature anthers), and 69 is the end of flowering (all spikelets have completed flowering, but some dehydrated anthers may remain) [5]. Winter wheat phenotyping methods are a promising direction in the crop breeding. The most common vegetation index in the spectral assessment is the NDVI index [6]. Recent studies demonstrate close correlations between the NDVI index obtained during the flowering of winter wheat and the yield level [7]. It should be noted that, according to the results of studies, the best period for spectral evaluation during the flowering of winter wheat is the period between 67–69 BBCH microstages.

Creation of multispectral orthophoto maps in the wavelength range of 550–790 nm using unmanned aerial vehicles (UAVs), make it possible to quickly and with high accuracy evaluate different traits at different phases of crop growth [8].

Bearing in mind that UAV imaging is less laborious and, due to its higher accuracy, compared to the non-imaging proximal probing previously used with handheld instruments like GreenSeeker, UAV airborne multispectral probing is expected to increase sample evaluation volumes and accuracy of the obtained vegetation indices [9].

The purpose of the research is to conduct a spectral assessment of modern varieties and promising breeding lines of winter wheat of Myronivka Institute breeding during flowering and compare the value of the obtained NDVI index with the yield.

Materials and methods

The research was carried out during the 2018/19 – 2020/21 growing seasons in the breeding crop rotation of the winter wheat breeding laboratory of the V. M. Remeslo Myronivka Wheat Institute of the National Academy of Sciences of Ukraine (MIP). Sowing was carried out in two periods: 2018 – September 25 and October 5; 2019 and 2020 – October 5 and 15, with soybean as a predecessor. The placement of plots was systematic, with four-fold repetition, the accounting area was 10 m². The sowing rate was 5 million similar seeds per hectare. The ‘Podolianka’ variety was used as the standard. The research was carried out in accordance with the “Methods of field experience” [10], phenological observations and records – in accordance with the “Methods of examination of plant varieties of the leguminous and grain groups for distinctness, uniformity and stability” [11]. New varieties: ‘MIP Assol’, ‘Balada Myronivska’, ‘Hratsiia Myronivska’, ‘MIP Yuvileina’, ‘MIP Lada’, ‘MIP Dniprianka’ and the standard variety ‘Podolianka’ and breeding lines: ‘Erythrosperrum 55023’, ‘Lutescens 22198’, ‘Lutescens 37519’, ‘Lutescens 60049’, ‘Lutescens 60107’ were used in the experiments.

Spectral assessment of varieties and breeding lines of winter wheat was carried out using the Mavic zoom 2 UAV using a multispectral camera Parrot Sequoia with its ability to capture an image in the range of 550–810 nm. Pix4Dcapture and Pix4Dmapper were used to make the orthophoto map. Photographing was carried out with a multispectral camera at a height of 30 m above the level of the object under study in order to improve the quality of the orthophoto map, with an overlap of 80% of images and with a time interval of two seconds. NDVI index (Normalized Difference Vegetation Index) was calculated using the formula [12]:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$$

where: NIR – display in the near infrared spectral region;

RED – display in the red spectral region.

The years of the study were contrasting in terms of the hydrothermal regime with an uneven distribution of precipitation by months, which made it possible to obtain objective data. Meteorological conditions were analyzed according to the data of a private, stationary

weather station located within a radius of 6 km from the fields where the studies were carried out and connected to the global Meteoblue system (Basel, Switzerland).

Results and discussion

According to the research results, regardless of the conditions of the year, it was established that the NDVI indicator in the flowering-ripening phase had higher values for the first sowing term (the three-year average value for the first term was 0.69, for the second – 0.62). In the 2019/2020 vegetation season, with abnormally dry weather conditions in autumn and spring, the minimum values of the index were noted. The 2020/2021 vegetation season turned out to be the best for the research period: the NDVI value varied from 0.84 (line ‘Lutescens 55198’, second sowing period) to 0.92 (varieties ‘MIP Assol’, ‘Hratsiia Myronivska’, MIP Yuvileina’ and lines ‘Erythrospermum 55023’, ‘Lutescens 37519’, first sowing period). The main factor that contributed to such a high index indicator was favorable weather conditions during the autumn vegetation period, which made it possible to obtain uniform shoots and form two or three lateral shoots, and moist and warm conditions in the spring.

The weather conditions of the 2018/2019 growing season were satisfactory. In the pre-sowing period, 75 mm of precipitation fell, which made it possible to carry out sowing in well-prepared moist soil (Fig. 1).

In total, 45.3 mm of precipitation was recorded from the sowing of the first term to the end of the autumn vegetation period, which contributed to the good development of winter wheat plants in the autumn period.

