

**НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ АГРАРНИХ НАУК УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ РОСЛИННИЦТВА ім. В.Я. Юр'єва**

National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine
Yutiev Plant Production Institute of NAAS

Селекція і насінництво

**Plant Breeding
and Seed Production**

Міжвідомчий тематичний
науковий збірник
заснований у 1964 р.

ВИПУСК

125

Харків 2024

Збірник «Селекція і насінництво» є науковим фаховим виданням з сільськогосподарських наук, включеним до «Списку друкованих (електронних) періодичних видань, що входять до Переліку наукових фахових видань України» в Категорію Б за спеціальністю 201 – сільськогосподарські науки згідно до наказу Міністерства освіти і науки України від 15.10.2019 № 1301.

У збірнику публікуються експериментальні та оглядові статті з питань селекції, генетики, фізіології, насінництва, насіннезнавства, генетичних ресурсів рослин, сортовивчення та сортознавства і інші, що пов'язані з проблемами селекції польових культур.

Періодичність видання два рази на рік.

Відповідальні редактори

Федак Джордж	Канада, Східний дослідницький центр зернових і олійних культур, Департамент Сільського господарства і кормовиробництва	Доктор наук, професор
Кириченко В.В.	Україна, Інститут рослинництва ім. В.Я. Юр'єва НААН	Доктор с.-г. наук, професор, академік НААН

Заступники відповідального редактора

Колупаєв Ю.Є.	Україна, Інститут рослинництва ім. В.Я. Юр'єва НААН	Доктор біол. наук, професор
Кирпа М.Я.	Україна, ДУ Інститут зернових культур НААН	Доктор с.-г. наук, професор, член-кореспондент НААН

Відповідальний секретар

Кокорєв О.І.	Україна, Інститут рослинництва ім. В.Я. Юр'єва НААН	Канд. біол. наук, старший дослідник
--------------	---	-------------------------------------

Члени редколегії

Гайле Зінта	Латвія, Латвійський Сільськогосподарський університет	Доктор с.-г. наук, професор
Дзюбецький Б.В.	Україна, ДУ Інститут зернових культур НААН	Доктор с.-г. наук, професор, академік НААН
Кобизєва Л.Н.	Україна, Інститут рослинництва ім. В.Я. Юр'єва НААН	Доктор с.-г. наук, старший науковий співробітник
Козаченко М.Р.	Україна, Інститут рослинництва ім. В.Я. Юр'єва НААН	Доктор с.-г. наук, професор
Коломацька В.П.	Україна, Інститут рослинництва ім. В.Я. Юр'єва НААН	Доктор с.-г. наук, старший науковий співробітник
Мікліч Владімір	Сербія, Інститут польових та овочевих культур	Доктор наук, професор
Пачев Іван Дянков	Болгарія, Інститут кормових культур	Доктор наук, доцент
Рябчун Н.І.	Україна, Інститут рослинництва ім. В.Я. Юр'єва НААН	Доктор с.-г. наук, старший науковий співробітник
Уразалієв Р.А.	Казахстан, Казахський науково-дослідний інститут землеробства і рослинництва	Доктор с.-г. наук, професор, академік Національної Академії Республіки Казахстан, НААН України, РАН
Шенгву Гу	Китай, Північно-Західний А&F Університет	Доктор наук
Шкорич Драган	Сербія, Інститут польових і овочевих культур, Департамент олійних культур	Доктор наук, професор, член-кореспондент Сербської академії наук і мистецтв
Васько Н.І.	Україна, Інститут рослинництва ім. В.Я. Юр'єва НААН	Доктор с.-г. наук, старший науковий співробітник

За достовірність інформації відповідають автори публікацій.

Видання представлено та індексується IndexCopernicus, Googlescholar, Crossref, ResearchGate, BASE, GENERALIMPACTFACTOR, OAJI, iCi, Ulrich'sPeriodicalsDirectory, WorldCat, ResearchBib, CiteFactor, KOAR, Dimensions, SIS, Kind Congress, Science Gate, Cosmos IF, ESJ, ISI, ROAD, WorldWideScience, OUCJ, Національна наукова бібліотека України ім. В.І. Вернадського.

Свідоцтво про реєстрацію КВ № 21732-11632ПР від 24.11.2015 р.

Адреса редакційної колегії: проспект Героїв Харкова, 142,
м. Харків, Україна, 61060
Інститут рослинництва ім. В.Я. Юр'єва НААН
тел. +38(098) 9494524
e-mail: plant_biology@ukr.net
<http://journals.uran.ua/pbsd>

Collection «Plant Breeding and Seed Production» is a scientific professional edition in agricultural sciences. It is on the «List of Printed (Electronic) Periodicals» included in the «List of Scientific Professional Editions of Ukraine» **Category B for specialty 201** – Agricultural Sciences according to order No 1301 of the Ministry of Education and Science of Ukraine dated October 10, 2019.

The collection publishes experimental and review articles on selection, genetics, physiology, seed industry, seed research, plant genetic resources, breeding and other problems related to selection of field crops.

Periodicity: 2 issues per year.

Editor-in-Chief

Fedak George	Canada, Eastern Cereals and Oilseeds Research Centre Agriculture and Agri-Foods	Doctor of Sciences, professor
Kyrychenko V.V.	Yutiev Plant Production Institute of NAAS	Doctor of Agricultural Sciences, professor, academician of NAAS

Assistant Editor-in-Chief

Kolupaev Yu.E.	Ukraine, Yutiev Plant Production Institute of NAAS	Doctor of Biological Sciences, professor
Kirpa M.Ya.	Ukraine, Institute of Grain Crops NAAS	Doctor of Agricultural Sciences, professor, NAAS Corresponding Member

Executive Secretary

Kokorev O.I.	Ukraine, Yutiev Plant Production Institute of NAAS	PhD, senior researcher
--------------	--	------------------------

Editorial board members

Gaile Zinta	Latvia, Latvia University of Agriculture	Doctor of Science, professor
Dziubetskiy B.V.	Ukraine, Institute of Grain Crops NAAS	Doctor of Agricultural Sciences, professor, academician of NAAS
Kobyzeva L.N.	Ukraine, Yutiev Plant Production Institute of NAAS	Doctor of Agricultural Sciences, senior researcher
Kozachenko M.R.	Ukraine, Yutiev Plant Production Institute of NAAS	Doctor of Agricultural Sciences, professor
Kolomatska V.P.	Ukraine, Yutiev Plant Production Institute of NAAS	Doctor of Agricultural Sciences, senior researcher
Miklić Vladimir	Serbia, Institute of Field and Vegetable Crops	Doctor of Sciences, professor
Pachev Ivan	Bulgaria, Institute for Forage Crops	Doctor of Sciences, Associate professor
Diankov		
Ryabchun N.I.	Ukraine, Yutiev Plant Production Institute of NAAS	Doctor of Agricultural Sciences, senior researcher
Urazaliev R.A.	Kazakhstan, Kazakh Research Institute of Agriculture and Crop Production	Doctor of Agricultural Sciences, professor, academician of National Academy of Sciences of Kazakhstan, NAAS of Ukraine, Russian Academy of Sciences
Shengwu Hu	China, Northwest A&F University, Yangling	Doctor of Science
Škorić Dragan	Serbia, Institute of Field and Vegetable Crops, Department of Oil Plants	Doctor of Sciences, professor, corresponding member of Serbian Academy Sciences and Arts
Vasko N.I.	Ukraine, Yutiev Plant Production Institute of NAAS	Doctor of Agricultural Sciences, senior researcher

The authors of publications are responsible for the accuracy of information.

The collection has been represented and is indexed IndexCopernicus, Google Scholar, Crossref, ResearchGate, BASE, GENERAL IMPACT FACTOR, OAJI, iCi, Ulrich's Periodicals Directory, WorldCat, ResearchBib, CiteFactor, KOAR, Dimensions, SIS, Kind Congress, Science Gate, Cosmos IF, ESJI, ISI, ROAD, WorldWideScience, OUCJ, National Scientific Library named after V.I. Vernadsky.

Registration certificate KV # 21732-11632PR of 24.11.2015.

Address of the Editorial Board of the collection Plant Breeding and Seed Production:

Prospect Heroyiv Kharkova, 142

Kharkiv, Ukraine, 61060

Yutiev Plant Production Institute of NAAS

Tel. +38(098) 9494524

E-mail: plant_biology@ukr.net

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

© Yutiev Plant Production Institute of NAAS, 2024

ISSN1026-9959 (print)

ISSN2413-7510 (online)

УДК 581.134+632.112+633.111.1

В.В. Моргун, О.О. Стасик*, М.В. Тарасюк, Д.А. Кірізії

Депонувальна здатність окремих частин стебла та її роль у формуванні зернової продуктивності контрастних за посухостійкістю генотипів озимої пшениці за дії короткотривалої посухи

*Інститут фізіології рослин і генетики Національної академії наук України,
Київ, Україна*

E-mail: o_stasik@yahoo.com

UDC 581.134+632.112+633.111.1

V.V. Morgun, O.O. Stasik*, M.V. Tarasiuk, D.A. Kiriziy

Storage Capacity of Different Stem Parts and its Role for Grain Productivity of Short-Term Drought-Exposed Winter Wheat Genotypes Contrasting in Drought Tolerance

*Institute of Plant Physiology and Genetics, National Academy of Sciences of Ukraine,
Kyiv, Ukraine*

E-mail: o_stasik@yahoo.com

Реферат: Використання депонованих у стеблі водорозчинних вуглеводів (ВРВ) відіграє важливу роль у формуванні зернової продуктивності озимої пшениці, особливо за умов дефіциту зволоження в репродуктивний період. Метою даної роботи було дослідити накопичення і ремобілізацію запасних ВРВ у окремих сегментах стебла та їх зв'язок з показниками зернової продуктивності у генотипів озимої пшениці за дії 8-добової посухи на ранніх етапах формування зернівки. Дослідження проводили в умовах вегетаційного досліду на рослинах озимої м'якої пшениці (*Triticum aestivum* L.) сортів Подолянка (псухостійкий, екологічно пластичний), Подільська нива (високоврожайний, менш стійкий), Наталка (менш стійкий, високобілковий) та селекційної лінії УК 065 (чутлива до посухи, високопродуктивна). Питомий вміст ВРВ у сухій речовині та валову кількість (добуток питомого вмісту та маси) визначали в частинах стебла головного пагона (рахуючи зверху): верхнє міжвузля, друге, третє, об'єднані четверте і п'яте (нижні) міжвузля та об'єднані листкові піхви.

Встановлено, що посуха дещо зменшувала максимальну валову кількість депонованих у стеблі ВРВ та істотно пришвидшувала їх ремобілізацію. Досліджені генотипи озимої пшениці істотно відрізнялися за рівнем накопичення ВРВ у стеблі – в 1,3 раза за оптимальних умов та в 1,5 раза за дії посухи, проте ефективність їх ремобілізації у всіх генотипів була високою і достатньо близькою (84–96 %) незалежно від умов вирощування. Сорт Подолянка проявив найвищу депонувальну здатність стебла як за оптимальних умов поливу, так і за дії посухи. Внесок депонованих ВРВ у зернову продуктивність за оптимального зволоження і дії посухи становив у сортів Подолянка 32 і 28,3 %, Подільська нива – 21,3 і 24,6 %, Наталка – 27,4 і 24,3 %, лінії УК065 – 18,2 і 22,4 %, відповідно.

Найбільший питомий вміст і валова кількість ВРВ виявлені в другому і третьому міжвузлях. Частка цих міжвузлів у загальній кількості депонованих у стеблі ВРВ була найбільшою у всіх досліджених генотипів. Вміст та валова кількість резервних вуглеводів у другому і третьому міжвузлях найтісніше позитивно корелювали з показниками зернової продуктивності, що дає підстави вважати їх найбільш репрезентативними для оцінки депонувальної ємності стебла та рекомендувати як фізіологічний маркер продуктивності генотипів озимої пшениці.

Ключові слова: *Triticum aestivum* L., депонувальна здатність стебла, міжвузля, водорозчинні вуглеводи, посуха, фотосинтез, зернова продуктивність.

Abstract: Remobilization of the water-soluble carbohydrates (WSC) deposited in the stem is important for winter wheat grain productivity, especially under water deficit during the reproductive period. Our aim was to study the accumulation and remobilization of reserve WSC in different segments of the stem and their relationship with grain yield parameters in winter wheat genotypes exposed to 8-day drought at the early stages of grain formation. The experiments were carried out on winter bread wheat (*Triticum aestivum* L.) plants grown in pots. Cultivars ‘Podolianka’ (drought-tolerant), ‘Podilska Nyva’ (high-yielding, less tolerant), ‘Natalka’ (less tolerant, high protein content in grain), and breeding line ‘UK 065’ (high-yielding, drought-sensitive) were studied. The specific content of WSC in dry matter and the total amount (product of specific content and dry weight) were determined in stem parts of the main shoot (counted from the top): peduncle, second, third, combined fourth and fifth (lower) internodes and combined leaf sheaths.

It was found that drought slightly reduced the maximum total amount of WSC deposited in the stem and significantly accelerated their remobilization. The studied genotypes of winter wheat differed significantly in the WSC accumulation in the stem: by 1.3 times under optimal conditions and by 1.5 times under drought, but the efficiency of WSC remobilization was similar and high (84–96%) in all of them, regardless of growing conditions. Cv. ‘Podolianka’ showed the highest storage capacity of the stem both under optimal watering and under drought. The contribution of deposited WSC to grain weight was 32 and 28.3% in cv. ‘Podolianka’, 21.3 and 24.6% in cv. ‘Podilska Niva’, 27.4 and 24.3% in cv. ‘Natalka’, and 18.2 and 22.4% in line ‘UK065’ under optimal and drought conditions, respectively.

The highest specific content and total amount of WSC were recorded in the second and third internodes. The portions of these internodes in the total amount of stem-deposited WSC were the largest in all studied genotypes. The content and total amount of reserve carbohydrates in the second and third internodes were correlated most closely with grain productivity, which gives reason to consider them the most representative parameters for assessing the storage capacity of the whole stem and to recommend them as a physiological marker of winter wheat genotypes’ performance.

Key words: *Triticum aestivum* L., stem storage capacity, internodes, water-soluble carbohydrates, drought, photosynthesis, grain productivity.

Озима пшениця (*Triticum aestivum* L.) — одна з найважливіших зернових культур протягом всієї історії людства. У глобальному масштабі в останні роки пшениця посідає перше місце за площею вирощування (понад 220 млн га) і друге після кукурудзи за величиною валової продукції (близько 800 млн т) [1]. У багатьох регіонах світу, де культивують озиму пшеницю, на продуктивність її посівів негативно впливає ряд абіотичних стресових чинників, серед яких посуха є основним стресором, що завдає значної шкоди посівам [2].

Формування врожаю пшениці базується на процесах синтезу, накопичення та ремобілізації фотоасимілятів. Наливання зерна пшениці забезпечується із двох джерел асимілятів: 1) продукти поточного фотосинтезу в зелених тканинах, головним чином у прапорцевому листку, які транспортуються безпосередньо до зерна, і 2) водорозчинні вуглеводи, які ремобілізуються з резервних пулів, накопичених у період від фази виходу в трубку до ранніх етапів наливання зерна. Основну частину запасних вуглеводів у рослин пшениці, які депонуються головним чином у стеблі та в листових піхвах, становлять фруктани, а також невелика кількість сахарози

Winter wheat (*Triticum aestivum* L.) is one of the most important cereals throughout human history. On a global scale, in recent years, wheat ranks first by acreage (over 220 million hectares) and second after corn by gross production (about 800 million tons) [1]. In many winter-growing regions of the world, the crop performance is negatively affected by abiotic stressors, including drought, which is thought to be the main stressor that causes significant damage to crops [2].

Wheat yield depends on the synthesis, accumulation, and remobilization of photoassimilates. Wheat grain is filled from two sources of assimilates: 1) products of current photosynthesis in green tissues, mainly in the flag leaf, which are transported directly to grain, and 2) water-soluble carbohydrates, which are remobilized from reserve pools accumulated during the “stem elongation – early grain filling” period. Fructans deposited mainly in the stem and leaf sheaths are major reserve carbohydrates in wheat plants; small amounts of sucrose and hexoses are also detected [3, 4].

Unfavorable factors, particularly drought during reproductive development, significantly reduce the grain supply with assimilates of current photosynthesis due to inhibited

та гексоз [3, 4].

Несприятливі чинники, зокрема посуха, в період репродуктивного розвитку істотно зменшують забезпечення наливу зерна асимілятами поточного фотосинтезу внаслідок інгібування фотосинтетичної активності і пошкодження фотосинтетичного апарату [5, 6]. У такому разі роль використання накопичених у стеблі вуглеводів у наливанні зростаючих зернин істотно підвищується, доповнюючи чи замішуючи основне джерело асимілятів – поточний фотосинтез. Внесок накопичених вуглеводів у масу зерна в умовах недостатнього зволоження, як правило, збільшується і у випадку тривалої термінальної посухи може становити понад 60 і навіть до 90%, залежно від генотипу та умов вирощування [7, 8].

Водночас дані літератури щодо впливу посухи на накопичення запасних вуглеводів у стеблі пшениці є неоднозначними, хоча збільшення вмісту цукрів на ранніх етапах посухи є типовою адаптивною реакцією у багатьох рослин [9, 10]. Продемонстровано як зменшення концентрації та загальної кількості водорозчинних вуглеводів у стеблі рослин пшениці при недостатньому зволоженні [11], так і їх збільшення [12], а також виявлено різноспрямовані зміни в різних сегментах стебла [13].

В експериментах, проведених за різних умов вирощування, виявлено позитивну залежність між здатністю стебла накопичувати і ремобілізувати водорозчинні вуглеводи та врожайністю сортів пшениці [14, 15, 16], а також високий ступінь успадкованості генотипних відмінностей за показником депонувальної ємності стебла [17]. Показано, що селекція пшениці на продуктивність супроводжувалася зростанням депонувальної здатності стебла [15, 18]. Вважають, що поліпшення депонувальної здатності стебла є перспективним селекційним критерієм на високу продуктивність, особливо за посушливих умов [8, 19]. Нещодавно, за допомогою повногеномного аналізу асоціацій (GWAS) ідентифіковані гени і нуклеотидні послідовності, які можуть слугувати селекційними маркерами високого вмісту резервних вуглеводів у стеблі пшениці [20, 21].