Time of spring vegetation resumption (TSVR) was characterized by a gradual increase in the average daily air temperature without significant drops. The amount of precipitation from TSVR to the beginning of flowering was 172.9 mm (one shower of heavy rain, 49 mm), and from the beginning of flowering to the end of maturation – 21.5 mm. In general, the spring-summer vegetation period can be characterized as satisfactory and favorable for the formation of a high yield of winter wheat grain. The average daily air temperature in summer was 21.3 °C without significant air and soil drought.

During the study period, the weather conditions of the 2019/2020 growing season were the most unfavorable for the growth and development of winter wheat plants (Fig. 2).

From the beginning of September 2019 until the first wheat sowing term, 1.1 mm of

precipitation fell in the form of unproductive rains, which in turn did not make it possible to conduct high-quality soil preparation and obtain uniform, friendly shoots. During the sowing-seedling period and before the end of the autumn vegetation, 28.9 mm of precipitation was recorded (with only one productive rain – 7.8 mm), other precipitation, due to extreme drought, could not penetrate to the depth of seeding. The result of the autumn soil drought was a significant thinning of crops and an unsatisfactory state of development of winter wheat plants (within 10–13 phases on the BBCH scale). Winter period of the 2019/2020 growing season was abnormally warm and snowless. The average daily air temperature fluctuated within 0 °C with a slight decrease to minus 5 °C. At the time of spring vegetation resumption, there was a significant decrease in the density of winter wheat standing, caused by the freezing of underdeveloped and unhardened plants.

From TSVR (time of spring vegetation resumption) to the onset of flowering of winter wheat, the total amount of precipitation was 186.1 mm, five of which were productive: 11 mm – 04.14.2020, 31 mm – 04.26.2020, 12 mm – 05.25.2020, 16 mm – 05.30.2020 and 14 mm – 06.15.2020. From the beginning of the flowering phase to the end of winter wheat ripening, another 51.3 mm of precipitation were recorded, which was represented by three productive rains, namely: 14 mm – 06.22.2020, 11 mm – 06.28.2020 and 9.3 mm – 07.08.2020. The spring-summer period of 2020 can be characterized as abnormally hot. During June, the daytime temperature was kept at 32–35 °C. Wheat flowering took place in dry, hot weather with a significant deficit of soil moisture. These weather conditions had a significant impact on the growth and development of the culture, which was reflected in the yield indicators, they were the lowest during the last research period (average = 2.23 t/ha).

The weather conditions of the 2020/2021 growing season, especially in spring, were the best for the three-year study period (Fig. 3). In general, 68.3 mm of precipitation fell from the first sowing period to cessation of the autumn vegetation. Also, it should be emphasized that the autumn period of that year was also the warmest among the studied ones, the sum of active temperatures from sowing to the end of the autumn vegetation was 584.8 °C, while in 2019 it was 581.9 °C, and for autumn 2018 – 427.3 °C. Warm and humid weather in the first half of the growing season contributed to the good development of winter wheat plants. The

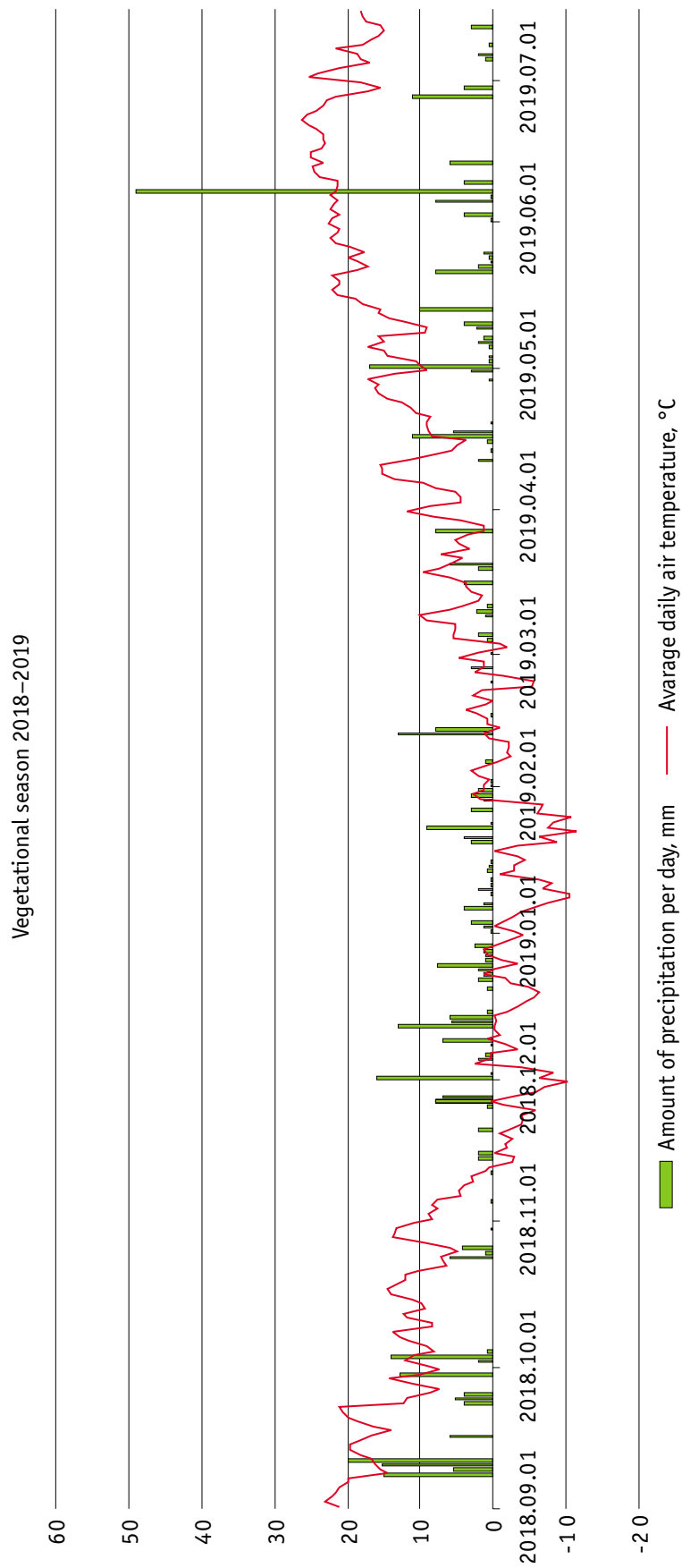


Fig. 1. Hydrothermal conditions of the 2018/2019 growing season

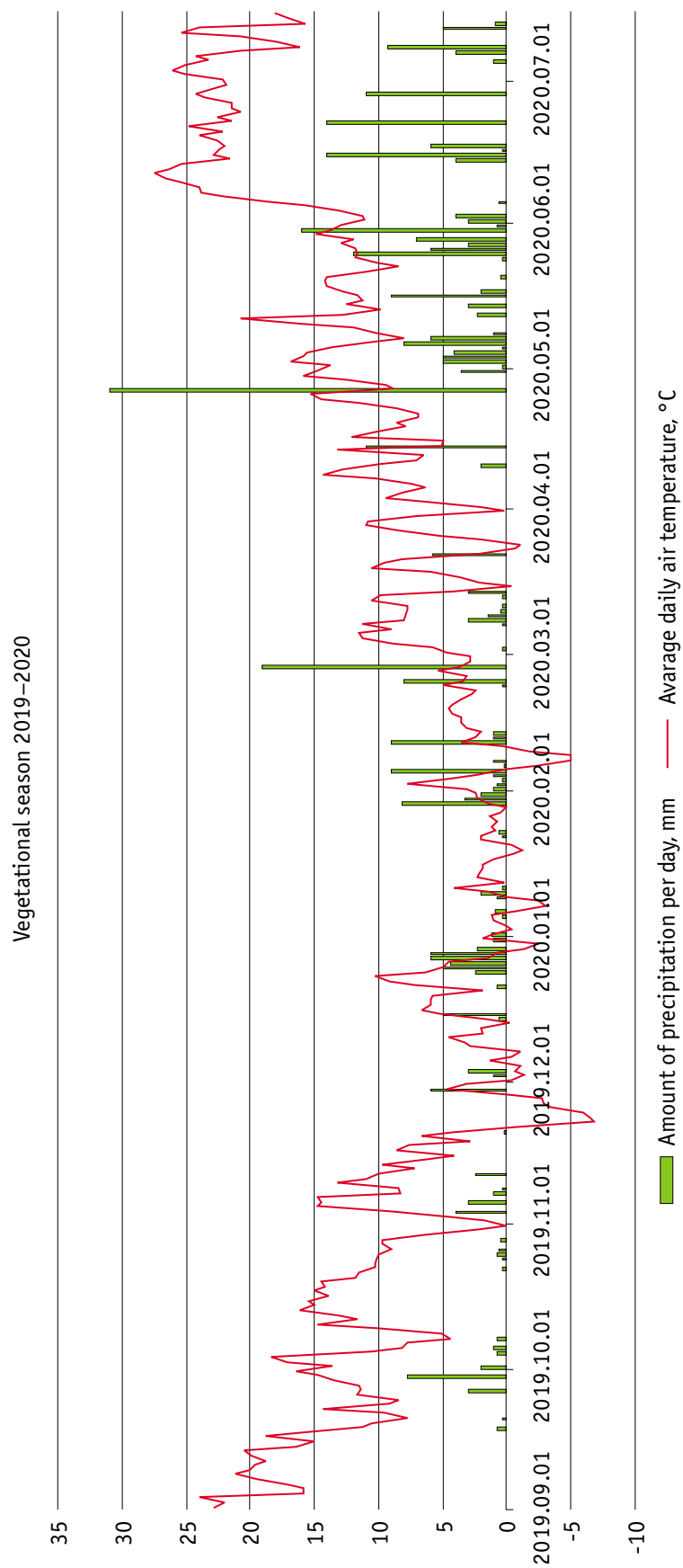


Fig. 2. Hydrothermal conditions of the 2019/2020 growing season



Fig. 3. Hydrothermal conditions of the 2020/2021 growing season

phase of cultural development at the time of transition to winter stillness was 21–23 on the international BBCH scale.