Водночас, наразі залишається актуальною проблема розробки ефективного методу оцінки депонувальної ємності стебла. Показники, які зазвичай використовуються, – вміст і загальна кількість ВРВ у стеблі одного пагона або в розрахунку на м² посіву [14, 20, 22] є доволі

photosynthesis and damage to the photosynthetic apparatus [5, 6]. In this case, the role of stem-accumulated carbohydrates in grain filling rises significantly, supplementing or replacing the main source of assimilates – current photosynthesis. The contribution of accumulated carbohydrates to grain weight under insufficient water supply generally increases and, in the case of a long terminal drought, amounts to over 60 and even 90%, depending on genotypes and growing conditions [7, 8].

At the same time, published data on drought effects on the accumulation of reserve carbohydrates in wheat stems are ambiguous, although increased levels of sugars at the early stages of drought are considered as a typical adaptive response in many plants [9, 10]. Both a decrease in the concentration and total amount of water-soluble carbohydrates (WSC) in stems of insufficiently watered wheat plants [11] and an increase in these parameters [12] were reported; multidirectional changes in different segments of the stem were also noted [13].

Experiments conducted under different growing conditions revealed a positive correlation between the stem's ability to accumulate and remobilize WSC and the yield of wheat cultivars [14, 15, 16] and a high degree of heritability of genotypic differences in the storage capacity of the stem [17]. It was shown that wheat breeding for high yield was associated with enhanced storage capacity of the stem [15, 18]. It is believed that the improved storage capacity of the stem is a promising breeding criterion for high productivity, especially under arid conditions [8, 19]. Recently, genes and nucleotide sequences, which can be breeding markers of high contents of reserve carbohydrates in the wheat stem, were identified by genome-wide association analysis (GWAS) [20, 21].

At the same time, the problem of developing an effective method of estimating the stem's storage capacity remains relevant. The commonly used parameters, WSC content and total amount in the stem per shoot or per m² [14, 20, 22], are rather time-consuming and inconvenient because of large volumes of plant material in samples. In this regard, studies of the roles of stem segments in the deposition of reserve carbohydrates to identify a trait that would reliably represent the storage capacity of the entire stem under different conditions of plant growth are of scientific and practical interest.

It was found that internodes differed in the

трудомісткими і незручними через великий обсяг рослинного матеріалу в зразках. У зв'язку з цим науковий і практичний інтерес становлять дослідження ролі окремих сегментів стебла в депонуванні резервних вуглеводів з метою виявлення показника, який би надійно репрезентував депонувальну ємність всього стебла за різних умов вирощування рослин.

Виявлено, що окремі міжвузля відрізняються за вмістом накопичених ВРВ та ефективністю їх ремобілізації, а також за впливом посухи на ці показники, проте дані літератури щодо внеску різних частин в депонувальну ємність стебла суперечливі. У ряді досліджень виявлено вищий вміст і більший внесок у сумарну кількість ремобілізованих із стебла ВРВ у другого (рахуючи зверху) та нижніх міжвузлів [13, 23, 24, 25]. Проте в роботі Ліу та співат. [12] повідомляється про більший внесок в загальне накопичення і ремобілізацію ВРВ для верхнього (підколосового) міжвузля. Схожі результати – найбільше накопичення та ремобілізація ВРВ у верхньому та другому зверху міжвузлях за різних експериментальних умов виявили також у більш ранній роботі [26]. Лише верхнє міжвузля для оцінки депонувальної здатності стебла різних генотипів пшениці використовували в роботах [11, 21].

Тому метою нашої роботи було дослідити накопичення і ремобілізацію запасних водорозчинних вуглеводів в окремих сегментах стебла та їх зв'язок з показниками зернової продуктивності у різних генотипів озимої пшениці за дії посухи на ранніх етапах формування і наливу зернівки.

Методика

Дослідження проводили в умовах вегетаційного досліду на рослинах різних за чутливістю до посухи сортів озимої м'якої пшениці (*Triticum aestivum* L.): сортів Подолянка (посухостійкий, екологічно пластичний), Наталка (високобілковий менш стійкий), Подільська нива (високопродуктивний менш стійкий) та селекційної лінії УК 065 (чутлива до посухи, високопродуктивна) [27]. Рослини вирощували у вегетаційних посудинах на 10 кг ґрунту, удобреного 10 г нітроамофоски, за природного освітлення. Кількість рослин у посудині становила 15 шт. Добрива вносили в однакових кількостях при наповненні посудин ґрунтом і в середині фази виходу рослин у трубку (BBCH 34). До початку експерименту з

contents of accumulated WSC and the efficiency of their remobilization. Drought also differently affected these parameters in different internodes; however, published data on the contributions of different parts of the stem to the storage capacity of the entire stem are contradictory. In several studies, the contents of WSC remobilized from the second (counted from the top) and lower internodes were higher and their contributions to the total amount of WSC remobilized from the stem were greater [13, 23, 24, 25]. However, Liu et al. [12] reported a greater contribution of the uppermost internode (peduncle) to the total accumulation and remobilization of WSC. Similar findings, i.e. the greatest accumulation and remobilization of WSC in the peduncle and penultimate internodes under different experimental conditions, were also obtained in an earlier study [26]. Only the peduncle was used in some studies [11, 21] to assess the storage capacity of stems of different wheat genotypes.

Therefore, our aim was to investigate the accumulation and remobilization of reserve water-soluble carbohydrates in separate segments of the stem and their relationship with grain productivity in different drought-stressed winter wheat genotypes at the early stages of grain setting and filling.

Methods

The experiments were carried out on winter bread wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars varying in drought susceptibility: cv. 'Podolianka' (drought-tolerant, environmentally plastic), cv. 'Natalka' (high-protein, less tolerant), cv. 'Podilska Nyva' (high-yielding, less tolerant), and breeding line 'UK 065' (drought-susceptible, high-yielding) [27]. Plants were grown in pots with 10 kg of soil, fertilized with 10 g of nitroammophoska, and naturally illuminated. There were 15 plants per pot. Fertilizers were applied in equal amounts when the pots were filled with soil and in the middle of the stem elongation stage (BBCH 34). Before the start of the drought treatment, and in the control throughout the growing period, the soil moisture in the pots was maintained at 60–70% FC. At the grain watery ripe stage (BBCH 71), the watering of plants in the treatment pots was stopped, reducing the soil moisture to 30% FC for 3 days and this level was maintained for the subsequent 8 days. Afterward, the watering of plants in the susceptible pots was restored to the control level (60–70% FC) until the end of the growing

посухою, а в контрольному варіанті впродовж усієї вегетації, вологість ґрунту в посудинах підтримували на рівні 60–70 % ПВ. У фазі формування зернівки (BBCH 71) припиняли полив рослин дослідного варіанта, знижуючи протягом 3 діб вологість ґрунту до рівня 30% ПВ, який підтримували протягом наступних 8 діб. Після цього полив рослин дослідного варіанта відновлювали до рівня контролю (60–70% ПВ) до кінця вегетації. Період обмеженого вологозабезпечення охоплював фазу формування зернівки (BBCH 71) і середину фази молочної стиглості (BBCH 75).

Зразки для визначення вмісту вуглеводів відбирали протягом періоду репродуктивного розвитку та у фазу повної стиглості зерна при обліку зернової продуктивності. Для аналізів використовували головний пагін рослини. Стебло розділяли на частини: верхнє (підколосове) міжвузля, друге, третє (рахуючи зверху) і об'єднані четверте і п'яте (далі позначені як «нижні») міжвузля, а також об'єднані листові піхви всіх зазначених міжвузлів. Відразу після відбору зразки фіксували в термостаті за температури 120°C протягом 30 хв. Після фіксації матеріал досушували за 65°C до сталої маси, реєстрували масу сухої речовини зразка і розмелювали до порошкоподібного стану. Вміст водорозчинних вуглеводів визначали за методом [28]. Валову кількість ВРВ у частинах стебла розраховували як добуток їх маси і вмісту ВРВ в сухій речовині. Кількість ремобілізованих ВРВ оцінювали за різницею їхньої максимальної валової кількості і залишкової у фазі повної стиглості зерна. Вміст ВРВ визначали у трьох аналітичних повтореннях об'єданого зразка певного сегмента з 10–12 рослин кожного варіанта.

Водний дефіцит визначали за стандартною методикою [29] і розраховували за формулою:

$$\text{Вд} = (A-B):(A-B) \cdot 100,$$

де: Вд – водний дефіцит (%); А – маса листків після насичення їх водою (г); Б – маса свіжозрізаних листків (г); В – маса абсолютно сухих листків (г).

Інтенсивність фотосинтезу прапорцевого листка вимірювали в першу добу досягнення вологості ґрунту 30 % ПВ і наприкінці періоду посухи за контрольованих умов на установці, змонтованій на базі інфрачервоного газоаналізатора EGM 5 (PP Systems, США).

period. The restricted watering covered the period from grain watery ripe stage (BBCH 71) up to the medium milk ripeness stage (BBCH 75).

Samples for determination of carbohydrate content were taken during the reproductive development and complete grain ripeness when the grain productivity was determined. The main shoot of the plant was used for the analyses. The stem was divided into parts: the uppermost (peduncle), second (penultimate), third (counted from the top), combined fourth and fifth (hereinafter referred to as "lower") internodes, and combined leaf sheaths of all the specified internodes. Immediately after cutting, the samples were fixed in a thermostat at 120°C for 30 minutes. After fixation, the material was dried at 65°C to constant weight; the dry matter content in the sample was recorded and the sample was ground to powder. The content of WSC was determined as described in [28]. The total amount of WSC in the stem parts was calculated as the product of their weight and WSC content in dry matter. The amount of remobilized WSC was evaluated by difference between the maximum total amount and the residual amount in the complete grain ripeness stage. The WSC content was determined in three analytical replicates from a combined sample of given segments from 10–12 plants in each variant.

The water deficit was determined according to the standard method [29] and calculated by the following formula:

$$\text{Wd} = (A-B):(A-C) \cdot 100,$$

where: Wd – water deficit (%); A – leaf weight after their saturation with water (g); B – weight of freshly cut leaves (g); C – weight completely dry leaves (g).

The photosynthesis intensity in the flag leaf was measured on the first day of soil moisture reaching 30% FC and at the end of the drought period under controlled conditions using an infrared gas analyzer EGM 5 (PP Systems, USA). An attached flag leaves of two individual plants were placed in a thermostatic chamber with a window of 3 × 7 cm and illuminated by TA-11 50W LED lamps with a color temperature of 5,200 K. The photon flux density at the leaf level was 1,800 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ of photosynthetically active radiation (PAR); the temperature was 25°C. Atmospheric air was blown through the chamber at a rate of 1 L/min.

Невідокремлені від рослин листки (по 2 паралельно) розміщували у термостатованій камері з розміром вікна 3 × 7 см та освітлювали світлодіодними прожекторами ТА-11 50W з колірною температурою 5200 К. Щільність променевого потоку на рівні листків становила 1800 мкмоль/(м² · с) фотосинтетично активної радіації (ФАР), температура +25 °С. Через камеру продували атмосферне повітря зі швидкістю 1 л/хв. Інтенсивність фотосинтезу реєстрували через 40–50 хв після розміщення листків у камері, коли показники газообміну виходили на стаціонарний рівень. Розрахунки показників газообміну проводили згідно зі стандартними методиками [30]. Повторність визначень 4-кратна.

Фази розвитку рослин визначали за зовнішніми морфологічними змінами органів головного пагона за загальноприйнятою десятковою шкалою [31]. Для визначення показників зернової продуктивності рендомізовано відбирали по 20 рослин із кожного варіанта у фазі повної стиглості зерна. Повторність досліду – 5 посудин на варіант.

The net photosynthetic rate was recorded 40–50 min after placing the leaves in the chamber when the gas exchange rates reached a plateau. Gas exchange parameters were calculated by standard methods [30]. There were four repetitions of measurements.

The stages of plant development were determined by external morphological changes in the organs of the main shoot using the conventional decimal scale [31]. To determine the grain productivity parameters, 20 plants from each treatment were randomly sampled at the complete grain ripeness stage. There were 5 pots per treatment.

Таблиця 1. Вплив 8-добової посухи при 30 % ПВ в період формування–початок наливу зернівки (ВВСН 71–75) на зернову продуктивність рослин озимої пшениці

Table 1. The effect of an 8-day drought at 30% FC during the "grain watery ripe – medium milk" period (ВВСН 71–75) on the grain productivity of winter wheat plants

Варіант/Treatment	Головний пагін/ Main shoot			Рослина/ Plant		
	Grain weight, g	Grain number	1,000 grains weight, g	Grain weight, g	Grain number	1,000 grains weight, g
Подільська нива/Podolska Nyva						
Контроль/Control	1.70±0.06	39.6±1.1	43.0±0.9	4.34±0.24	105.9±5.4	40.9±0.6
Дослід/Treatment	1.62±0.05	39.7±1.1	41.0±0.9	3.96±0.13	105.1±4.4	38.1±0.8
% до контролю - % related to the control	95.1	100.3	95.2	91.1	99.2	93.1
Подільська нива/Podolska Nyva						
Контроль/Control	2.39±0.10	57.6±1.3	41.3±0.9	6.39±0.47	164.5±9.9	38.6±0.7
Дослід/Treatment	1.84±0.10*	53.8±1.9	34.3±1.5*	4.17±0.31*	125.8±7.8*	33.5±1.2*
% до контролю - % related to the control	77.1	93.4	83.1	65.3	76.5	86.7
Нагалка/Natalka						
Контроль/Control	1.71±0.06	40.7±1.2	42.0±0.6	4.31±0.25	109.2±6.6	39.6±0.6
Дослід/Treatment	1.47±0.08*	41.5±1.7	35.3±0.6*	3.24±0.28*	93.2±7.1	34.4±1.1*
% до контролю - % related to the control	85.7	101.9	83.9	75.1	85.3	86.9
УК 065/UK 065						
Контроль/Control	2.17±0.05	47.5±1.3	46.0±1.0	5.97±0.38	143.8±9.0	41.7±0.7
Дослід/Treatment	1.32±0.06*	41.6±1.3*	32.0±1.2*	2.76±0.18*	91.9±5.6*	30.3±1.0*
% до контролю - % related to the control	61.0	87.6	69.5	46.2	63.9	72.7

* – різниця між контролем і дослідом достовірна за $p < 0,05$

* – the difference between the control and the treatment is significant at $p < 0.05$

Дані оброблено статистично за допомогою програми Microsoft Excel згідно із загальноприйнятими методами варіаційної

The data were statistically processed in Microsoft Excel by traditional variation statistics methods. The significance of differences

статистики з оцінюванням істотності різниць вибірових середніх за ANOVA-тестом, істотність кореляцій оцінювали за критерієм Фішера. На рисунках і в таблицях наведено значення середньоарифметичних і стандартних похибок середнього. Похибки середніх значень для розрахункових показників (валовий вміст ВРВ, кількість ремобілізованих ВРВ) обчислювали за стандартними формулами [32].

Результати та обговорення

Досліджені сорти істотно відрізнялися за посухостійкістю. За оптимального режиму зволоження сорт Подільська нива і селекційна лінія УК 065 вирізнялися вищою зерновою продуктивністю головного пагона і всієї рослини порівняно з сортами Наталка і Подолянка (табл. 1). Сорт Подільська нива мав найбільшу озерненість колоса, і за кількістю зерен в колосі головного пагона на 45, 41 і 21 % переважав сорти Подолянка, Наталка і лінію УК 065, відповідно. Лінія УК 065 характеризувалася дещо більшою порівняно з сортами виповненістю зерна (масою 1000 зерен).

Грунтова посуха при 30 % ПВ впродовж 8 діб на початку наливу зерна знижувала зернову продуктивність цілої рослини на 53,8 % у селекційної лінії УК065, на 34,7 % у сорту Подільська нива та на 24,9 % у сорту Наталка. У сорту Подолянка вплив посухи проявлявся значно слабше і був статистично невірогідним. Зниження зернової продуктивності головного пагона за дії посухи було значно меншим, ніж цілої рослини, і становило 39,0 % у лінії УК 065, 22,9 % у сорту Подільська Нива та 14,3% у сорту Наталка. Така ж тенденція спостерігалася і в сорту Подолянка. Варто все ж зазначити, що зернова продуктивність підданих посусі рослин у сорту Подільська нива була на 28,7 % вищою, ніж у сорту Наталка.

Зменшення маси 1000 зерен було значно вагомішим фактором втрат продуктивності колоса головного пагона за дії посухи, ніж зменшення кількості зерен. Маса 1000 зерен знижувалась порівняно з контролем на 16,9, 16,1 і 30,5 % у сортів Подільська нива, Наталка і лінії УК 065, відповідно. У сорту Подолянка зменшення цього показника становило 4,8 % і було статистично невірогідним. Озерненість колоса головного пагона дослідних рослин значимо знижувалася порівняно з контролем (на 12,4 %) лише у лінії УК 065. У сорту Подільська нива відзначена невелика тенденція до

between the mean values was assessed by ANOVA; the significance of correlations was assessed using Fisher's test. In the figures and tables, the arithmetic mean and standard error are presented. The standard error for calculated parameters (the total content of WSC and the amount of remobilized WSC) were figured out by the standard formula [32].

Results and Discussion

The studied cultivars differed significantly in drought tolerance. Under optimal watering, cv. 'Podilska Nyva' and breeding line 'UK 065' showed higher grain productivity of the main shoot and the whole plant than cvs. 'Natalka' and 'Podolianka' (Table 1). Cv. 'Podilska Nyva' had the greatest number of grains per spike of main shoot, exceeding cvs. 'Podolianka' and 'Natalka' and line 'UK 065' by 45, 41, and 21%, respectively. Line 'UK 065' was noticeable by slightly better grain fulfillment (thousand kernel weight) compared to the cultivars.

The soil drought at 30% FC for 8 days at the beginning of grain filling reduced the grain productivity of the entire plant by 53.8% in breeding line 'UK065', by 34.7% in cv. 'Podilska Nyva', and by 24.9% in cv. 'Natalka'. In cv. 'Podolianka', the drought effect was much weaker and was statistically insignificant. The drought-induced decline in the grain productivity of the main shoot was significantly smaller than that of the whole plant: 39.0% in line 'UK 065', 22.9% in cv. 'Podilska Nyva', and 14.3% in cv. 'Natalka'. A similar trend was observed in cv. 'Podolianka'. It is worth noting that the grain productivity of drought-treated cv. 'Podilska Nyva' plants was 28.7% higher than that in cv. 'Natalka'.

Under drought, the decline in the thousand grain weight was a significantly more important factor in the loss of productivity of the spike of the main shoot than the decrease in the grain number. The thousand grain weight was decreased by 16.9, 16.1 and 30.5% in cvs. 'Podilska Nyva' and 'Natalka' and line 'UK 065', respectively compared to the control. In cv. 'Podolianka', this parameter was only decreased by 4.8% and this decrease was statistically insignificant. The grain number in the spike of the primary shoot was significantly smaller compared to the control (by 12.4%) only in line 'UK 065'. In cv. 'Podilska Nyva', there was a downward trend in the grain number per spike

зниження кількості зерен в колосі (6,6 %), а в сортів Подолянка та Наталка даний показник у контрольних і дослідних рослин не відрізнявся.