Winter stillness in the 2020/2021 growing season occurred normally. During the observed period, anomalous short-term increases in average daily temperatures above 5 °C were recorded several times, but these weather phenomena did not have negative consequences for cultivated plants.

From the moment of the resumption of the spring vegetation and before the onset of flowering, 221.9 mm of precipitation fell. The temperature regime of that period was gradually increasing, without spring frosts. Spring-summer weather conditions in 2021 were moderate. The sum of active flowering-ripening temperatures was 1333.4 °C, and the time of spring vegetation resumption was the latest (03/26/2021). Plants of winter wheat varieties and breeding lines had good biomass development and high values of the NDVI index at the time of flowering.

Various weather conditions developed during three years of the research had different effects on both the performance results of the studied samples and the results of their phenotyping.

Existing methods of plant phenotyping are considered slow, expensive, sometimes destructive, and can cause discrepancies between observations due to human operator instability. This led to the development of automated phenotyping technologies that overcome these shortcomings [13].

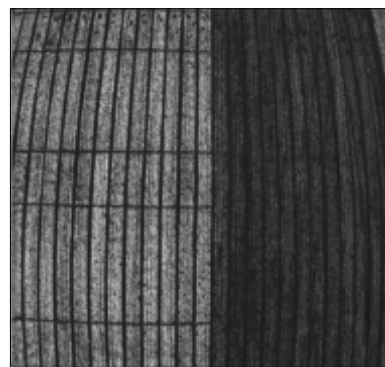
Collection, recording and analysis of information about the studied objects of the environment at a distance is called remote sensing. Methods and techniques for remote sensing of vegetation indices are based on the registration of absorbed, reflected or radiated energy [14]. The use of unmanned aerial vehicles (UAVs) in agriculture for spectral evaluation has great prospects and will continue to develop as an affordable alternative to space sensing [15]. The main advantages of the latter are mobility in use, as well as the best quality of spectral images, which in turn depends directly on the resolution of the spectral camera.

Figure 1 below (from left to right) shows a fragment of experimental plots of wheat of the first and second sowing periods, captured by a DJI Mavic Zoom 2 drone from a height of 30 m above the research object in the NIR (790 nm) spectrum (2020/2021 vegetation season.)

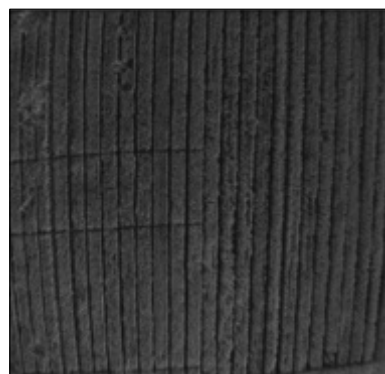
The advantage of using a UAV with a mounted multispectral camera, compared to manual field spectrometers, is a short period of spectral information collection. In the course of



The time of autumn growth cessation



The time of spring vegetation resumption



Flowering ripening period

Fig. 4. The fragment of the experiment depicted in the NIR (790 nm) spectrum, was made in the three investigated periods of winter wheat plant vegetation

measuring the vegetation index with manual devices, the intensity and the angle of inclination of the lighting may change, which may cause an error with a large number of studied samples. Most multispectral cameras used in scientific research including ours, the Parrot Sequoia, have an insolation sensor eliminating the error that can occur under the influence of this factor, and the period of information collection using a UAV is approximately 10 minutes for the experiment with an area of 960 m².

Of all the main characteristics of the photosynthetic productivity of plants, the content

of chlorophyll more accurately reflects the production process [16]. Therefore, the data of remote sensing of crops can be used to monitor the progress of winter wheat yield formation. A number of studies have proven that spectral vegetation indices are good predictors of leaf surface index, biomass and agricultural land productivity [17, 18].

As is known, nitrogen is one of the main elements forming the chlorophyll molecule [19]. The ability of the variety or line to absorb nitrogen better makes it possible to form a larger amount of chlorophyll in the leaves. Since the reflectance in the NIR (790 nm) spectrum characterizes the nitrogen content, and the RED (550 nm) is sensitive to the amount of dry matter, an increase in the value in the NIR reflectance region will increase the value of the NDVI

index and, accordingly, demonstrate the variety as having the ability to better absorb and distribute nitrogen in the plant body.

The ability to accumulate a high concentration of chlorophyll and photosynthesis products in the flag and sub-flag leaves, as well as in the upper part of the stem and elements of the ear, has a positive effect on the yield characteristics of the variety. Table 1 shows the average data for four-fold repetitions of the assessment of the NDVI index and yield for the first and second sowing periods.

Thinning of crops due to abnormally dry conditions that occurred in the autumn and early spring of the 2019/2020 vegetation season did not provide an opportunity to obtain reliable data. According to the results of research in the 2018/2019 and 2020/2021 vege-

Table 1

Yield and spectral indicators of winter wheat plants during the first sowing period at the time of flowering (2019–2021)

Name of variety/line	NDVI values	Yield, t/ha	NDVI values	Yield, t/ha	NDVI values	Yield, t/ha
	2019	2019	2020	2020	2021	2021
'MIP Assol'	0.66	7.64	0.47	3.45	0.80	6.99
'Balada Myronivska'	0.56	7.79	0.53	2.59	0.79	6.13
'Hratsiia Myronivska'	0.66	7.90	0.58	2.04	0.67	4.38
'MIP Yuvileina'	0.61	7.52	0.55	2.43	0.79	6.64
'MIP Lada'	0.89	7.91	0.45	2.00	0.82	7.07
'MIP Dniprianka'	0.79	8.44	0.54	3.58	0.80	6.94
'Erythrospermum 55023'	0.64	6.83	0.64	1.28	0.79	6.40
'Lutescens 55198'	0.69	7.92	0.85	2.05	0.85	7.37
'Lutescens 37519'	0.92	9.05	0.55	0.93	0.80	6.75
'Lutescens 60049'	0.77	8.30	0.62	1.65	0.82	7.24
'Lutescens 60107'	0.77	8.39	0.47	2.52	0.81	7.16
'Podoliianka' St	0.59	7.54	0.70	2.54	0.69	5.04
LCD _{0,05}	–	1.68	–	0.86	–	1.21

tation season, the best varieties for the first sowing season were: 'MIP Lada', 'MIP Dniprianka' and breeding lines: 'Lutescens 55198', 'Lu-

tescens 37519', 'Lutescens 60049' and 'Lutescens 60107'. They exceeded the 'Podoliianka' standard variety according to the NDVI index

Table 2

Yield and spectral indicators of winter wheat plants of the second sowing period at the time of flowering (2019–2021)

Name of variety/line	NDVI values	Yield, t/ha	NDVI values	Yield, t/ha	NDVI values	Yield, t/ha
	2019	2019	2020	2020	2021	2021
'MIP Assol'	0.69	7.57	0.44	3.14	0.73	6.82
'Balada Myronivska'	0.54	7.51	0.41	2.51	0.72	6.11
'Hratsiia Myronivska'	0.54	7.80	0.44	2.21	0.71	7.07
'MIP Yuvileina'	0.56	7.33	0.33	2.85	0.72	5.87
'MIP Lada'	0.79	7.39	0.31	2.49	0.80	6.96
'MIP Dniprianka'	0.66	8.14	0.47	2.77	0.74	6.39
'Erythrospermum 55023'	0.56	5.59	0.42	1.04	0.69	5.64
'Lutescens 55198'	0.64	7.93	0.59	2.23	0.82	7.41
'Lutescens 37519'	0.92	7.56	0.48	1.37	0.70	5.81
'Lutescens 60049'	0.77	7.98	0.54	1.31	0.75	7.21
'Lutescens 60107'	0.71	8.19	0.39	2.30	0.78	6.43
'Podoliianka' St	0.51	6.66	0.66	3.59	0.72	6.88
LCD _{0,05}	–	1.54	–	0.92	–	1.18

from 0.1 to 0.33 and yield results from 0.37 to 2.33 t/ha, respectively.

According to the results of the second sowing period, the variety 'MIP Lada' and the breeding lines 'Lutescens 55198' and 'Lutescens 60049' were the best. 'MIP Dniprianka', 'Lutescens 37519' and 'Lutescens 60107' exceeded the standard variety 'Podolianka' in terms of NDVI index value and yield level only in the 2018/2019 vegetation season. The varieties that also dominated the standard variety in both favorable years of research include 'MIP Assol' and 'Hratsiia Myronivska' (Table 2). Based on the obtained results, it can be concluded that these varieties are less responsive to the conditions of the sowing period and are able to provide high yield indicators in late periods.

Conclusions

As a result of our research, we established the dependence of the vegetation index NDVI on the productivity of wheat varieties. The best varieties and promising lines among studied, regardless of sowing dates, were: 'MIP Lada', 'Lutescens 55198' and 'Lutescens 60049', as well as 'MIP Assol' and 'Hratsiia Myronivska', which were less sensitive to sowing dates and had the index and yield values higher than those of the control variant at late sowing dates.