Водночас зменшення зернової продуктивності цілої рослини за дії посухи у більшості генотипів за винятком сорту Подолянка значною мірою залежало від зниження озерненості. У сортів Подільська нива, Наталка і лінії УК 065 у дослідних рослин кількість зерен зменшувалася порівняно з контролем на 23,5, 14,7 і 36,1 %, відповідно. При цьому спричинене посухою зниження маси 1000 зерен було приблизно таким самим у сорту Наталка і дещо меншим у сорту Подільська нива і лінії УК 065.

Характер змін елементів структури зернової продуктивності рослин озимої пшениці за дії короткотривалої посухи свідчить, що основним чинником втрат зернової продуктивності рослини була нестача асимілятів для наливу зерна і формування зернівок бічних пагонів, яка була спричинена стрес-індукованим пошкодженням фотосинтетичного апарату.

(6.6%), while in cvs. 'Podolianka' and 'Natalka', this parameter did not differ from the corresponding control.

At the same time, the decline in the grain productivity of the whole plant caused by drought in most genotypes, except for cv. 'Podolianka', largely depended on the decrease in the grain number per spike. In cvs. 'Podilska Niva', 'Natalka', and line 'UK 065', the grain number was decreased by 23.5, 14.7, and 36.1%, respectively, compared to the control. The drought-induced decrease in the thousand grain weight was very similar in cv. 'Natalka' and somewhat smaller in cv. 'Podilska Niva' and line 'UK 065'.

The changes in the structure of grain productivity of winter wheat plants exposed to a short-term drought indicate that the lack of assimilates for grain setting and filling in lateral shoots, caused by stress-induced damage to the photosynthetic apparatus, was the main factor in the loss of the grain productivity.

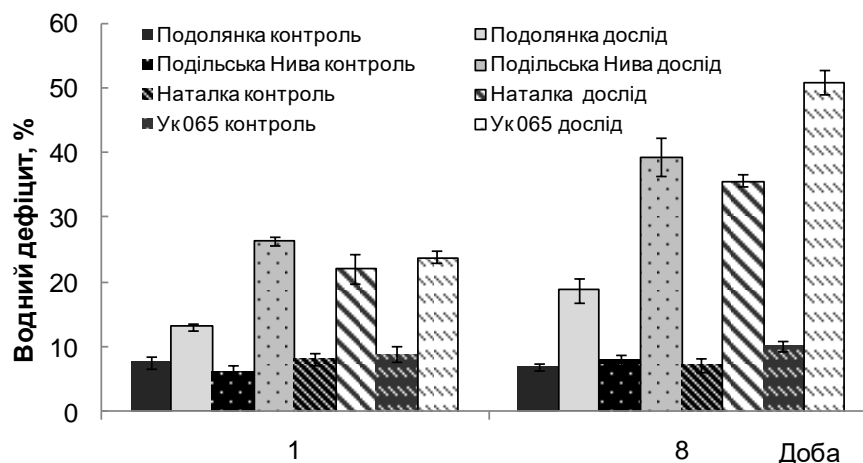


Рис. 1. Вплив посухи за 30 % ПВ в період формування–початок наливу зернівки (BBCH 71–75) на водний дефіцит у прапорцевому листку рослин озимої пшениці різних генотипів.

Fig. 1. Effect of drought at 30% FC during the "grain watery ripe – medium milk" period (BBCH 71–75) on the water deficit in the flag leaves of winter wheat plants of different genotypes. X axis – Day; Y axis – Water deficit, %.

Note. Подолянка контроль – Podolianka control, Подільська Нива контроль – Podilska Nyva control, Наталка контроль – Natalka control, УК 065 контроль – UK 065 control, Подолянка посуха – Podolianka drought, Подільська Нива посуха – Podilska Nyva drought, Наталка посуха – Natalka drought, УК 065 посуха – UK 065 drought.

Посуха викликала значні порушення водного режиму і функціонального стану фотосинтетичного апарату прапорцевого листка рослин усіх досліджених сортів озимої

Drought caused considerable disorders of the water balance and function of the photosynthetic apparatus of the flag leaves in all studied winter wheat cultivars. On first day of

пшениці. На першу добу зниження вологості ґрунту до 30 % ПВ водний дефіцит в листових пластинках прапорцевого листка зріс в 1,7 раза в сорту Подолянка, 2,7 раза в сорту Наталка і лінії УК 065 та в 4,3 раза в сорту Подільська нива (рис. 1). На восьму добу посухи водний дефіцит у прапорцевому листку зріс ще більше, досягаючи значень 18,8, 35,7, 39,4 та 50,9% у Подолянки, Наталки, Подільської ниви та УК 065, відповідно. Згідно з широко прийнятою класифікацією [33], такі значення вказують на розвиток помірного водного стресу в сорту Подолянка і жорсткого в інших досліджених генотипів.

Оскільки дослідні рослини всіх генотипів росли за однакового режиму поливу, отримані результати свідчать про значно кращу здатність рослин сорту Подолянка поглинати та утримувати воду за недостатнього зволоження ґрунту порівняно з іншими дослідженими генотипами, що забезпечує високу посухостійкість даного сорту. Краще підтримання водного режиму рослин за умов посухи зумовлюється досконалішою системою осмотичної та продигової регуляції, гідравлічною провідністю ксилеми, розвитком кореневої системи [34, 35].

decreased soil moisture (30% FC), the water deficit in the flag leaves increased by 1.7 times in cv. 'Podolianka', 2.7 times in cv. 'Natalka' and line 'UK 065', and 4.3 times in cv. 'Podilska Nyva' (Fig. 1). On day 8 of the drought, the water deficit in the flag leaves was even more pronounced, amounting to 18.8, 35.7, 39.4, and 50.9% in cvs. 'Podolianka', 'Natalka', and 'Podilska Nyva' and line 'UK 065', respectively. According to the traditional classification [33], such values indicate moderate water stress in cv. 'Podolianka' and severe water stress in the other investigated genotypes.

Since the treated plants of all genotypes grew under the same watering conditions, the obtained results indicate that cv. 'Podolianka' plants are much better able to absorb and retain water under insufficient moisture of the soil than the other tested genotypes, which ensures high drought tolerance of this cultivar. Improved maintenance of the water balance by plants under arid conditions is attributed to more perfect osmotic and stomatal regulation, better hydraulic conductivity of the xylem, and a more developed root system [34, 35].

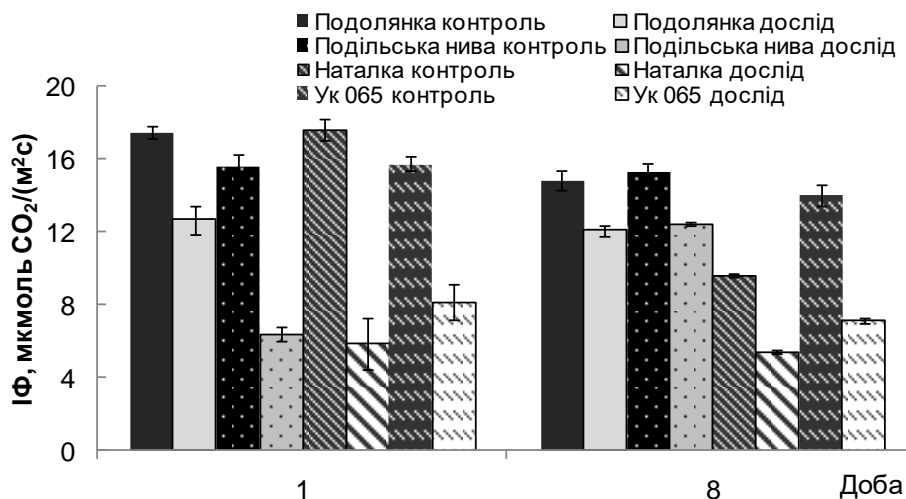


Рис. 2. Вплив посухи за 30 % ПВ в період формування–початок наливу зернівки (BBCH 71–75) на інтенсивність фотосинтезу прапорцевого листка рослин озимої пшениці різних генотипів.

Fig. 2. Impact of drought at 30% WFC during the "grain watery ripe – medium milk" period (BBCH 71–75) on the photosynthesis intensity in the flag leaves of winter wheat plants of different genotypes. X axis – Day; Y axis – Photosynthetic rate, μmol CO₂/(m²·s)

Note. Подолянка контроль – Podolianka control, Подільська Нива контроль – Podilska Nyva control, Наталка контроль – Natalka control, УК 065 контроль – UK 065 control, Подолянка посуха – Podolianka drought, Подільська Нива посуха – Podilska Nyva drought, Наталка посуха – Natalka drought, УК 065 посуха – UK 065 drought.

Досліджені генотипи за достатнього

The investigated well-watered genotypes

поливу істотно не відрізнялися за інтенсивністю асиміляції CO₂ з незначною тенденцією до дещо нижчих значень показника в високопродуктивних Подільської ниви та УК 065 (рис. 2). Упродовж експерименту з посухою інтенсивність асиміляції CO₂ в контрольних рослин Подільської ниви та УК 065 змінювалася незначно, а в сортів Подолянка і Наталка – на 15 і 45 %, відповідно, відображаючи тенденцію до більш раннього початку старіння в останнього.

Обмеження вологозабезпечення різною мірою пригнічувало асиміляцію CO₂ у досліджених генотипів. Цікаво відзначити, що у даному досліді характер змін інтенсивності фотосинтезу впродовж періоду посухи засвідчив здатність фотосинтетичного апарату окремих генотипів адаптуватися до умов дефіциту ґрунтової вологи. Зокрема, у високостійкого сорту Подолянка інгібування асиміляції CO₂ на першу добу посухи становило 27,6 %, а на восьму – 18,6% порівняно з відповідним контролем. У сорту Подільська нива активність асиміляції CO₂ в першу добу посухи падала на 59 % порівняно з контролем, а на восьму добу різниця з контролем становила лише 18,8 %. При цьому фотосинтетична активність прапорцевого листка у рослин дослідного варіанта і в абсолютних одиницях зростала в два рази, з 6,4 до 12,4 мкмоль CO₂/(м² · с). У сорту Наталка на початку посухи зниження асиміляції CO₂ було найсильнішим (66,7 %), а наприкінці стресового періоду показник був на 43,7 % меншим від контролю. Варто все ж зазначити, що у даного сорту зменшення відмінностей між контрольними і дослідними рослинами відбувалося на фоні різкого онтогенетично зумовленого падіння активності асиміляції CO₂ в контрольному варіанті. У лінії УК 065 ступінь інгібування асиміляції CO₂ відносно контролю був практично однаковим як на початку, так і наприкінці періоду посухи (51,8–50,8%).

Характерно, що послаблення інгібування фотосинтезу на восьму добу посухи відбувалося на фоні зростання водного дефіциту в листових пластинках (рис. 1). Схожі результати були отримані і інших дослідів з різними за посухостійкістю генотипами пшениці [36, 37].

Відомо, що адаптація фотосинтетичного апарату до посухи включає значні фізіологічні і метаболічні зміни, зокрема, накопичення осмотично активних сполук, збільшення частки ненасичених жирних кислот в складі мембран, активізацію синтезу білків-шаперонів та інших

did not differ significantly in the intensity of CO₂ assimilation with slight downward trends observed in the high-yielding cv. 'Podilska Nyva' and line 'UK 065' (Fig. 2). During the drought, the intensity of CO₂ assimilation in the control cv. 'Podilska Nyva' and line 'UK 065' plants changed slightly; in cvs. 'Podolianka' and 'Natalka', it changed by 15 and 45%, respectively, reflecting a tendency towards an earlier onset of senescence in the latter one.

Limited watering inhibited the CO₂ assimilation in the studied genotypes to varying degrees. It is noteworthy that in this experiment, the changes in the photosynthesis intensity during the drought exposure proved the ability of the photosynthetic apparatus of some genotypes to adapt to soil moisture deficit. In particular, in the highly tolerant cultivar, 'Podolianka', the CO₂ assimilation inhibition on days 1 and 8 of the drought was 27.6% and 18.6%, respectively, related to the corresponding control. In cv. 'Podilska Nyva', the CO₂ assimilation activity on day 1 of the drought was decreased by 59% compared to the control, while on day 8 the difference from the control was only 18.8%. At the same time, the absolute photosynthetic activity in the flag leaves of treated plants was also increased twofold, from 6.4 to 12.4 μmol CO₂/(m² · s). In cv. 'Natalka', at the drought onset, there was the greatest (66.7%) decrease in CO₂ assimilation, while at the end of the stress period, this parameter was 43.7% lower than the control value. It should be noted that the difference between the control and treated plants of this cultivar became smaller on a sharp, ontogenetically determined drop in CO₂ assimilation in the control. In line 'UK 065', the CO₂ assimilation inhibition related to the control was almost the same at both the beginning and the end of the drought exposure (51.8–50.8%).

Characteristically, the photosynthesis inhibition became less pronounced on day 8 of drought when the water deficit in leaves increased (Fig. 1). Similar findings were obtained in other experiments on wheat genotypes with various drought tolerance [36, 37].

It is known that the adaptation of the photosynthetic apparatus to drought includes considerable physiological and metabolic alterations, in particular, the accumulation of osmotically active compounds, an increase in percentages of unsaturated fatty acids in membranes, activation of the synthesis of chaperones and other protective proteins, ROS

протекторних білків, систем контролю рівня АФК [10, 38] та перебудови системи регуляції енергетичного балансу в хлоропластах [39]. Ці зміни, очевидно, зумовлювали підвищення (збереження) активності фотосинтетичного апарату на клітинному рівні в дослідних рослин на восьмий день посухи порівняно із першим.

control systems [10, 38], and rearrangement of the energy balance-regulating system in chloroplasts [39]. These alterations were likely to lead to an increase (maintenance) of the photosynthetic activity at the cellular level in treated plants on day 8 of drought compared to day 1.

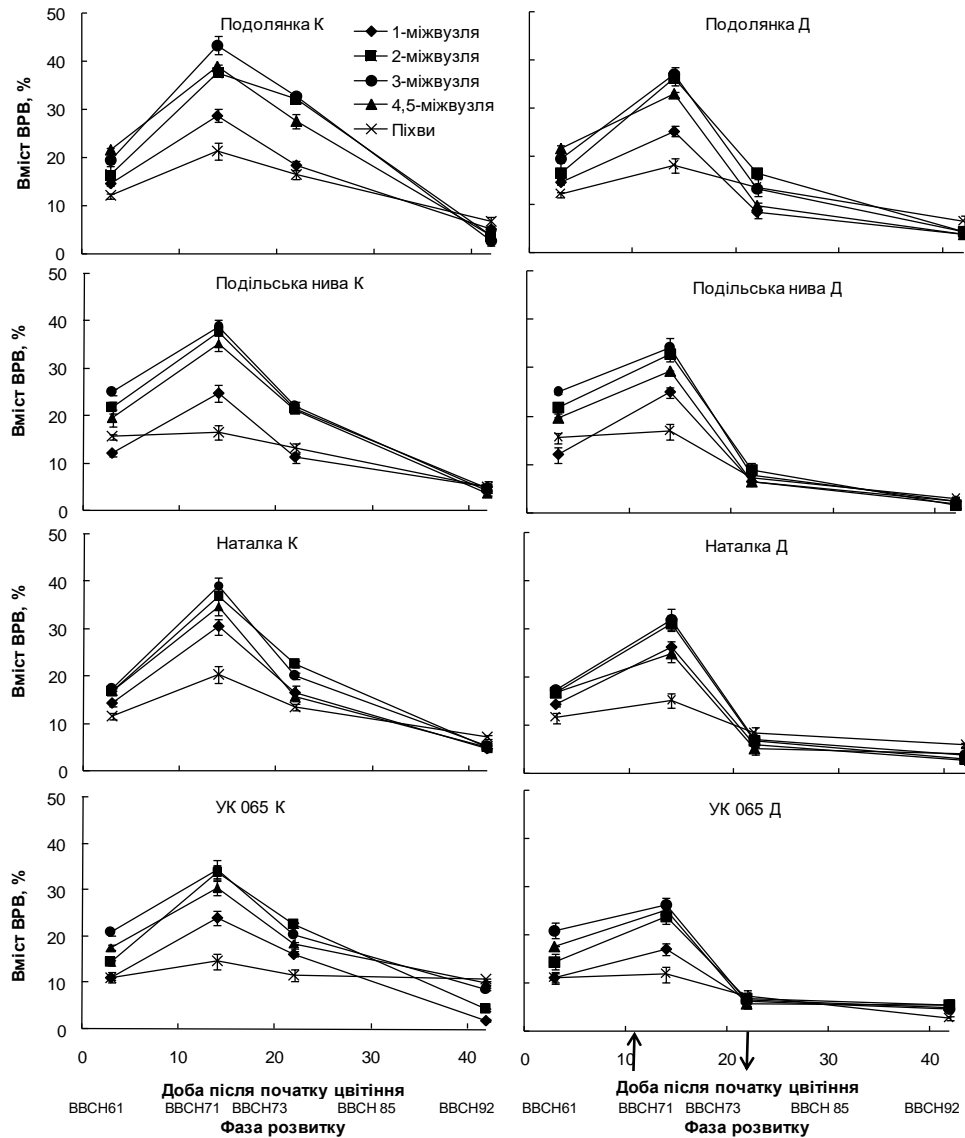


Рис. 3. Динаміка питомого вмісту ВРВ (% сухої речовини) в міжвузлях стебла і листкових піхвах у рослин різних генотипів озимої пшениці за оптимального зволоження (К) і дії короткочасної посухи в період формування–початок наливу зернівки (ВВСН 71–75) (Д). Тут і на рис. 4 стрілками позначено початок припинення і відновлення поливу рослин дослідного варіанта.

Fig. 3. Specific content of WSC (% in dry matter) over time in the stem internodes and leaf sheaths in winter wheat plants of different genotypes under optimal wetting (C) and short-term drought (D) during the "grain watery ripe – medium milk" period (BBCH 71–75). X axis – Day after the anthesis onset, Ontogenic stage; Y axis – WSC content, %.

Note. Міжвузля – Internode, піхви – Leaf sheaths. Note. Подолянка К – Podolianka control, Подільська Нива К – Podilska Nyva control, Наталка К – Natalka control, УК 065 К – UK 065 control, Подолянка Д – Podolianka drought, Подільська Нива Д – Podilska Nyva drought, Наталка Д – Natalka drought, УК 065 Д – UK 065 drought. The arrows here and in Fig. 4 indicate the cessation and resumption of watering plants in the experiment.

Динаміка питомого вмісту ВРВ у розрахунку на одиницю маси сухої речовини в сегментах стебла протягом репродуктивного розвитку рослин у досліджених генотипів пшениці була схожою в загальних рисах, проте вміст ВРВ і його онтогенетичні зміни в окремих частинах стебла істотно різнилися (рис. 3). Короткострокова посуха істотно впливала на зміни показника.

Найвищі значення питомого вмісту ВРВ в усіх сегментах стебла фіксувалися на 14-ту добу від початку цвітіння у фазу формування зернівки (BBCH 71), після чого рівень поступово зменшувався до фази повної стиглості зерна внаслідок ремобілізації асимілятів для розвитку зернівки. У період максимального накопичення найбільшими значеннями питомого вмісту ВРВ відзначалися третє і друге міжвузля стебла (рахуючи зверху) за обох режимів поливу в усіх досліджених генотипів. У листових піхвах спостерігався найменший вміст ВРВ, який у середньому був приблизно в два рази меншим за відповідні значення у третьому міжвузлі як для контрольних, так і дослідних рослин. Рівень накопичення ВРВ у четвертому–п'ятому міжвузлях був в середньому доволі високим і лише на 10,6 і 13,3% нижчим від показників третього міжвузля у рослин контрольного і дослідного варіантів, відповідно. Верхнє міжвузля характеризувалося проміжними значеннями питомого вмісту ВРВ, які були в середньому меншими, ніж в третьому міжвузлі, на 34,5% в контрольних рослин і на 27,8% в рослин дослідного варіанту

За даними дисперсійного аналізу досліджені генотипи загалом істотно відрізнялися за максимальним рівнем вмісту ВРВ в окремих сегментах стебла. Значення р для відмінностей між сортами в цілому за всіма частинами стебла дорівнювали 0,0449 за оптимального поливу і 0,00001 за дії посухи. Сорт Подольська мав найвищі, а лінія УК 065 найнижчі рівні питомого вмісту ВРВ як в умовах оптимального, так і обмеженого поливу. Водночас, у сорту Подільська нива були виявлені істотно вищі порівняно з іншими генотипами значення питомого вмісту ВРВ в окремих частинах стебла у фазі цвітіння.

Обмеження поливу на початку наливу зернівок змінювало рівень і динаміку накопичення ВРВ у стеблі, особливо істотно в сорту Наталка і лінії УК 065. Припинення поливу дослідних рослин впродовж трьох днів

The time profiles of the specific content of WSC per unit of dry matter weight in the stem segments during the reproductive development of plants of the studied wheat genotypes were generally similar; however, the WSC content and its ontogenetic changes in separate parts of the stem differed significantly (Fig. 3). Short-term drought had a considerable effect on the profile of this parameter.

The highest specific content of WSC in all segments of the stem was recorded on day 14 after the anthesis onset, at the grain watery ripe stage (BBCH 71), then the WSC level gradually decreased to the complete grain ripeness stage due to the remobilization of assimilates for the grain development. During maximum accumulation, the third and second internodes of the stem (counted from the top) showed the highest specific content of WSC under both watering modes in all studied genotypes. Leaf sheaths had the lowest content of WSC, which on average was about two-fold lower than the corresponding values in the third internode in both control and treated plants. The fourth–fifth internodes accumulated WSC quite intensively: the mean WSC content in these internodes was only 10.6 and 13.3% lower than that in the third internode in control and treated plants, respectively. The uppermost internode was characterized by intermediate specific content of WSC, which was lower on average by 34.5% and 27.8% than that in the third internode of control and treated plants, respectively.

ANOVA showed that the studied genotypes differed significantly in the maximum levels of WSC in the stem segments. P-values for the inter-cultivar differences were 0.0449 for all stem parts under optimal watering and 0.00001 under drought. Cv. 'Podolianska' had the highest specific content of WSC and line 'UK 065' had the lowest specific content of WSC both under optimal and limited watering. At the same time, the specific content of WSC in some stem parts during anthesis was found to be significantly higher in cv. 'Podilska Nyva' than in the other genotypes.

Limited watering at the beginning of grain filling changed the level and time profile of WSC accumulation in the stem; these changes were especially conspicuous in cv. 'Natalka' and line 'UK 065'. The 3-day cessation of watering to reduce soil moisture to 30% FC decreased the WSC content in stem parts on average by 10.8, 7.9, 20.5, and 23.8% related to the control in cvs.

для зниження вологості ґрунту до рівня 30 % ПВ призводило до зменшення вмісту ВРВ в частинах стебла в середньому на 10,8, 7,9, 20,5 і 23,8 % відносно контролю у сортів Подолянка, Подільська нива, Наталка і лінії УК 065, відповідно.

Упродовж періоду обмеженого поливу дослідних рослин (з 11-ї по 22-гу добу після початку цвітіння) питомий вміст ВРВ у сегментах стебла знижувався як у дослідних, так і у контрольних рослин, однак різною мірою. За оптимального поливу падіння рівня ВРВ в середньому для досліджених частин стебла становило у сортів Подолянка, Подільська нива, Наталка і лінії УК 065, відповідно, 25,7, 40,3, 44,4 і 33,2%, а за дії посухи зниження істотно посилювалося і становило 56,3, 71,8, 71,7 і 65,0%, відповідно. Тобто, за недостатнього зволоження швидкість зниження вмісту депонованих у стеблі вуглеводів на ранніх етапах наливу зерна зростало майже вдвічі.

У подальшому в ході дозрівання зернівки питомий вміст ВРВ знижувався до мінімальних значень, практично однакових для різних частин стебла, у рослин більшості досліджених генотипів. Нехарактерно вищі значення цього показника зафіксовані в нижніх міжвузлях і листових піхвах контрольного варіанта лінії УК 065.

Посуха не змінювала залишковий питомий вміст ВРВ у фазу повної стиглості в частинах стебла рослин сорту Подолянка (в середньому 4,38% у контрольних рослин і 4,50% у дослідних), проте загалом знижувала в сортів Подільська нива та Наталка (4,50 і 2,30% та 5,43 і 3,87%, відповідно), а також у нижніх міжвузлях і листових піхвах лінії УК 065.

Отримані нами результати щодо динаміки вмісту ВРВ в сегментах стебла пшениці за оптимального зволоження і дії посухи на початку формування зернівок в основних рисах збігаються з даними інших авторів [12, 25] і наших досліджень, в яких рослини піддавалися дії посухи в період цвітіння [40]. Посуха істотно зменшувала максимальний рівень накопичення резервних вуглеводів у стеблі і пришвидшувала онтогенетичне зниження їх вмісту внаслідок ремобілізації. Проте у даному досліді, на відміну від зазначених праць, вміст вуглеводів не підвищувався на початку періоду посухи, що відзначається як типова адаптивна реакція рослин [9, 10]. Це можна пояснити тим, що в даному досліді період посухи розпочинався на більш пізній фазі розвитку (формування

'Podolianka', 'Podilska Nyva', and 'Natalka' and line 'UK 065', respectively.

During the limited watering period (from day 11 to day 22 after the anthesis onset), the specific content of WSC in stem segments decreased in both treated and control plants, but to a different extent. Under optimal watering, the mean decline in the WSC levels in the studied parts of the stem was 25.7, 40.3, 44.4, and 33.2% in cvs. 'Podolianka', 'Podilska Nyva', and 'Natalka' and line 'UK 065', respectively; the decline was significantly greater under drought, amounting to 56.3, 71.8, 71.7 and 65.0%, respectively. Hence, the rate of decline in the stem-deposited carbohydrate content at the early stages of grain filling increased almost twice under insufficient watering.

Later, during the grain ripening, the specific content of WSC decreased to minimum values, which were very similar in different parts of the stem in plants of most of the studied genotypes. Unusually higher values of this parameter were recorded in the lower internodes and leaf sheaths in line 'UK 065' in the control.

Drought did not change the residual specific content of WSC at the complete ripeness stage in stem parts of cv. 'Podolianka' plants (on average 4.38% in the control plants and 4.50% in the treated ones), but reduced it in cvs. 'Podilska Nyva' and 'Natalka' (4.50 vs. 2.30% and 5.43 vs. 3.87%, respectively); the same pattern was observed for the lower internodes and leaf sheaths in line 'UK 065'.

Our results on the WSC content over time in wheat stem segments under optimal watering and drought at the beginning of the grain formation mainly agree with other authors' data [12, 25] and our findings, where plants were exposed to drought during anthesis [40]. Drought significantly reduced the maximum accumulation of reserve carbohydrates in the stem and accelerated the remobilization-caused ontogenetic decline in their content. However, in this experiment, unlike the above-mentioned studies, the carbohydrate content did not increase at the beginning of the drought period, which is considered as a typical adaptive response of plants [9, 10]. This can be explained by the fact that in this experiment drought was initiated at a later stage of development (grain watery ripe) when the WSC content in stem segments was already high enough (approximately two-fold higher than in the experiment described in [40]).

The time profile of the total amount of

зернівки), коли вміст ВРВ в сегментах стебла був уже достатньо високим (приблизно в два рази вищим, ніж в досліді, описаному в роботі [40]).

Динаміка валової кількості ВРВ у стеблі і його окремих частинах впродовж досліджуваного періоду визначалася змінами питомого вмісту ВРВ і маси сухої речовини (рис. 4).

WSC in the stem and its parts during the studied period was determined by changes in the specific content of WSC and dry matter weight (Fig. 4).

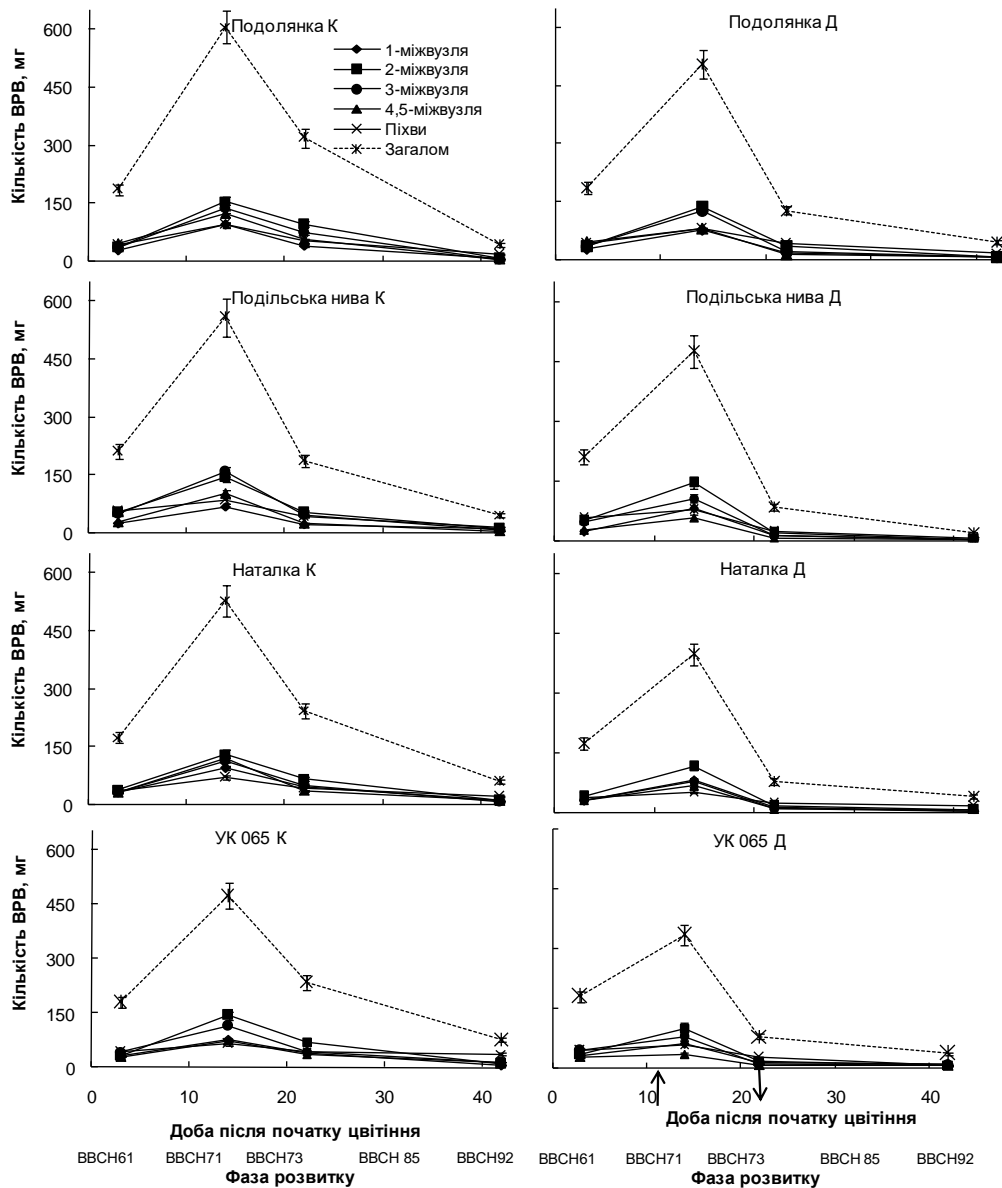


Рис. 4. Динаміка кількості ВРВ у міжвузлях стебла і листових піхвах рослин різних генотипів озимої пшениці за оптимального зволоження (К) і дії короткочасної посухи в період формування–початок наливу зернівки (ВВСН 71–75) (Д).

Fig. 4. Time profiles of the WSC amount in the stem internodes and leaf sheaths of winter wheat plants of different genotypes under optimal moisture (K) and short-term drought (Д) during the "grain watery ripe – medium milk" period (BBCH 71–75). X axis – Day after the anthesis onset, Ontogenic stage; Y axis – WSC amount, mg. Other designations are as in Fig. 3.

У всіх генотипів за обох режимів поливу кількість ВРВ досягала максимального рівня на

In all genotypes, the WSC amount reached its maximum on day 14 after the anthesis onset and

14 добу після початку цвітіння, а після цього різко знижувалася, відображаючи активність ремобілізації ВРВ для наливу зернівок.

Впродовж 14 діб від початку цвітіння за оптимального поливу валова кількість ВРВ в стеблі загалом зростає в сортів Подолянка і Наталка приблизно в 3 рази, а у сорту Подільська нива і лінії УК 065 – в 2,6 рази. Найбільші максимальні значення валового вмісту ВРВ в стеблі в цілому були зафіксовані у сортів Подолянка і Подільська нива, у сорту Наталка значення показника було меншим приблизно на 10%, а у лінії УК 065 – на 20%.

За вказаний період у сорту Подолянка кількість ВРВ найбільше зростає в другому і третьому міжвузлях (у 4,5 і 3,9 рази, відповідно), приріст в інших частинах стебла був меншим (приблизно в 2,5 рази). У сорту Подільська Нива дещо більше зростання кількості ВРВ (приблизно в 3,3 рази) відзначалося у третього і 4–5-го міжвузлів, тоді як у першого і другого воно становило близько 2,8 рази. У сорту Наталка кількість ВРВ теж дещо більше зростає в нижніх міжвузлях (в 3,7 рази) і найменше – в підколосовому міжвузлі (в 3,1 рази). Для лінії УК 065 значно більший приріст кількості ВРВ відзначено у другому міжвузлі (в 4,4 рази), порівняно з приблизно 2,6 рази в інших міжвузлях. Найменше зростання кількості ВРВ у всіх сортів було характерним для листових піхв – від 1,5 до 2,3 рази.

За оптимального поливу в період максимальних значень найбільша частина загальної кількості ВРВ стебла накопичувалася в середніх міжвузлях. Частка другого міжвузля здебільшого була найвищою і варіювала від 30,2 % у лінії УК 065 до 24,9% у сорту Наталка, частка третього була дещо нижчою – від 28,5% у Подільської ниви до 21,1 у сорту Наталка. Найменші значення були зафіксовані для верхнього міжвузля – від 12,1% у Подолянки, до 18,2% у Наталки, а також листових піхв – від 13,3% у Наталки до 16,1% у Подолянки. Для 4–5 міжвузлів були характерними проміжні значення в межах 15,6 % у лінії УК 065 і 22,5% у сорту Наталка.

Слід відзначити, що в другому і третьому міжвузлях сумарно депонувалося більше половини загальної кількості ВРВ стебла у рослин усіх генотипів, крім сорту Наталка, у якого цей показник становив 46%. Для цього сорту, на відміну від інших, частки всіх міжвузлів у загальній кількості ВРВ стебла були досить близькими.

Посуха впливала на загальну кількість

then sharply decreased, reflecting intensive remobilization of WSC for grain filling under both watering modes.

Within 14 days from the anthesis onset, under optimal watering, the total amount of WSC in the stem increased by approximately 3 times in cvs. 'Podolianka' and 'Natalka' and by 2.6 times in cv. 'Podilska Nyva' and line 'UK 065'. The highest values of the total content of WSC in the stem were recorded for cvs. 'Podolianka' and 'Podilska Nyva'; this parameter was approximately 10% lower in cv. 'Natalka' and 20% lower in line 'UK 065'.

During the specified period, the WSC amount increased the most in the second and third internodes (4.5- and 3.9-fold, respectively) in cv. 'Podolianka'; the increase in other parts of the stem was smaller (approximately 2.5-fold). In cv. 'Podilska Nyva', a slightly greater increase in the WSC amount (approximately 3.3-fold) was noted in the third and fourth–fifth internodes, while it was about 2.8-fold in the first and second ones. In cv. 'Natalka', the WSC amount also increased slightly greater in the lower internodes (3.7-fold) and the least in the peduncle (3.1-fold). As to line 'UK 065', there was a significantly greater increase in the WSC content in the second internode (4.4-fold) compared to an approximately 2.6-fold increase in the other internodes. The smallest increase in the WSC amount (1.5- to 2.3-fold) was noted in leaf sheaths of all cultivars.

Under optimal watering during the period of maximum values, the largest portion of the total amount of WSC in the stem was accumulated in the middle internodes. The share of the second internode was mostly the highest, varying from 30.2% in line 'UK 065' to 24.9% in cv. 'Natalka'; the share of the third internode was somewhat lower, varying from 28.5% in cv. 'Podilska Nyva' to 21.1% in cv. 'Natalka'. The lowest values were recorded for the uppermost internode (from 12.1% in cv. 'Podolianka' to 18.2% in cv. 'Natalka') and for leaf sheaths (from 13.3% in cv. 'Natalka' to 16.1% in cv. 'Podolianka'). Intermediate values of 15.6% in line 'UK 065' and 22.5% in cv. 'Natalka' were characteristic for 4–5 internodes.