References

- Tester, M., & Langridge, P. (2010). Breeding Technologies to Increase Crop Production in a Changing World. *Science*, 327(5967), 818–822. doi: 10.1126/science.1183700
- Long, S. P., Marshall Colon, A., & Zhu, X. G. (2015). Meeting the Global Food Demand of the Future by Engineering Crop Photosynthesis and Yield Potential. *Cell*, 161, 56–66. doi: 10.1016/j.cell.2015.03.019
- Andrew, S., & Bryn, S. (October 14, 2021). *Wheat Outlook: Economic Research Service, USDA. WHS 21j* (pp. 2–9). Retrieved from https://www.ers.usda.gov/webdocs/outlooks/102370/whs_21j.pdf?v=941.5
- Demotes Mainard, S., & Jeuffroy, M. H. (2004). Effects of nitrogen and radiation on dry matter and nitrogen accumulation in the spike of winter wheat. *Field Crops Research*, 87(2–3), 221–233. doi: 10.1016/j.fcr.2003.11.014
- Meier, U. (2018). *Growth stages of mono and dicotyledonous plants: BBCH monograph*. Quedlinburg: Julius Kühn Institut. doi: 10.5073/20180906_074619
- Rouse, J. W., Haas, R. H., Schell, J. A., & Deering, D. W. (1974). Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. In C. Stanley, E. Freden, P. Mercanti, & M. A. Becker (Eds.), *Third Earth Resources Technology Satellite 1 Symposium. Volume 1: Technical Presentations. NASA SP 351: proceedings of a symposium held by Goddard Space Flight Center at Washington, D.C.* (pp. 309–317). Washington, D.C.: Goddard Space Flight Center. Retrieved from <https://ntrs.nasa.gov/api/citations/19740022614/downloads/19740022614.pdf>
- Duan, T., Chapman, S. C., Guo, Y., & Zhengy, B. (2017). Dynamic monitoring of NDVI in wheat agronomy and breeding trials using an unmanned aerial vehicle. *Field Crops Research*, 210, 71–80. doi: 10.1016/j.fcr.2017.05.025
- Hassan, M. A., Yang, M., Rasheed, A., Yang, G., Reynolds, M., Xia, X., Xiao, Y., & He, Z. (2018). A rapid monitoring of NDVI across the wheat growth cycle for grain yield prediction using a multi spectral UAV platform. *Plant Science*, 282, 95–103. doi: 10.1016/j.plantsci.2018.10.022
- Maimaitijiang, M., Ghulam, A., Sidike, P., Hartling, S., Maimaitiyiming, M., Peterson, K., ... Fritschi, F. (2017). Unmanned Aerial System (UAS) based phenotyping of soybean using multi sensor data fusion and extreme learning machine. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 134, 43–58. doi: 10.1016/j.isprsjprs.2017.10.011
- Dospekhov, B. A. (1985). *Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoy obrabotki rezul'tatov issledovaniy)* [Methods of field experience (with the basics of statistical processing of research results)]. (5th ed., rev.). Moscow: Agropromizdat. [In Russian]
- Volkodav, V. V. (Ed.). (2003). *Metodyka provedennia ekspertyzy ta derzhavnoho sortovyprobuvannia sortiv roslyn zernovykh, kru pianykh ta zernobobovykh kultur* [Methodology for examination and state variety testing of plant varieties of grain, grain and leguminous crops]. In *Plant Varieties Rights Protection* (Vol. 2, Part. 3). Kyiv: Alefa. [In Ukrainian]
- Weier, J., & Herring, D. (August 30, 2020). *Measuring Vegetation (NDVI & EVI)*. Washington, DC: NASA Earth Observatory. Retrieved from <https://earthobservatory.nasa.gov/features/MeasuringVegetation>
- Rabab, S., Breen, E., Gebremedhin, A., Shi, F., Badenhorst, P., Chen, Y. P. P., & Daetwyler, H. D. (2021). A New Method for Extracting Individual Plant Bio Characteristics from High Resolution Digital Images. *Remote Sensing*, 13(6), 2–18. doi: 10.3390/rs13061212
- Posudin, Yu. I. (2003). *Metody vymyriuvannia parametriv navko lyshnoho seredovyscha* [Methods of measuring environmental parameters]. Kyiv: Svit. [In Ukrainian]
- Achasov, A. B., Achasova, A. O., Titenko, A. V., Seliverstov, O. Yu., & Sedov, A. O. (2015). UAV usage for crop estimation. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University. Series «Ecology»*, 13, 14–18. [In Ukrainian]
- Eroshenko, F. V. (2016). Active photosynthetic potential. *Eurasian Union of Scientists*, 2, 117–120. [In Russian]
- Zhukov, A. V., Kunakh, O. N., Zadorozhnaya, G. A., & Andrushevich, E. V. (2013). Landscape ecology as a basis of the spatial analysis of the agrocoenosis productivity. *Ecology and Noospherology*, 24(1–2), 68–80. [In Russian]
- Paruelo, J. M., & Lauenroth, W. K. (1998). Interannual variability of NDVI and its relationship to climate for North American shrub lands and grasslands. *Journal of Biogeography*, 25, 721–733.
- Zholobak, G., Dugin, S., Sybirtseva, O., Kazantsev, T., & Romanciuc, I. (2020). Determination of nitrogen and chlorophyll content in two varieties of winter wheat plants means of ground and airborne spectrometry. *Ukrainian Journal of Remote Sensing*, 26, 4–13. doi: 10.36023/ujrs.2020.26.178 [In Ukrainian]