It should be noted that the second and third internodes deposited more than half of the total amount of stem WSC in all genotypes, except for cv. 'Natalka', in which this parameter was 46%. In this cultivar, unlike the others, the shares of all internodes in the total amount of stem WSC were quite similar.

депонованих в стеблі ВРВ. Максимальний рівень накопичення ВРВ у стеблі в цілому у сортів Подолянка і Подільська Нива знизився на 15 %, в сорту Наталка – на 24%, а у сорту УК 065 – на 25%. Характерно, що в усіх досліджених генотипів накопичення резервних ВРВ за дії посухи найсильніше зменшувалося в нижніх 4–5 міжвузлях. Назагал для досліджених генотипів простежувалася тенденція зменшення негативного впливу водного дефіциту на кількість ВРВ у міжвузлях із підвищенням ярусу. Дія посухи на кількість ВРВ у листових піхвах була менш вираженою і неоднозначною, у сортів Подолянка і Наталка відзначено невелике зниження, а в сорту Подільська нива і лінії УК 065 підвищення даного показника.

Значно помітнішим був вплив посухи на швидкість ремобілізації ВРВ із стебла. Так, якщо за оптимального поливу зменшення валової кількості ВРВ у стеблі за період від 14-ї доби після початку цвітіння (BBCH 71) до 22-ї (BBCH 75) у сортів Подолянка, Подільська нива, Наталка і лінії УК 065 становило близько 48, 63, 53 і 49 %, то за дії посухи – 80, 82, 78 і 75%, відповідно. Тобто, за недостатнього зволоження швидкість ремобілізації депонованих у стеблі вуглеводів на ранніх етапах наливу зерна у рослин пшениці зростала приблизно в 1,5 раза, і при цьому за короткий період використовувалася переважна частина депонованого резерву вуглеводів. Це свідчить про зростання важливості використання депонованих вуглеводів для розвитку зернівок і формування врожаю за стресових умов на фоні зниження продуктивності поточного фотосинтезу.

Залишкова кількість ВРВ наприкінці вегетації в окремих сегментах пагона і стеблі в цілому у сортів Подолянка і Подільська нива була меншою, ніж у сорту Наталка і лінії УК 065. Особливо низькими значеннями вирізнялися рослини дослідного варіанта сорту Подільська нива. Кількість ВРВ в цілому стеблі у дослідних рослин цього сорту після завершення вегетації становила 21 мг і була приблизно вдвічі меншою, ніж у відповідному варіанті сортів Подолянка, Наталка та лінії УК 065.

Крім того, окремі частини стебла відрізнялися за ступенем зниження кількості ВРВ. Відносно максимальних значень залишкова кількість ВРВ становила в середньому для контрольних і дослідних рослин, відповідно, 9,5 і 8,9% для верхнього

Drought affected the total amount of WSC deposited in the stem. The maximum WSC accumulation in the entire stem decreased by 15% in cvs. 'Podolianka' and 'Podilska Nyva', by 24% in cv. 'Natalka', and by 25% in line 'UK 065'. Characteristically, in all studied genotypes, the drought-affected accumulation of reserve WSC decreased the most in the lower (fourth-fifth) internodes. In general, there was a downward trend in the negative impact of water deficit on the WSC amount in upper internodes in the studied genotypes. The effect of drought on the WSC amount in leaf sheaths was less pronounced and ambiguous: there was a slight decrease in cvs. 'Podolyanka' and 'Natalka' and an increase in cv. 'Podilska Nyva' and line 'UK 065'.

The effect of drought on the WSC remobilization rate from the stem was much more noticeable. Under optimal watering, the reduction of the total amount of WSC in the stem over the period from day 14 after the anthesis onset (BBCH 71) to day 22 (BBCH 75) was about 48, 63, 53, and 49% in cvs. 'Podolianka', 'Podilska Nyva', and 'Natalka' and line 'UK 065', respectively, while under drought, it was 80, 82, 78 and 75%, respectively. That is, under insufficient watering, the remobilization rate of stem-deposited carbohydrates at the early stages of grain filling in wheat plants increased by approximately 1.5 times and the bulk of the deposited reserve carbohydrates was used within a short period. This indicates the growing importance of using deposited carbohydrates for grain development and yield formation on decreased productivity of current photosynthesis under stressful conditions.

At the end of the growing period, the residual amount of WSC in some segments of the shoot and in the entire stem of cvs. 'Podolianka' and 'Podilska Niva' was lower than that in cv. 'Natalka' and line 'UK 065'. The treated cv. 'Podilska Nyva' plants were distinguished by particularly low values. The WSC amount in the entire stem in treated plants of this cultivar at the end of the growing period was 21 mg or approximately half as much as in cvs. 'Podolyanka' and 'Natalka' and line 'UK 065'.

In addition, stem parts differed in the degree of reduction in the WSC amount. Related to the peak values, the mean residual amount of WSC was 9.5 and 8.9% in the uppermost internode of control and treated plants, respectively; 6.1 and 5.3% in the second

міжвузля, 6,1 і 5,3% для другого міжвузля, 6,2 і 5,4% для третього міжвузля, 9,3 і 10,2% для нижніх міжвузлів, проте істотно вищі значення – 31,4 і 19,7% – спостерігалися для листових піхв. Більші відносні значення залишкової кількості ВРВ свідчать про гіршу ефективність ремобілізації асимілятів із цих частин стебла порівняно з другим і третім міжвузлями.

За різницею між максимальними рівнями валової кількості ВРВ і залишковими значеннями в фазі повної стиглості зерна оцінювали кількість ремобілізованих ВРВ з окремих сегментів стебла під час наливу зерна (рис. 5). За оптимального поливу найбільша кількість ремобілізованих ВРВ із стебла в цілому виявлена у сорту Подолянка. Показник був більшим на 10,6%, ніж у сорту Подільська нива, на 20,5% – ніж у сорту Наталка і на 42,6% – ніж у лінії УК 065, хоча відмінності були статистично вірогідними лише щодо лінії УК 065. Посуха зменшувала кількість ремобілізованих ВРВ на 18,6, 11,0, 23,9 і 24,9% у сортів Подолянка, Подільська нива, Наталка і лінії УК065, відповідно. У дослідному варіанті загальна кількість ремобілізованих ВРВ із стебла в цілому у сортів Подолянка і Подільська нива була майже однаковою і перевищувала показник у сорту Наталка на 22,5 %, а у лінії УК 065 – на 35,3%.

internode; 6.2 and 5.4% in the third internode; 9.3 and 10.2% in the lower internodes, but significantly higher, 31.4 and 19.7%, in leaf sheaths. Larger relative values of the residual amount of WSC indicate a worse efficiency of remobilization of assimilates from these parts of the stem compared to the second and third internodes.

Based on the difference between the maximum levels of the total amount of WSC and the residual amount at the full grain ripeness stage, the amount of WSC remobilized from different segments of the stem during grain filling was estimated (Fig. 5). Under optimal watering, the largest amount of WSC remobilized from the entire stem was recorded for cv. 'Podolianka'. It was higher by 10.6% than in cv. 'Podilska Nyva', by 20.5% than in cv. 'Natalka', and by 42.6% than in line 'UK 065', although the differences were statistically significant only for line 'UK 065'. Drought reduced the remobilized WSC amount by 18.6, 11.0, 23.9, and 24.9% in cvs. 'Podolianka', 'Podilska Nyva', and 'Natalka' and line 'UK 065', respectively. In the treated plants, the total amounts of WSC remobilized from the entire stem in cvs. 'Podolianka' and 'Podilska Niva' were very similar, exceeding the corresponding values by 22.5% and 35.3% in cv. 'Natalka' and line 'UK 065'.

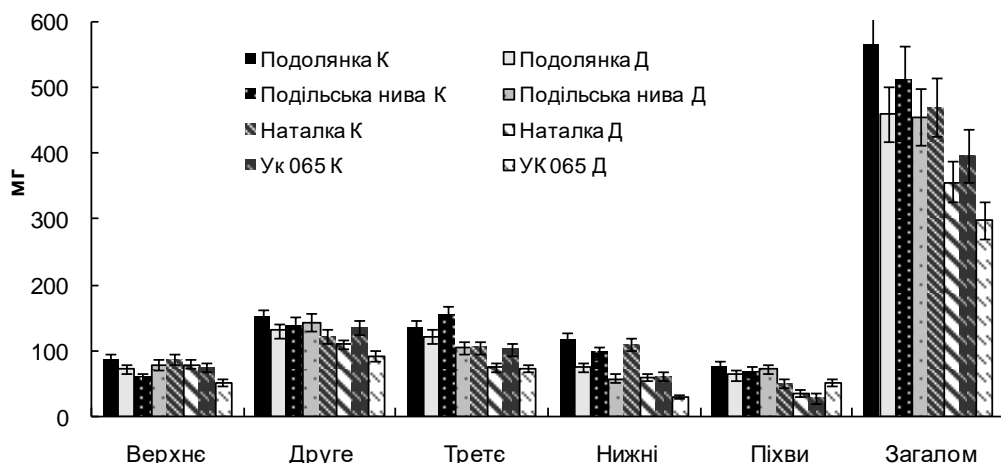


Рис. 5. Кількість ремобілізованих ВРВ (мг) з окремих сегментів і стебла в цілому у сортів озимої пшениці за оптимального зволоження (К) і дії короткочасної посухи в період формування–початок наливу зернівки (ВВСН 71–75) (Д).

Fig. 5. The amount (mg) of WSC remobilized from individual segments and the entire stem in winter wheat under optimal moisture (K) and short-term drought (D) during the "grain watery ripe – medium milk" period (BVCH 71–75). X axis: Верхнє міжвузля – Uppermost internode (peduncle), Міжвузля – Internode, Піхви – Leaf sheaths, загалом – Total. Y axis: мг – mg. Other designations are as in Fig. 3.

Найбільша кількість ВРВ була ремобілізована з другого міжвузля і становила в середньому близько 28 % від загальної у контрольних рослин і 30% у дослідних (рис. 6). Для сортів відзначена тенденція збільшення частки цього міжвузля за дії посухи, а у лінії УК 065 – зменшення. Частка третього міжвузля становила в середньому 24% за обох режимів поливу, слабо різнилася між варіантами для більшості досліджених генотипів, крім сорту Подільська нива, у якого у дослідних рослин була меншою порівняно з контролем. Кількість ремобілізованих ВРВ сумарно з 4-го і 5-го міжвузлів була меншою порівняно з окремо взятими другим чи третім та у всіх генотипів істотно зменшувалася за дії посухи. Вплив посухи був зумовлений в першу чергу згаданим вище зменшенням накопичення ВРВ, хоча залишкова кількість ВРВ проявляла певну тенденцію до підвищення. У середньому частка нижніх міжвузлів становила близько 20 % за оптимального поливу і трохи менше 14% за дії посухи. Найменша кількість ВРВ ремобілізувалася з підколосового міжвузля та листових піхв – в середньому приблизно 11 і 14 та 11 і 16% в контрольних і дослідних рослин, відповідно.

The largest amount of WSC was remobilized from the second internode, averaging about 28% of the total in control plants and 30% in treated ones (Fig. 6). There was an upward trend in the share of this internode in the cultivars and a downward trend in line 'UK 065' under drought. The share of the third internode averaged 24% under both watering modes; it differed slightly between the variants in most of the studied genotypes, except for cv. 'Podilska Nyva', in which it was smaller in the treated plants compared to the control ones. The total amount of WSC remobilized from the fourth and fifth internodes was smaller compared to that from the second or third internode taken separately and significantly decreased under drought in all genotypes. The drought impact was manifested primarily as the above-described decrease in the WSC accumulation, although a certain upward trend in the residual amount of WSC was observed. On average, the share of the lower internodes was about 20% under optimal watering and slightly less than 14% under drought. The smallest amount of WSC was remobilized from the peduncle and leaf sheaths: on average, approximately 11 and 14 vs. 11 and 16% in control and treated plants, respectively.

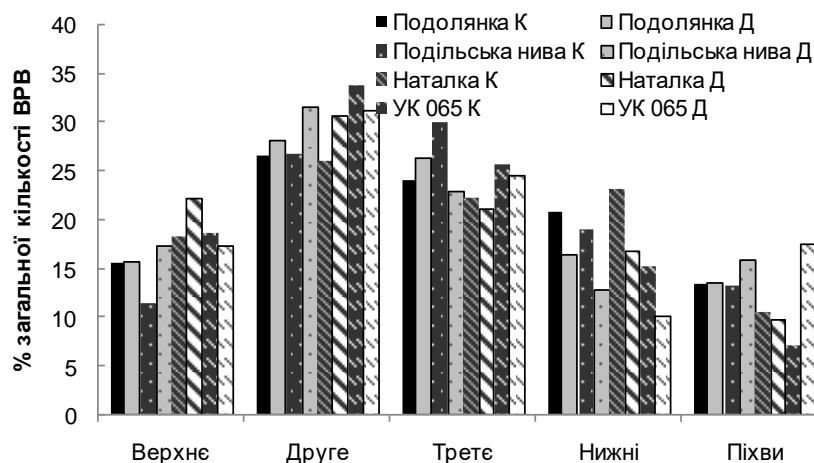


Рис. 6. Частка окремих частин (%) у загальній кількості ремобілізованих ВРВ із стебла в рослин озимої пшениці різних генотипів за оптимального зволоження (К) і дії короткочасної посухи в період формування–початок наливу зернівки (ВВСН 71–75) (Д). Відмінності між окремими частинами стебла вірогідні за $p < 0,05$.

Fig. 6. Shares of separate stem parts (%) in the total amount of WSC remobilized from the stem in winter wheat plants of different genotypes under optimal watering (C) and short-term drought (D) during the "grain watery ripe – medium milk" period (BBCH 71–75). Y axis: % загальної кількості ВРВ – % of the total amount of WSC. Differences between separate parts of the stem are significant at $p < 0.05$. Other designations are as in Fig. 5.

Ефективність ремобілізації ВРВ із стебла,

The efficiency of WSC remobilization

як і в досліді з посухою в фазі цвітіння, була високою і близькою в усіх сортів за обох режимів поливу (рис. 7). Вона практично не відрізнялась у рослин контрольного та дослідного варіантів. В контрольному варіанті дещо вища ефективність ремобілізації була відзначена у сортів Подолянка і Подільська нива – 92,33 і 90,1 %, відповідно. Трохи нижчі значення показника були сорту Наталка і селекційної лінії УК 065 – майже 87,2 і 80,4 %, відповідно. За дії посухи ефективність ремобілізації ВРВ проявляла тенденцію до підвищення у сорту Подільська нива (95,1 %) та лінії УК 065 (87,8 %), незначного зниження у сорту Подолянка (90,1 %) і не змінювалася у сорту Наталка (87,4 %). Ці незначні зміни, загалом, узгоджувалися із зазначеними вище відмінностями в залишковій кількості ВРВ в стеблах (рис. 4).

from the stem, like in the drought experiment during anthesis, was high and similar in all cultivars under both watering modes (Fig. 7). It almost did not differ between control and treated plants. In the control, a slightly higher remobilization efficiency was noted in cvs. 'Podolianka' and 'Podilska Nyva': 92.33 and 90.1%, respectively. Cv. 'Natalka' and line 'UK 065' had slightly lower values of the parameter: 87.2 and 80.4%, respectively. Under drought, there was an upward trend in the efficiency of WSC remobilization in cv. 'Podilska Nyva' (95.1%) and line 'UK 065' (87.8%), a slight decrease in this parameter in cv. 'Podolianka' (90.1%), and no change in cv. 'Natalka' (87.4 %). These minor changes, in general, were consistent with the above-mentioned differences in the residual amount of WSC in the stem (Fig. 4).

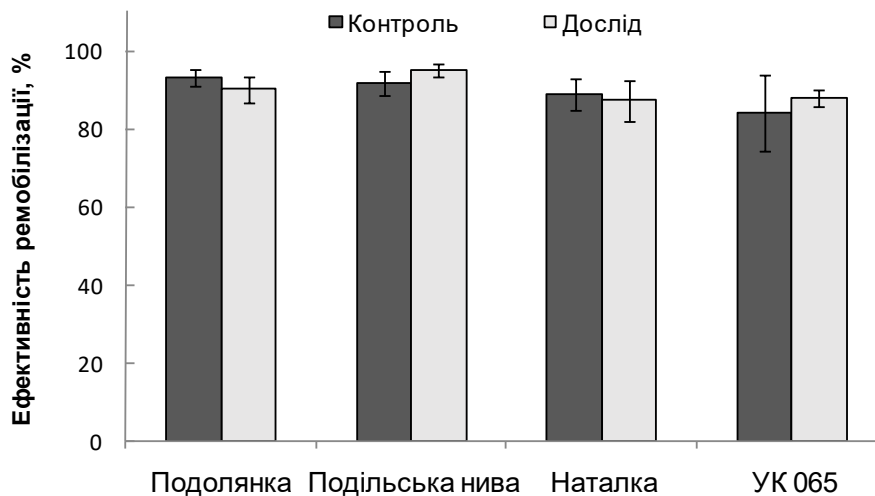


Рис. 7. Ефективність ремобілізації депонованих у стеблі ВРВ у рослин озимої пшениці різних генотипів за оптимального зволоження (контроль) і дії короточасної посухи в період формування – початок наливу зернівки (ВВСН 71–75) (дослід). Представлені усереднені для всіх частин стебла значення.

Fig. 7. Stem-deposited WSC remobilization efficiency in winter wheat plants of different genotypes under optimal moisture (control) and short-term drought during the "grain watery ripe – medium milk" period (BBCH 71–75). Mean values for all parts of the stem are presented. X axis: Ефективність ремобілізації, % – Remobilization efficiency, %. Контроль – Control, Дослід – Drought.

Ремобілізовані із стебла ВРВ були істотним джерелом асимілятів для наливу зерна (рис. 8). Внесок депонованих асимілятів у зернову продуктивність за обох режимів зволоження був найбільшим в екологічно пластичного сорту Подолянка – 32 % в контрольному варіанті та 28,3 % в дослідному варіанті. Найменша частка резервних вуглеводів в зерновій продуктивності виявлена у високопродуктивних генотипів: сорту

WSC remobilized from the stem were a significant source of assimilates for grain filling (Fig. 8). The contribution of deposited assimilates to grain productivity under both watering modes was the largest in the environmentally plastic cultivar, 'Podolianka': 32% in the control and 28.3% under drought. The smallest share of reserve carbohydrates in grain productivity was detected in high-yielding: cv. 'Podilska Nyva' (21.3% and 24.6%,

Подільська нива (21,3 % та 24,6 %) і лінії УК065 (18,2 % та 22,4 %). У сорту Наталка цей показник становив 27,4 % за нормального режиму зволоження та 24,3 % за дії посухи.

Цікаво відзначити, що у високопродуктивних генотипів, які сильніше знижували зернову продуктивність за дії посухи – Подільської ниви і лінії УК065, частка депонованих ВРВ в масі зерна колоса за дії стресора дещо зростала порівняно з контролем, і навпаки, у менш продуктивних сортів з меншими втратами зернової продуктивності – Подолянки і Наталки внесок резервних ВРВ трохи знижувався. Очевидно, різна тенденція змін частки депонованих ВРВ у масі зерна колоса зумовлена кращим відновленням активності фотосинтетичного апарату після дії стресу у сорту Подолянка та більш істотним впливом посухи на кількість накопичених і ремобілізованих ВРВ у сорту Наталка.

respectively) and line 'UK065' (18.2% and 22.4%). In cv. 'Natalka', this parameter was 27.4% under optimal watering and 24.3% under drought.

It is interesting to note that in the high-yielding genotypes, which stronger reduced grain productivity under drought, cv. 'Podilska Nyva' and line 'UK 065', the share of deposited WSC in the grain weight per spike was slightly increased under the drought compared to the control, and *vice versa*, in the less productive cultivars with smaller losses of grain productivity, cvs. 'Podolianka' and 'Natalka', the contribution of the reserve WSC decreased slightly. It is obvious that the different trends of changes in the share of deposited WSC in the grain weight per spike can be attributed to better restoration of the photosynthetic activity after stress in cv. 'Podolianka' and a more pronounced impact of drought on the amount of accumulated and remobilized WSC in cv. 'Natalka'.

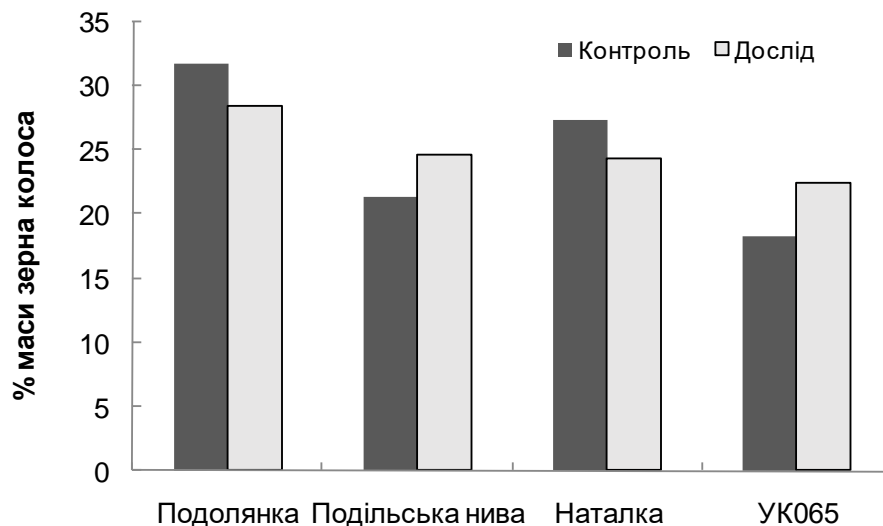


Рис. 8. Частка (%) депонованих у стеблі ВРВ у масі зерна колоса головного пагона рослин озимої пшениці різних генотипів за оптимального зволоження (контроль) і дії короточасної посухи в період формування–початок наливу зернівки (ВВСН 71–75) (дослід). Відмінності між сортами статистично вірогідні за $p = 0,045$, вплив посухи – за $p = 0,095$.

Fig. 8. Shares (%) of the stem-deposited WSC in the grain weight in the spike of the main shoot of winter wheat plants of different genotypes under optimal watering (control) and short-term drought during the "grain watery ripe – medium milk" period (BBCH 71–75). The inter-cultivar differences are statistically significant at $p = 0.045$; the "drought-control" difference is significant at $p = 0.095$. Other designations are as in Fig. 7.

Для з'ясування зв'язку депонувальної здатності стебла з продуктивністю, а також питання, чи можуть показники депонувальної ємності окремих міжвузлів репрезентувати депонувальну ємність всього стебла і слугувати маркером зернової продуктивності генотипу, був проведений аналіз кореляційних зв'язків цих характеристик (табл. 2). Тісна позитивна

To clarify the relationship between the storage capacity of the stem and productivity and answer the question of whether the storage capacity parameters of individual internodes can represent the storage capacity of the entire stem and serve as a marker of the grain productivity of a genotype, we analyzed the correlations between these characteristics (Table 2). There

кореляція з депонувальною ємністю (загальною кількістю ремобілізованих ВРВ) стебла була відзначена для вмісту і кількості ВРВ у всіх міжвузлів і листових піхов, крім верхнього підколосового міжвузля. Цікаво, що значення коефіцієнтів кореляції для питомого вмісту ВРВ в міжвузлях були трохи вищими, ніж для кількості ВРВ в міжвузлях, і практично співмірними із значенням коефіцієнта для загальної кількості ВРВ в цілому стеблі.

Водночас, із зерною продуктивністю для більшості частин стебла тісніше корелювала кількість депонованих ВРВ, ніж їх питомий вміст. При цьому найвищі значення коефіцієнта кореляції були відзначені для другого і третього міжвузлів, а кореляція загального вмісту депонованих у стеблі ВРВ з масою зерна була дещо нижчою. Середній ступінь кореляції цих показників виявлений для нижніх міжвузлів і листових піхов, і відсутність кореляції – для підколосового міжвузля. Зв'язок питомого вмісту ВРВ з масою зерна з рослини був середнім для другого, третього і нижніх міжвузлів і слабким для підколосового міжвузля і листових піхов.

was a close positive correlation between the storage capacity (the total amount of remobilized WSC) of the stem and the WSC content and amount in all internodes and leaf sheaths, except for the peduncle. It is interesting that the correlation coefficient for the specific content of WSC in the internodes was slightly higher than that for the WSC amount in the internodes and commensurate with the correlation coefficient for the total amount of WSC in the entire stem.

At the same time, for most parts of the stem, the grain productivity was more closely correlated with the amount of deposited WSC than with the specific content. The highest correlations were obtained for the second and third internodes, while the correlation between the total content of stem-deposited WSC and the grain weight was somewhat weaker. There was a moderate correlation between these parameters for the lower internodes and leaf sheaths and no correlation for the peduncle. The correlations between the specific content of WSC and the grain weight per plant were found to be moderate for the second, third, and lower internodes and weak for the peduncle and leaf sheaths.

Таблиця 2. Коефіцієнти лінійної кореляції показників депонувальної здатності окремих сегментів стебла з депонувальною ємністю стебла в цілому та показниками зернової продуктивності рослин озимої пшениці за різних умов зволоження.

Table 2. Coefficients of linear correlation between the storage capacity of individual stem segments and the entire stem and grain productivity in winter wheat plants under various watering conditions.

Показник/Parameter	Сегмент пагона / Segment	Депонувальна ємність стебла/ Storage capacity	Маса/Weight	
			зерна / grain per spike	1000 зерен/ 1,000 grain
Вміст водорозчинних вуглеводів / Water-soluble carbohydrate content	1-ше міжвузля / Internode 1 (peduncle)	0,388	0,279	0,429
	2-ге міжвузля / Internode 2	0,923*	0,639	0,836*
	3-ге міжвузля / Internode 3	0,953*	0,514	0,819*
	4-5 міжвузля / Internodes 4 and 5	0,930*	0,541	0,782*
	Піхви / Leaf sheaths	0,795*	0,107	0,587
Кількість водорозчинних вуглеводів / Water-soluble carbohydrate amount	1-ше міжвузля / Internode 1 (peduncle)	0,192	-0,009	0,282
	2-ге міжвузля / Internode 2	0,895*	0,685*	0,731*
	3-ге міжвузля / Internode 3	0,882*	0,765*	0,684*
	4-5 міжвузля / Internodes 4 and 5	0,851*	0,453	0,803*
	Піхви / Leaf sheaths	0,898*	0,403	0,477
	Стебло / Stem	0,981*	0,640	0,802*

* – кореляція вірогідна за $p < 0,05$; * – correlation is significant at $p < 0.05$

Показники накопичення водорозчинних вуглеводів у частинах стебла тісніше корелювали з масою 1000 зерен, ніж з масою зерна з колоса, що підкреслює роль депонованих ВРВ у наливанні зернівок. Статистично вірогідна тісна кореляція відзначена для питомого вмісту і кількості ВРВ у другому, третьому, нижніх міжвузлях і валової кількості ВРВ у цілому стеблі. Кореляційний зв'язок цих показників для підколосового міжвузля і листових піхов був істотно слабшим. Варто також відзначити, що кореляція показників депонувальної здатності окремих частин стебла і кількості зерен з рослини (у таблиці не представлена) також була слабкою із значеннями коефіцієнта кореляції в межах від $-0,091$ (для листових піхов) до $+0,474$ (для другого міжвузля).

Отримані нами результати свідчать, що у рослин пшениці значна частина ВРВ депонується в стеблі після початку цвітіння. Зростання рівня резервних вуглеводів після цвітіння до початку активного наливання зернівки відзначено в низці досліджень з різними сортами пшениці, проведених у польових умовах [12, 25, 41]. Тому посуха у фазі формування зернівки певною мірою, хоча і слабше, ніж у фазі цвітіння [40], зменшувала максимальну валову кількість депонованих в стеблі ВРВ та істотно пришвидшувала їх ремобілізацію. Враховуючи вплив несприятливих чинників на динаміку вмісту ВРВ в стеблі, очевидно, що особливості динаміки накопичення ВРВ, а також період дії стресових чинників є важливими при відборі зразків для оцінки депонувальної здатності стебла пшениці в польових умовах.

Найбільшу депонувальну ємність мали міжвузля середньої частини стебла – друге і третє зверху. Значення коефіцієнтів кореляції між врожаєм і кількістю резервних ВРВ у другому чи третьому міжвузлях за тіснотою і стабільністю були практично такими ж як і для цілого стебла. Схожі результати були отримані в польових дослідженнях різних сортів української селекції за умов недостатнього природного зволоження [41]. Це дає підстави рекомендувати показник кількості ВРВ в цих міжвузлях як характеристику депонувальної здатності стебла в цілому і маркер високої продуктивності генотипу. Дана особливість є дуже цікавою і важливою, оскільки дозволяє розробити набагато простішу і менш часовитратну методику оцінки депонувальної ємності стебла для селекційних досліджень.

The indices of water-soluble carbohydrate accumulation in the stem parts were correlated with thousand grain weight more closely than with grain weight per spike, emphasizing the role of deposited WSC in grain filling. There were statistically significant strong correlations between the specific content and amount of WSC in the second, third, and lower internodes and the total amount of WSC in the entire stem. The correlations between the specific content and amount of WSC in the peduncle and leaf sheaths and the total amount of WSC in the entire stem were much weaker. It is also worth noting that the correlations between the storage capacity of individual parts of the stem and the number of grains per plant (not presented in the table) were also weak, with correlation coefficients ranging from -0.091 (for leaf sheaths) to $+0.474$ (for the second internode).

Our results showed that, in wheat, a significant proportion of WSC was deposited in the stem after the anthesis onset. An increase in levels of reserve carbohydrates between anthesis and intensive grain filling onset was noted in several field studies on different wheat cultivars [12, 25, 41]. Hence, drought during grain formation reduced, although to a smaller extent than during anthesis [40], the maximum total amount of WSC deposited in the stem and significantly accelerated their remobilization. Taking into account the impact of adverse factors on the time profile of the WSC content in the stem, it is obvious that peculiarities of the WSC accumulation over time as well as stages of exposure to stressors are important when sampling to assess the storage capacity of wheat stems in the field.

The middle internodes, the second and third from the top, were noticeable for the greatest storage capacity. The correlations between the yield and the amount of reserve WSC in the second or third internodes were as almost strong and stable as those between the yield and the amount of reserve WSC in the entire stem. Similar findings were obtained in field studies of different Ukrainian cultivars grown under insufficient natural moisture [41]. This gives reason to recommend the amount of WSC in these internodes as a characteristic of the storage capacity of the entire stem and a marker of high performance of a genotype. This feature is very interesting and important, as it allows one to develop a much simpler and less time-consuming method of estimating the storage capacity of stems for breeding studies.

Цікаво відзначити, що в наших дослідженнях генотипи озимої пшениці істотно відрізнялися за рівнем максимального накопичення ВРВ у стеблі – в 1,3 раза за оптимальних умов і в 1,5 раза за дії посухи, проте ефективність ремобілізації депонованих у стеблі ВРВ була високою і близькою (84–96%) у рослин всіх досліджених нами генотипів незалежно від умов вологозабезпеченості. Звідси випливає, що відмінності між генотипами озимої пшениці за депонувальною ємністю визначаються, головним чином, рівнем накопичення ВРВ, і її неможливо істотно поліпшити підвищенням ефективності ремобілізації.

Крім того важливо відзначити, що посухостійкий екологічно пластичний сорт Подолянка, який формує стабільні врожаї за різних умов вирощування в різних екологічних зонах [27], проявив у даному досліді, а також в попередніх наших дослідженнях [40], вищу порівняно з іншими генотипами здатність запасати ВРВ і ремобілізувати їх для наливу зерна як за оптимальних умов поливу, так і за дії посухи. Логічно припустити, що висока депонувальна здатність стебла є одним із факторів забезпечення високої екологічної пластичності цього сорту. За несприятливих умов у період наливу, які пригнічують фотосинтетичну активність, депоновані в стеблі ВРВ виступають у ролі додаткового джерела асимілятів для формування врожаю, компенсуючи дефіцит продуктів поточного фотосинтезу. Крім того, виявлено, що накопичення ВРВ у стеблі пшениці поліпшує гідравлічні характеристики ксилеми і транспорт води за умов посухи [42]. Недавніми дослідженнями показано, що накопичення значних пулів резервних ВРВ у стеблі є основним чинником, що визначає відмінності за стабільністю врожаїв у скоростиглих сортів рису [43].

Отже встановлено, що короткотривала посуха у фазі формування зернівки дещо зменшувала вміст та максимальну валову кількість депонованих у стеблі ВРВ та істотно пришвидшувала їх ремобілізацію. Значна частина резервних вуглеводів накопичувалася в стеблах після цвітіння, максимум накопичення відзначено на 14-й день після початку цвітіння. Найбільший питомий вміст і валову кількість водорозчинних вуглеводів виявлено у другому і третьому міжвузлях. У рослин всіх досліджених генотипів у цих міжвузлях накопичувалася найбільша частка депонованих у стеблі ВРВ.

It is noteworthy that in our study the winter wheat genotypes differed significantly in the maximum accumulation of WSC in the stem: a 1.3-fold difference under optimal conditions and a 1.5-fold difference under drought, but the efficiency of remobilization of WSC deposited in the stem was high and similar (84–96%) in all studied genotypes, regardless of watering mode. Therefore, the differences in the storage capacity between the winter wheat genotypes are mainly determined by WSC accumulation and the storage capacity cannot be considerably improved by increasing remobilization efficiency.

In addition, it is important to note that the drought-tolerant, environmentally plastic cultivar, 'Podolianka', which yields are stable under various growing conditions in different environments [27], showed a higher ability to store WSC and remobilize them for grain filling under both optimal watering and drought compared to the other genotypes in this experiment, like in our previous studies [40]. It is logical to assume that the high storage capacity of the stem is one of the factors ensuring the high environmental plasticity of this cultivar. Under unfavorable conditions during grain filling, which suppress the photosynthetic activity, the stem-deposited WSC act as an additional source of assimilates for yield formation, compensating for the deficit of current photosynthesis products. In addition, it was found that the accumulation of WSC in the wheat stem improved the hydraulic characteristics of the xylem and water transport under arid conditions [42]. Recent studies showed that the accumulation of big pools of reserve WSC in the stem was the predominant factor determining the differences in yield stability in early-ripening rice cultivars [43].

Thus, it was revealed that a short-term drought during grain formation slightly reduced the content and maximum total amount of stem-deposited WSC and significantly accelerated their remobilization. A significant proportion of reserve carbohydrates was accumulated in the stem after anthesis; the maximum accumulation was noted on day 14 after the anthesis onset. The highest specific contents and total amounts of water-soluble carbohydrates were detected in the second and third internodes. In all studied genotypes, these internodes accumulated the largest shares of WSC deposited in the stem. Drought did not significantly affect the share of a separate segment in the total storage capacity

Посуха істотно не впливала на частку окремого сегменту у загальній депонувальній ємності стебла.

Вміст та валова кількість резервних вуглеводів у другому і третьому міжвузлях найтісніше позитивно корелювали з показниками зернової продуктивності, що дозволяє вважати їх найбільш репрезентативними для оцінки депонувальної здатності стебла та використовувати як фізіологічний маркер продуктивності генотипів озимої пшениці.

of the stem.

The contents and total amounts of reserve carbohydrates in the second and third internodes were most closely positively correlated with grain productivity indices, which allows considering them as the most representative parameters for assessing the storage capacity of stems and using them as physiological markers of the performance of winter wheat genotypes.