Використана література

- Tester M., Langridge P. Breeding Technologies to Increase Crop Production in a Changing World. *Science*. 2010. Vol. 327, Iss. 5967. P. 818–822. doi: 10.1126/science.1183700
- Long S. P., Marshall Colon A., Zhu X. G. Meeting the Global Food Demand of the Future by Engineering Crop Photosynthesis and Yield Potential. *Cell*. 2015. Vol. 161. P. 56–66. doi: 10.1016/j.cell.2015.03.019
- Andrew S., Bryn S. Wheat Outlook: Economic Research Service, USDA. October 14, 2021. WHS 21j. P. 2–9. URL: https://www.ers.usda.gov/webdocs/outlooks/102370/whs_21j.pdf?v=941.5
- Demotes Mainard S., Jeuffroy M. H. Effects of nitrogen and radiation on dry matter and nitrogen accumulation in the spike of winter wheat. *Field Crops Research*. 2004. Vol. 87, Iss. 2–3. P. 221–233. doi: 10.1016/j.fcr.2003.11.014
- Meier U. Growth stages of mono and dicotyledonous plants : BBCH monograph. Quedlinburg : Julius Kühn Institut. 2018. 204 p. doi: 10.5073/20180906_074619

6. Rouse J. W., Haas R. H., Schell J. A., Deering D. W. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. *Third Earth Resources Technology Satellite 1 Symposium. Vol. I: Technical Presentations. NASA SP 351 : proceedings of a symposium held by Goddard Space Flight Center at Washington, D.C.* / C. Stanley, E. Freden, P. Mercanti, M. A. Becker (Eds.) (Washington, December 10–14, 1973). Washington, D.C. : Goddard Space Flight Center, 1974. P. 309–317. URL: <https://ntrs.nasa.gov/api/citations/19740022614/downloads/19740022614.pdf>
7. Duan T., Chapman S. C., Guo Y., Zheng B. Dynamic monitoring of NDVI in wheat agronomy and breeding trials using an unmanned aerial vehicle. *Field Crops Research*. 2017. Vol. 210. P. 71–80. doi: 10.1016/j.fcr.2017.05.025
8. Hassan A. M., Yang M., Rasheed A. et al. A rapid monitoring of NDVI across the wheat growth cycle for grain yield prediction using a multi spectral UAV platform. *Plant Science*. 2018. Vol. 282. P. 95–103. doi: 10.1016/j.plantsci.2018.10.022
9. Maimaitijiang M., Ghulam A., Sidike P. et al. Unmanned Aerial System (UAS) based phenotyping of soybean using multi sensor data fusion and extreme learning machine. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. 2017. Vol. 134. P. 43–58. doi: 10.1016/j.isprsjprs.2017.10.011
10. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). 5 е изд., перераб. и доп. Москва : Агропромиздат, 1985. 351 с.
11. Методика проведення експертизи та державного сортовипробування сортів рослин зернових, круп'яних та зернобобових культур. *Охорона прав на сорти рослин* : офіц. бюл. / за ред В. В. Волкодава. Київ : АЛЕФА, 2003. Вип. 2, Ч. 3. 241 с.
12. Weier J., Herring D. Measuring Vegetation (NDVI & EVI). Washington, DC : NASA Earth Observatory, August 30, 2020. URL: <https://earthobservatory.nasa.gov/features/MeasuringVegetation> (Last accessed: 28.06.2022)
13. Rabab S., Breen E., Gebremedhin A. et al. A New Method for Extracting Individual Plant Bio Characteristics from High Resolution Digital Images. *Remote Sensing*. 2021. Vol. 13, Iss. 6. Article 1212. doi: 10.3390/rs13061212
14. Посудін Ю. І. Методи вимірювання параметрів навколишнього середовища. Київ : Світ, 2003. 288 с.
15. Ачасов А. Б., Ачасова А. О., Тітенко Г. В. та ін. Щодо використання БПЛА для оцінки стану посівів. *Вісник ХНУ імені В. Н. Каразіна. Серія «Екологія»*. 2015. Вип. 13. С. 14–18.
16. Ерошенко Ф. В. Активний фотосинтетический потенциал. *Евразийский союз учёных*. 2016. № 2. С. 117–120.
17. Жуков А. В., Кунах О. Н., Задорожная Г. А., Андрусевич Е. В. Ландшафтная экология как основа пространственного анализа продуктивности агроценозов. *Екологія та ноосферологія*. 2013. Т. 24, № 1–2. С. 68–80.
18. Paruelo J. M., Lauenroth W. K. Interannual variability of NDVI and its relationship to climate for North American shrublands and grasslands. *Journal of Biogeography*. 1998. Vol. 25, No. 4. P. 721–733. doi: 10.1046/j.1365-2699.1998.2540721.x
19. Жолобак Г. М., Дугін С. С., Сибірцева О. М. та ін. Визначення вмісту азоту і хлорофілу в рослинах озимої пшениці двох сортів за даними наземного і аеродистанційного спектрометрування. *Український журнал дистанційного зондування Землі*. 2020. № 26. С. 4–13. doi: 10.36023/ujrs.2020.26.178