References

1. Neupane, D., Adhikari, P., Bhattarai, D., Rana, B., Ahmed, Z., Sharma, U. & Adhikari, D. (2022). Does climate change affect the yield of the top three cereals and food security in the world? *Earth*, 3, P. 45–71. <https://doi.org/10.3390/earth3010004>
2. Daryanto, S., Wang, L. & Jacinthe, P.A. (2017). Global synthesis of drought effects on cereal, legume, tuber and root crops production: A review. *Agricultural Water Management*, 179, 18-33. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.04.022>
3. Schnyder, H. (1993). The role of carbohydrate storage and redistribution in the source-sink relations of wheat and barley during grain filling – a review. *New Phytol.*, 123, 233-245 <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.1993.tb03731.x>
4. Veenstra, L.D., Jannink, J.-L. & Sorrells, M.E. (2017). Wheat fructans: a potential breeding target for nutritionally improved, climate-resilient varieties. *Crop Science*, 57, 1624-1640. <https://doi.org/10.2135/cropsci2016.11.0955>
5. Seleiman, M.F., Al-Suhaibani, N., Ali, N., Akmal, M., Alotaibi, M., Refay, Y., Dindaroglu, T., Abdul-Wajid, H.H. & Battaglia, M.L. (2021). Drought stress impacts on plants and different approaches to alleviate its adverse effects. *Plants*, 10, 259. <https://doi.org/10.3390/plants10020259>
6. Kirizii D.A., Stasyk O.O., Priadkina G.A. & Shadchyna T.M. (2014). Photosynthesis. Vol. CO₂ assimilation and mechanisms of its regulation. - Kyiv.: Logos. - 480 p. [in Ukrainian]
7. Asseng, S. & van Herwaarden, A.F. (2003). Analysis of the benefits to wheat yield from assimilates stored prior to grain filling in a range of environments. *Plant and Soil*, 256, 217-229. <https://doi.org/10.1023/A:1026231904221>
8. Thapa, S., Rudd, J. C., Jessup, K. E., Liu, S., Baker, J. A., Devkota, R. N. & Xue Q. (2021). Middle portion of the wheat culm remobilizes more carbon reserve to grains under drought. *J. Agro. Crop Sci.*, 208, 795–804. <https://doi.org/10.1111/jac.12508>
9. Fabregas, N. & Fernie, A. R. (2019). The metabolic response to drought. *J. Exp. Bot.*, 70, 1077–1085, <https://doi.org/10.1093/jxb/ery437>
10. Kolupaev, Y.E., Yastreb, T.O., Ryabchun, N.I., Kokorev, A. I., Kolomatska, V.P. & Dmitriev, A.P. (2023). Redox homeostasis of cereals during acclimation to drought. *Theor. Exp. Plant Physiol.*, 35, 133–168. <https://doi.org/10.1007/s40626-023-00271-7>
11. Chungoo, S. K., Munja, R., Pooja & Suresh. (2020). Genetic variation of stem characters in wheat and their relation to physiological characters and yield under drought. *Indian Journal of Genetics and Plant Breeding*, 80(4), 365-374. <https://doi.org/10.31742/IJGPB.80.4.1>
12. Liu, Y., Zhang, P., Li, M., Chang, L., Cheng, H., Chai, S. & Yang, D. (2020). Dynamic responses of accumulation and remobilization of water soluble carbohydrates in wheat stem to drought stress. *Plant Physiol. Biochem.*, 155, 262-270. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2020.07.024>
13. Hou, J., Huang, X., Sun, W., Du, C., Wang, C., Xie, Y., Ma, Y. & Ma, D. (2018). Accumulation of water-soluble carbohydrates and gene expression in wheat stems correlates with drought resistance. *J. Plant Physiol.*, 231, 182-191. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2018.09.017>
14. Islam, M.A., De, R.K., Hossain, M.A., Haque, M.S., Uddin, M.N., Fakir, M.S.A., Kader, M.A., Dessoky, E.S., Attia, A.O., El-Hallous, E.I. & Hossain, A. (2021). Evaluation of the tolerance ability of wheat genotypes to drought stress: dissection through culm-reserves contribution and grain filling

- physiology. *Agronomy*, 11, 1252. <https://doi.org/10.3390/agronomy11061252>
15. Morgun, V.V., Priadkina, G.A. & Zborivska, O.V. (2019). Depositing ability of stem of winter wheat varieties of different periods of selection. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*, 10, No. 2, P. 239-244. <https://doi.org/10.15421/021936>
 16. Krupa, N.M. & Kirizii, D.A. (2011). The deposite function of the stem as constituent of the production process of winter wheat. *Fiziol. rast. genet.*, 43(4), 324-331. [in Ukrainian]
 17. Ruuska, A.C., Rebetzke, G. J. & van Herwaarden, A. F. (2006). Genotypic variation in water-soluble carbohydrate accumulation in wheat. *Func. Plant Biol.*, 33(9), 799-809. <https://doi.org/10.1071/FP06062>
 18. Gao, F., Ma, D., Yin, G., Rasheed, A., Dong, Y., Xiao, Y., Xia, X., Wu, X. & He, Z. (2017). Genetic progress in grain yield and physiological traits in Chinese wheat cultivars of southern Yellow and Huai Valley since 1950. *Crop Sci.*, 57, pp. 760-773. <https://doi.org/10.2135/cropsci2016.05.0362>
 19. Gurumurthy, S., Arora, A., Krishna, H., Chinnusamy, V. & Hazra, K.K. (2023). Genotypic capacity of post-anthesis stem reserve mobilization in wheat for yield sustainability under drought and heat stress in the subtropical region. *Front. Genet.* 14:1180941. <https://doi.org/10.3389/fgene.2023.1180941>
 20. Fu, L., Wu, J., Yang, S., Jin, Y., Liu, J., Yang, M., Rasheed, A., Zhang, Y., Xia, X., Jing, R., He, Z. & Xiao, Y. (2020). Genome-wide association analysis of stem water-soluble carbohydrate content in bread wheat. *Theor. Appl. Genet.*, 133, 2897-2914. <https://doi.org/10.1007/s00122-020-03640-x>
 21. Gaur, A., Jindal, Y., Singh, V., Tiwari, R., Kumar, D., Kaushik, D., Singh, J., Narwal, S., Jaiswal, S., Iqbal, M.A., Angadi, U.B., Singh, G., Rai, A., Singh, G.P., & Sheoran, S. (2022). GWAS to identify novel QTNs for WSCs accumulation in wheat peduncle under different water regimes. *Front. Plant Sci.*, 13, 825687. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.825687>
 22. Rebetzke, G. J., van Herwaarden, A. F., Jenkins, C., Weiss, M., Lewis, D., Ruuska, S., Tabe, L., Fettell, N. A. & Richards R. A. (2008). Quantitative trait loci for water-soluble carbohydrates and associations with agronomic traits in wheat. *Australian Journal of Agricultural Research*, 59, 891-905. <https://doi.org/10.1071/AR08067>
 23. Khoshro, H.H., Taleei, A., Bihamta, M.R., Shahbazi, M., Abbasi, A. & Ramezanpour, S.S. (2014). Expression analysis of the genes involved in accumulation and remobilization of assimilates in wheat stem under terminal drought stress. *Plant Growth Regul.*, 74, 165-176. <https://doi.org/10.1007/s10725-014-9908-x>
 24. Ehdai, B., Alloush, G.A., Madore, M.A. & Waines, J.G. (2006). Genotypic variation for stem reserves and mobilization in wheat: II. Postanthesis changes in internode water-soluble carbohydrates. *Crop Sci.*, 46(5), 2093-2103. <https://doi.org/10.2135/cropsci2005.04-0033>
 25. Zhang, J., Chen, W., Dell, B., Vergauwen, R., Zhang, X., Mayer, J.E. & Van den Ende, W. (2015). Wheat genotypic variation in dynamic fluxes of WSC components in different stem segments under drought during grain filling. *Front. Plant Sci.*, 6, 624. <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00624>
 26. Wardlaw, I. & Willenbrink, J. (1994). Carbohydrate storage and mobilisation by the culm of wheat between heading and grain maturity: the relation to sucrose synthase and sucrose-phosphate synthase. *Functional Plant Biology*, 21(3), 255. <https://doi.org/10.1071/pp9940255>
 27. Morhun, V.V., Sanin, Ye.V. & Shvartau, V.V. (2014). Club of 100 hundredweights. Modern varieties and regimens of winter wheat nutrition and protection. IPPG NASU, Syngenta (Switzerland)/. Kyiv: Logos, - 150 p. [in Ukrainian]
 28. Yermakov A.I. Methods of biochemical research of plants. / A.I. Yermakov, V.V. Arasimovich. - L.: Agropromizdat, 1987. - 430 p. [in Russian]
 29. Tambussi, E.A., Noguñs, S. & Araus, J.L. (2005). Ear of durum wheat under water stress: water relations and photosynthetic metabolism. *Planta*, 221, 446-458 <https://doi.org/10.1007/s00425-004-1455-7>
 30. Busch, F.A., Ainsworth, E.A., Amtmann, A., Cavanagh, A.P., Driever, S.M., Ferguson, J.N., Kromdijk, J., Lawson, T., Leakey, A.D.B, Matthews, J.S.A., Meacham-Hensold, K., Vath, R.L., Vialet-Chabrand, S., Walker, B.J. & Papanatsiou, M. (2024) A guide to photosynthetic gas exchange measurements: Fundamental principles, best practice and potential pitfalls. *Plant, Cell & Environment*, 1-21. <https://doi.org/10.1111/pce.14815>
 31. Zadoks, J.C., Chang, T.T. & Konzak, C.F. (1974). A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed Research*, 14, No. 4, pp. 15-21. <https://doi.org/10.1111/j.13653180.1974.tb01084.x>
 32. Holubeva K.M. (2020). Error theory elements (for students of the Faculty of Computer Sciences and Cybernetics, educational program "System-Oriented Analysis"): Methodological developments, Kyiv, 22 p. [in Ukrainian]

33. Lawlor, D.W. (1995). The Effects of Water Deficit on Photosynthesis in Environment and Plant Metabolism. Smirnoff, N., Ed., Bios Scientific Publishers, Oxford, 129-160.
34. Bandurska, H. (2022). Drought Stress Responses: Coping Strategy and Resistance. *Plants*, 11, 922. <https://doi.org/10.3390/plants11070922>
35. Farooq M., Hussain M. & Siddique K. H. M. (2014). Drought stress in wheat during flowering and grain-filling periods. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 33, 331-349. <https://doi.org/10.1080/07352689.2014.875291>
36. Kedruk A.S., Kirizii D.A., Sokolovska-Serhiienko O.H. & Stasyk O.O. (2021). Response of the photosynthetic apparatus of winter wheat varieties to combined exposure to drought and high temperature. *Fiziol. rast. genet.*, 53(5), 387-405, <https://doi.org/10.15407/frg2021.05.387>
37. Lakhneko O, Stasik O, Škultéty E, Kiriziy D, Sokolovska-Sergiienko O, Kovalenko M & Danchenko M (2023) Transient drought during flowering modifies the grain proteome of bread winter wheat. *Front. Plant Sci.*, 14:1181834. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1181834>
38. Bashir, S.S., Hussain, A., Hussain, S.J., Wani, O.A., Nabi, Z.S., Dar, N.A., Baloch, F.S. & Mansoor, S. (2021). Plant drought stress tolerance: understanding its physiological, biochemical and molecular mechanisms. *Biotechnology & Biotechnological Equipment*, 35: 1, 1912-1925, <https://doi.org/10.1080/13102818.2021.2020161>
39. Grieco, M., Roustan, V., Dermendjiev, G., Rantala, S., Jain, A., Leonardelli, M., Neumann, K., Berger, V., Engelmeier, D., Bachmann, G., Ebersberger, I., Aro, E.-M., Weckwerth, W. & Teige, M. (2020). Adjustment of photosynthetic activity to drought and fluctuating light in wheat. *Plant, Cell & Environment*, 43, 1484–1500. <https://doi.org/10.1111/pce.13756>
40. Tarasiuk M.V. & Stasyk O.O. (2022). Impact of drought during anthesis on the time profile of accumulation and remobilization of reserve water-soluble carbohydrates in stem segments of winter wheat varieties contrasting in terms of drought tolerance. *Fiziol. rast. genet.*, 54(5), 429-449. <https://doi.org/10.15407/frg2022.05.429> [in Ukrainian]
41. Morgun, V. V., Tarasiuk, M. V., Priadkina, G. O. & Stasik, O. O. (2022). Depositing capacity of winter wheat stem segments under natural drought during grain filling in Ukrainian forest-steppe conditions. *Biosystems Diversity*, 30, No. 2, P. 163-172. <https://doi.org/10.15421/012217>
42. Verbeke, S., Padilla-Diaz, C.M., Martinez-Arias, C., Goossens, W., Haesaert, G. & Steppe, K. (2023), Mechanistic modeling reveals the importance of turgor-driven apoplastic water transport in wheat stem parenchyma during carbohydrate mobilization. *New Phytologist*, 237, 423-440. <https://doi.org/10.1111/nph.18547>
43. Li, W., Zhang, B., Li, R., Chang, X. & Jing, R. (2015). Favorable alleles for stem water-soluble carbohydrates identified by association analysis contribute to grain weight under drought stress conditions in wheat. *PLoS One*, 10(3), e0119438. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0119438>

Received 16.05.2024

УДК 633.11+633.14:631.527

В.С. Мельник, С.В. Чернобай*, В.К. Рябчун

Виділення джерел високої твердості зерна тритикале

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

E-mail: chernobai257@gmail.com

UDC 633.11+633.14:631.527

V.S. Melnyk, S.V. Chernobai*, V.K. Riabchun

Selection of Triticale Sources of High Kernel Hardness

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

E-mail: chernobai257@gmail.com

Реферат: Мета роботи — встановити диференціацію комплексно-цінних зразків тритикале за рівнем твердозерності серед селекційного матеріалу Інституту рослинництва ім. В.Я. Юр'єва; оцінити рівень мінливості за роками досліджень та вирівняності зразків тритикале за ознакою твердозерності; виділити генотипи з підвищеною твердістю зерна як вихідного матеріалу для продовольчого напрямку селекції тритикале. Дослідження проводили у східній частині Лісостепу України. Визначали твердість зерна 46 комплексно цінних ліній тритикале ярого у 2021 та 2023 рр., а також 330 ліній тритикале ярого та 220 ліній тритикале озимого у 2023 р. Рівень твердості зерна визначали на твердомірі прямої дії YPD-300D. Визначення суттєвості та вірогідності різниць, а також впливу факторів проводили з використанням багатофакторного та однофакторного дисперсійного аналізу. Роки досліджень значно різнилися за погодними умовами, що дозволило об'єктивно оцінити вплив умов на прояв твердозерності. У середньому за два роки досліджень рівень твердозерності у 46 зразків ярого тритикале варіював від 110 до 183 Н, що відповідає групам м'якозерні, середньом'якозерні та напівтвердозерні. Більшість зразків тритикале ярого за рівнем твердості зерна належало до групи м'якозерні та середньом'якозерні, Але в окремі роки виділялись дуже м'якозерні та твердозерні зразки. Найбільшу частку внеску у загальну мінливість ознаки мав фактор генотип та умови середовища – 29,9 та 18,6 % відповідно. Значно менший, але вірогідно істотний вплив мала взаємодія факторів генотип-середовище – 8,1 %. Виявлено значну диференціацію зразків за вирівняністю величин твердозерності в межах зразка. Коефіцієнт варіації в межах одного зразка становив 3–50 %. Виділено зразки з високим ($V \leq 10\%$), середнім ($V = 10\text{--}20\%$) та низьким ($V \geq 20\%$) ступенем однорідності за ознакою твердості зерна. Найбільшу цінність як джерела певного рівня твердості зерна становлять зразки, стабільні за роками та однорідні за цією ознакою. Виявлено більш стабільні зразки за трьома групами твердості зерна: м'якозерні – ЯТХ 102-23 ($V = 4\%$), ЯТХ 18-23 ($V = 6\%$), ЯТХ 40-23 ($V = 7\%$), середньом'якозерні – ЯТХ 132-23 ($V = 3\%$), ЯТХ 11-23 ($V = 7\%$), ЯТХ 15-23 ($V = 10\%$) та напівтвердозерні – ЯТХ 108-23 ($V = 10\%$), ЯТХ 99-23 ($V = 13\%$). Виділено зразки з підвищеним рівнем твердості зерна та більш стабільним рівнями її прояву, які можуть бути використані в селекції як джерела цієї ознаки. Також зразки зі стабільним проявом твердозерності можуть використовуватись як еталони в межах різних груп твердості. Для пошуку нових генотипів з високим потенціалом твердого зерна у 2023 р. було додатково досліджено рівень твердості зерна на значно ширшому наборі генотипів: 330 ярих та 220 зразків озимих тритикале. Розподіл зразків за групами твердості був подібним серед ярих та озимих форм. Більшу частку складають м'якозерні та середньом'якозерні генотипи (78–80 %). Частка твердозерних зразків становила 3 %, як у ярих так і у озимих форм. У 2023 р., сприятливого для формування високої твердості, найвищу твердозерність серед ярих зразків мали ЯТХ 456-23 (247 Н), ЯТХ 139-23 (208 Н), ЯТХ 437-23 (207 Н) та ЯТХ 565-23 (206 Н) та ЯТХ 382-23 (201 Н), а серед озимих – ТХЗ 883-23 (247 Н), ТХЗ 487-23 (212 Н), ТХЗ 406-23 (207 Н), ТХЗ 736-23 (205 Н) та ТХЗ 178-23 (202 Н), що відповідає рівню еталонів пшениці твердої або перевищує їх. Усі зразки групи твердозерні показали високу або середню однорідність в межах генотипу (коефіцієнт варіації $V = 5\text{--}20\%$). Виділені зразки, зважаючи на досить високі рівні твердості зерна та вирівняність за цією ознакою, становлять значну селекційну цінність, але потребують подальших досліджень щодо стабільності прояву ознаки за різних умов середовища.

Ключові слова: тритикале, твердозерність, джерело, генотип, стабільність

Abstract: Goal of the work - to differentiate comprehensively valuable triticale accessions by kernel hardness in the breeding material of the Yuriev Plant Production Institute; to evaluate the year-to-year variability and uniformity of triticale accessions by the hardness trait; to select genotypes with increased kernel hardness as starting materials for food triticale breeding. The study was conducted in the Eastern Forest-Steppe of Ukraine. The kernel hardness of 46 comprehensively valuable spring triticale lines was determined in 2021 and 2023; in addition, the kernel hardness of 330 spring triticale lines and 220 winter triticale lines was determined in 2023. The kernel hardness was measured on a YPD-300D direct-acting hardness tester. The significance of differences and contributions of factors were assessed by one-way and multi-way ANOVA. The weather in the study years differed significantly, allowing for objective assessments of the condition effects on hardness. On average for two study years, the hardness of 46 spring triticale accessions varied from 110 N to 183 N, meaning that there were soft, medium-soft, and semi-hard accessions in the sample. Most spring triticale accessions had soft or medium-soft kernels; however, very soft- and hard-kernelled accessions were detected in some years. The genotype and environmental conditions were the factors that made the greatest contributions to the total variability of the trait - 29.9 and 18.6%, respectively. The genotype-environment interaction exerted a much weaker but statistically significant effect of 8.1%. The accessions differed significantly in intra-accession hardness uniformity. The coefficient of intra-accession variation was 3–50%. Accessions with a high ($CV \leq 10\%$), medium ($CV = 10\text{--}20\%$), and low ($CV \geq 20\%$) uniformity of kernel hardness were selected. The most stable and uniform across the years accessions are most valuable as sources of certain levels of kernel hardness. The most stable accessions were identified in three groups of kernel hardness: soft - YaTKh 102-23 ($CV = 4\%$), YaTKh 18-23 ($CV = 6\%$), and YaTKh 40-23 ($CV = 7\%$); medium-soft – YaTKh 132-23 ($CV = 3\%$), YaTKh 11-23 ($CV = 7\%$), and YaTKh 15-23 ($V = 10\%$); semi-hard – YaTKh 108-23 ($CV = 10\%$) and YaTKh 99-23 ($CV = 13\%$). Accessions with increased and more stable hardness of kernels were selected; they can be used in breeding as sources of this trait. In addition, accessions with stable hardness can be used as references within different hardness groups. To find new genotypes with high potentials of kernel hardness, kernel hardness was additionally evaluated in a much bigger sample of genotypes in 2023: 330 spring and 220 winter triticale accessions. The distribution of the accessions by hardness groups was similar for spring and winter forms. Soft- and medium-soft-kernelled genotypes accounted for a larger share (78–80%). The share of hard-kernelled accessions was 3%, both among the spring and winter forms. In 2023, which was a favorable year for high hardness, the highest kernel hardness was recorded for the following spring accessions: YaTKh 456-23 (247 N), YaTKh 139-23 (208 N), YaTKh 437-23 (207 N), YaTKh 565-23 (206 N), and YaTKh 382-23 (201 N). As to winter triticale, the highest kernel hardness was recorded for TKhZ 883-23 (247 N), TKhZ 487-23 (212 N), TKhZ 406-23 (207 N), TKhZ 736-23 (205 N), and TKhZ 178-23 (202 N). These values correspond to durum wheat standards or exceed them. All accessions of the hard group showed high or medium intra-accession uniformity (coefficient of variation $CV = 5\text{--}20\%$). The selected accessions, considering rather high and uniform hardness of kernels, are of considerable breeding value but require further evaluations of the stability of this characteristic under different environmental conditions.