УДК 633.11:631.527:543.4

Топко Р. І.¹, Ковалишина Г. М.² Дистанційний спектральний аналіз сортів та ліній пшениці озимої в період цвітіння. *Plant Varieties Studying and Protection*. 2022. Т. 18, № 2. С. 148–157. <https://doi.org/10.21498/25181017.18.2.2022.265183>

¹Миронівський інститут пшениці імені В. М. Ремесла НААН України, с. Центральне, Обухівський р н, Київська обл., 08853, Україна, e mail: R.topko@gmail.com

²Національний університет біоресурсів і природокористування України, вул. Героїв Оборони, 15, м. Київ, 03041, Україна, e mail: hkovalyshyna@gmail.com

Мета. Провести спектральну оцінку сортів ('МІП Ассоль', 'Балада Миронівська', 'Грація Миронівська', 'МІП Ювілейна', 'МІП Лада', 'МІП Дніпрянка' та сорт стандарт 'Подольянка') і перспективних селекційних ліній ('Еритроспермум 55023', 'Лютесценс 22198', 'Лютесценс 37519', 'Лютесценс 60049', 'Лютесценс 60107') пшениці озимої миронівської селекції під час цвітіння та оцінити залежність отриманого індексу NDVI від їхньої врожайності. **Методи.** Дослідження виконували впродовж 2019–2021 рр. у селекційній сівозміні лабораторії селекції озимої пшениці Миронівського інституту пшениці імені В. М. Ремесла НААН України. Основний метод досліджень – польовий, доповнений аналітичними дослідженнями, вимірами, підрахунками та спостереженнями. Значення вегетаційних індексів сортів і селекційних ліній пшениці озимої отримували за допомогою БПЛА (безпілотний літальний апарат) Mavic zoom 2 з використанням мультиспектральної камери Parrot Sequoia. Для формування ортофотоплану використовували програмне забезпечення Pix4Dcapture та Pix4Dmapper. Фотофіксацію проводили мультиспектральною камерою на висоті 30 м над рівнем досліджуваного об'єкта для підвищення якості ортофотоплану, з перекриттям знімків 80% і з проміжком часу у дві секунди. NDVI індекс (нормалізований віднос

ний індекс рослинності) розраховували за відповідною формулою. **Результати.** За результатами досліджень, незалежно від умов року, за перших, оптимальних строків сівби (25.09–05.10), показник NDVI у фазі цвітіння–до стигання пшениці мав більші значення, ніж для другого, пізнього строку (05–15.10) (середнє значення за три роки для першого строку становить 0,69, для другого – 0,62). У процесі досліджень встановлено залежність вегетаційного індексу NDVI від рівня продуктивності генотипів пшениці. Найкращими сортами та найбільш перспективними лініями серед досліджуваних, виявились 'МІП Лада', 'Лютесценс 55198' та 'Лютесценс 60049', а також 'МІП Ассоль' та 'Грація Миронівська', які були менш чутливими до строків сівби та мали значення індексу та врожайності вище контролю навіть за пізніх строків сівби. **Висновки.** Попри те, що наявні сьогодні методи фенотипування ще потребують доопрацювання та локалізації, найближчим часом вони стануть невід'ємним інструментом селекціонера, що дасть змогу збільшити обсяги досліджуваних сортозразків та поліпшити якість отриманих результатів морфо біологічного аналізу.

Ключові слова: пшениця озима; сорт; селекційні лінії; цвітіння; індекс NDVI; спектральна оцінка.

Надійшла / Received 01.07.2022
Погоджено до друку / Accepted 20.07.2022