Key words: triticale, hardness, source, genotype, stability

Вступ

Тритикале – амфідиплоїдний гібрид пшениці та жита, що поєднує адаптивні та господарські властивості обох батьківських видів. Значна цінність тритикале полягає у меншій вибагливості цієї культури до умов вирощування і високій біологічній цінності зерна та зеленої маси. На даний час тритикале виробляється на всіх континентах, придатних до сільськогосподарського виробництва. Світове виробництво тритикале складає 15,3 млн. т. на рік, культура вирощується на площі близько 3,8 млн. га [1]. Основним фактором зростання

Introduction

Triticale is an amphidiploid hybrid of wheat and rye, which combines the adaptive and economic features of both parental species. Triticale is valued because it is a low-maintenance crop with grain and green mass of high biological value. Currently, triticale is grown on all continents suitable for agricultural production. The annual world production of triticale is 15.3 million tons; the crop is grown on about 3.8 million hectares [1]. The main factors in the triticale production growth are its

обсягів виробництва тритикале є його невибагливість до ґрунтових умов, посухостійкість, високий потенціал урожайності та можливість використання в органічному землеробстві. Це дає змогу вирощувати його в умовах, непридатних для вирощування пшениці [2].

Переважно тритикале використовується як кормова культура – на зернофураж та зелений корм, оскільки має високий вміст білка з оптимально збалансованим амінокислотним складом. Досить перспективним напрямом є продовольче використання тритикале. Завдяки широкому різноманіттю біологічно цінних сполук у зерні тритикале, воно має великий потенціал для виробництва харчових продуктів та напоїв.

Останнім часом розширилось використання тритикале в харчовій промисловості. Хліб з тритикале перевершує пшеничний за поживною цінністю. Завдяки високому вмісту і збалансованості цінних хімічних сполук продукти з тритикале відіграють унікальну роль у дієтичному харчуванні людей з порушенням обміну речовин. Зерно тритикале містить значну кількість фенольних і флавоноїдних сполук, вітамінів, макро- та мікроелементів. Особливу цінність має цілнзернове борошно тритикале [3]. Висівки є багатим джерелом фруктанів, целюлози, геміцелюлози, лігніну, β -глюкану, білка, вітамінів В і Е, мінералів, фенольних сполук та алкілризорцинолів. Ендосперм містить крохмаль, білок, целюлозу, геміцелюлозу, арабіноксилани, вітамін В та залізо. У зародку зосереджені фруктани, лігнін, жири, вітаміни В і Е, мінеральні речовини [4]. Останнім часом було розроблено технології виробництва хліба, печива, макаронних та кондитерських виробів із борошна тритикале [5]. У хлібопекарській промисловості найбільшого поширення здобули технології з використанням сумішей пшеничного та тритикалевого борошна [6, 7].

Текстура зерна головним чином впливає на водопоглинання, вихід борошна і якість помелу, зумовлюючи розмір частинок борошна та частку пошкодженого крохмалю. Відомо, що більшість сортів тритикале мають м'яку текстуру ендосперму, а тісто поступається пшеничному за технологічними та реологічними властивостями. Це обмежує попит на хлібобулочне виробництво із борошна тритикале у чистому вигляді.

Значного підвищення якісних показників

unpretentiousness to soils, drought tolerance, high yield capacity, and suitability for organic farming. Hence, triticale can be grown in locations where wheat growing is impossible [2].

Triticale is mainly used as a fodder crop, for grain fodder and green fodder, as it is rich in protein with an optimally balanced amino acid composition. Food triticale seems quite promising. Due to different biologically valuable compounds in triticale grain, it has a great potential for food and beverage industries.

Recently, the use of triticale in food industry has been expanded. Triticale bread is superior to wheat bread in terms of nutritional value. Due to high and balanced contents of valuable chemical compounds, triticale products play a unique role in diets for people with metabolic disorders. Triticale grain contains significant amounts of phenolic and flavonoid compounds, vitamins, macro- and micronutrients. Whole triticale flour is of particular value [3]. Triticale bran is a rich source of fructans, cellulose, hemicellulose, lignin, β -glucan, protein, vitamins В and Е, minerals, phenolic compounds, and alkyl resorcinols. Triticale endosperm contains starch, protein, cellulose, hemicellulose, arabinoxylans, vitamin В, and iron. Fructans, lignin, fats, vitamins В and Е, and minerals are concentrated in the germ [4]. Recently, technologies for manufacturing bread, cookies, pasta, and confectionery products from triticale flour have been developed [5]. Technologies using wheat - triticale flour mixtures have become the most widespread in baking industry [6, 7].

Grain texture mainly affects water absorption, flour output, and milling quality, determining the size of flour particles and the proportion of damaged starch. It is known that most triticale cultivars have a soft endosperm, and triticale dough is inferior to wheat dough in terms of technological and rheological properties. This limits the demand for bakery products from pure triticale flour.

Triticale quality was significantly improved via creating substituted triticale, in which some chromosomes of the А, В, and R genomes are partially replaced by the corresponding chromosomes of the D genome of bread wheat. This was achieved through direct-

тритикале вдалося досягти шляхом створення заміщених тритикале, у яких хромосоми генів А, В і R частково замінені на хромосоми геному D м'якої пшениці. Це досягається проведенням прямих і зворотних схрещувань між первинними окто- та гексаплоїдами, вторинними тритикале та тритикале з пшеницею. Заміщені тритикале показують значне збільшення показника седиментації, який обумовлює міцність клейковини та покращує якість тіста [8]. Іншою проблемою, яка потребує вирішення, є підвищення твердості зерна.

Відомо, що у пшениці ступінь твердості ендосперму визначається комплексом білків фріабілінів, який складається з білків пуринодолін-а (PINA) та пуринодолін-в (PINB). Наявність цих білків зумовлює м'який ендосперм. Генетичний контроль наявності пуринодолінових білків у м'якої пшениці несуть гени Pina та Pinb, що розташовані в локусі твердості (Ha) на хромосомі 5D. Більшість генотипів м'якої пшениці є м'якозерними, але якщо хоча б один з білків PIN відсутній чи мутований, текстура ендосперму тверда. Подібні гени контролю пуринодоліноподібних білків були ідентифіковані у жита на хромосомі 5R і названі секалоіндоліном (Sina, Sinb). Вважається, що саме вони зумовлюють м'якозерність у більшості генотипів тритикале. [9]. Але інші дослідження показали, що стан генів Sina та Sinb не впливає на зміну твердості зерна тритикале, як це спостерігається у пшениці [10]. Також існує інформація, що наявність у тритикале фріабелінів на гранулах крохмалю не мала істотного зв'язку з твердістю зерна, але впливала на показник седиментації [11].

Переважає більшість заміщених тритикале (AABBDR) мають заміщену 2R хромосому на 2D [12], що значно покращує якість клейковини, але не впливає на твердість зерна. Тому досить актуальним є пошук серед генетичного різноманіття та створення тритикале з твердим ендоспермом. Це необхідна умова для покращення помолу, що сприятиме широкому впровадженню тритикале у хлібопекарську промисловість.

Встановлено, що первинні октоплоїдні тритикале мають м'яку текстуру ендосперму, а серед вторинних та заміщених спостерігається ширший діапазон твердості [13]. Існуюча мінливість тритикале за рівнем твердозерності визначається генотипом сорту, чинниками навколишнього середовища та їх взаємодією

and back-crosses between primary octo- and hexaploids, secondary triticale, and triticale with wheat. Substituted triticale has significantly increased sedimentation indices, which determine gluten strength and mean improved dough quality [8]. Another problem to be solved is increased kernel hardness.

It is known that wheat endosperm hardness is determined by the friabilin protein complex, consisting of puroindoline a (PINA) and puroindoline b (PINB). These proteins make the endosperm soft. In bread wheat, puroindolines are encoded by the Pina and Pinb genes located in the hardness locus (Ha) on chromosome 5D. Most bread wheat genotypes are soft, but if at least one of the PIN proteins is missing or mutated, the endosperm becomes hard. Similar genes for puroindoline-like proteins were identified in rye on chromosome 5R and named secaloindoline (Sina, Sinb). It is believed that they are responsible for soft kernels in most triticale genotypes. [9]. Nevertheless, other studies showed that the Sina and Sinb genes did not affect triticale kernel hardness, unlike similar genes in wheat [10]. There is also information that triticale friabilins on starch granules were not associated with kernel hardness, but influenced the sedimentation index [11].

In the vast majority of substituted triticale (AABBDR), chromosome 2R is replaced by 2D [12], which significantly improves gluten quality but does not affect kernel hardness. Therefore, the search among genetic diversity for and the creation of triticale with hard endosperm are quite relevant. This is a prerequisite for improved milling, which will contribute to the widespread introduction of triticale into bakery industry.

Primary octoploid triticales were revealed to have a soft endosperm, and a wider range of hardness was observed among secondary and substituted ones [13]. The existing variability of triticale kernel hardness is determined by the genotype of a cultivar, environmental factors, and their interaction [14]. The kernel hardness issue was studied in small samples of genotypes, so it requires more detailed research.

Our purpose was to differentiate comprehensively valuable triticale accessions by kernel hardness in the breeding material of the Yuriev Plant Production Institute of NAAS of

[14]. Питання твердості зерна досліджене на малому наборі генотипів, тому потребує більш детального вивчення.

Метою нашої роботи було встановлення диференціації комплексно-цінних зразків тритикале за рівнем твердозерності серед селекційного матеріалу Інституту рослинництва ім. В.Я. Юр'єва НААН України. Також оцінювали рівень мінливості за роками досліджень та вирівняність зразків за ознакою твердозерності для виділення генотипів з підвищеною твердістю зерна як вихідного матеріалу для продовольчого напрямку селекції тритикале.

Матеріал та умови досліджень

Дослідження проводили у 2021 та 2023 рр. на селекційній базі Інституту рослинництва ім. В.Я. Юр'єва НААН, яка розташована у східній частині Лісостепу України (Харківська обл., Харківський р-н). Клімат у зоні проведення досліджень помірно-континентальний. Середньорічна температура повітря становить 6°C. Літні місяці характеризуються досить високою температурою повітря: середня багаторічна температура в червні становить 19,1°C, липні 21,0°C, серпні 19,7°C. Ґрунтовий покрив представлений потужним слабо вилугуваним чорноземом на пиловато-суглинистому лесі з товщиною гумусового шару 75 см і більше при вмісті гумусу 5,5–7,3 %; характеризується агрономічно цінною грудково-зернистою структурою, великими запасами доступних поживних речовин. Реакція ґрунтового розчину слабкокисла (рН=5,7–6,0).

Для визначення рівня твердозерності та оцінки мінливості цієї ознаки протягом двох років визначали твердість зерна 46 комплексно цінних ліній тритикале ярого у конкурсному сортовипробуванні. Також для пошуку твердозерних генотипів у 2023 р. було додатково проаналізовано твердість зерна 330 ліній тритикале ярого та 220 ліній тритикале озимого попереднього сортовипробування.

Твердість зерна визначали на твердомірі прямої дії YPD-300D за методикою, яка полягає у вимірюванні максимального зусилля, необхідного для руйнування текстури ендосперму шляхом фізичної дії на окрему зернівку, та визначається у Ньютонах (Н) [15]. Ця методика тісно корелює з іншими методами оцінки твердозерності (за індексом розміру часток помелу, затратами енергії на подрібнення 1 г зерна, даними інфрачервоної спектроскопії

Україне. We also evaluated the year-to-year variability and uniformity of kernel hardness in accessions to select genotypes with increased kernel hardness as starting materials for food triticale breeding.

Materials and Conditions

The study was carried out at the Breeding Center of the Yuriev Plant Production Institute of NAAS, which is located in the Eastern Forest-Steppe of Ukraine (Kharkivska Oblast, Kharkivskyi District), in 2021 and 2023. The climate in the study location is temperate-continental. The mean annual air temperature is 6°C. The summer months are characterized by rather high air temperature: the mean long-term temperature is 19.1°C in June, 21.0°C in July, and 19.7°C in August. The soil is thick weakly leached chernozem on dusty loamy loess with a humus layer thickness of ≥ 75 cm and a humus content of 5.5–7.3%; it has an agronomically valuable lumpy-granular structure and large reserves of available nutrients. The soil solution reaction is weakly acidic (pH=5.7–6.0).

To determine kernel hardness and assess the variability of this characteristic, the kernel hardness of 46 comprehensively valuable spring triticale lines was determined in a two-year competitive variety trial. In addition, to search for genotypes with hard kernels, the kernel hardness of 330 spring triticale lines and 220 winter triticale lines was additionally analyzed in a preliminary variety trial in 2023.

Kernel hardness was measured on a YPD-300D direct-acting hardness tester. In this method, the maximum physical force required to crush the endosperm of an individual kernel is measured in Newtons (N) [15]. This technique is closely correlated with other methods for kernel hardness assessments (by milled particle size, energy consumption for milling 1 g of grain, infrared spectrometry data, etc.) [16, 17, 18]. Ten kernels were evaluated for each accession. The uniformity of the accessions in terms of kernel hardness was assessed by coefficient of variation for replications within an accession. The accessions were categorized into hardness groups using a scale for bread wheat: hard (> 190 N), semi-hard (162–190 N), medium-soft (133–161

та ін.) [16, 17, 18]. За кожним зразком оцінювали 10 зерен. Вирівняність зразків за ознакою твердозерності оцінювали за коефіцієнтом варіації значень за повтореннями в межах зразка. Розподіл зразків за групами твердозерності проведено за шкалою для пшениці м'якої: твердозерні (> 190 Н), напівтвердозерні (162–190 Н), середньом'якозерні (133–161 Н), м'якозерні (104–132 Н), дуже м'якозерні (<104 Н). Еталони – сорти пшениці м'якої ярої Харківська 30 та озимої Богдана, а також пшениці твердої ярої Харківська 39 та озимої Шулиндінка.

Визначення вірогідності різниць, впливу факторів «генотип», «середовище» та їх взаємодії на прояв ознаки проводили з використанням багатофакторного та однофакторного дисперсійного аналізу [19].

Погодні умови першої половини 2021 р. були сприятливими для росту і розвитку рослин. Запас вологи в ґрунті та достатнє вологозабезпечення під час проростання насіння сприяли рівномірній та своєчасній появі сходів. Важливі етапи розвитку рослин – кущення та колосіння супроводжувались рівномірними опадами з перевищенням середньобагаторічних рівнів. Але період формування та наливу зерна супроводжувався значною посухою та високими температурами повітря, що негативно вплинуло на крупність, виповненість зерна та показники його якості. Умови 2023 р. були більш сприятливими для росту і розвитку тритикале. Період вегетації рослин супроводжувався періодичними нетривалими посухами, але у середньому кількість опадів та температура повітря були близькими до середньобагаторічних рівнів. Це сприяло формуванню крупного зерна та позитивно вплинуло на його якість. Таким чином, роки досліджень значно різнилися за погодними умовами, що дозволило об'єктивно оцінити вплив умов на прояв твердозерності.

Результати та обговорення

У середньому за два роки досліджень рівень твердозерності у 46 зразків ярого тритикале варіював від 110 до 183 Н, що відповідає групам м'якозерні, середньом'якозерні та напівтвердозерні. Водночас в окремі роки спостерігався рівень прояву від дуже м'якозерних до твердозерних. В умовах 2021 р., який був несприятливим під час наливу зерна, середній рівень твердості був нижчим (від 84 до 163 Н) порівняно з умовами

N), soft (104–132 N), and very soft (<104 N). Spring bread wheat cv's. 'Kharkivska 30', winter bread cv. 'Bohdana', spring pasta wheat cv. 'Kharkivska 39', and winter pasta wheat 'Shulyndinka' were taken as references.

Significance of differences and contributions of the "genotype", "environment" and "genotype-environment interaction" factors to this characteristic were evaluated by one-way and multi-way ANOVA [19].

The weather in the first half of 2021 was favorable for plant growth and development. A moisture reserve in the soil and sufficient wetting during seed germination provided uniform and timely emergence of seedlings. The important stages of plant development, tillering and earing, were accompanied by uniform precipitation exceeding the mean long-term values. However, grain setting and filling occurred under a significant drought and at high air temperatures, which negatively affected the grain size, plumpness, and quality. 2023 was more favorable for the growth and development of triticale. The plant vegetation was accompanied by periodic short droughts, but the mean amount of precipitation and air temperature were close to the mean long-term values. This contributed to the formation of large kernels and had a positive effect on grain quality. Thus, the study years differed significantly in terms of weather conditions, which allowed us to objectively assess the impact of conditions on kernel hardness.

Results and Discussion

On average for the two study years, the kernel hardness in 46 spring triticale accessions varied from 110 N to 183 N, corresponding to the soft, medium-soft, and semi-hard groups. At the same time, in some years, accessions with very soft and hard kernels were detected. In 2021, which had an unfavorable period during grain filling, the mean hardness was lower (from 84 N to 163 N) than in 2023, when the kernel hardness varied from 135 N to 202 N (Fig. 1). In 2023, the highest hardness was recorded for the following accessions: YaTKh 121-23 (214 N), YaTKh 105-23 (203 N), YaTKh 163-23 (202 N), YaTKh 147-23 (201 N), and YaTKh 99-23 (196 N). YaTKh

2023 р., коли твердозерність варіювала від 135 до 202 Н (рис. 1). Найвищий рівень твердості мали зразки ЯТХ 121-23 (214 Н), ЯТХ 105-23 (203 Н), ЯТХ 163-23 (202 Н), ЯТХ 147-23 (201 Н) та ЯТХ 99-23 (196 Н) у 2023 р. Найм'якше зерно мали зразки ЯТХ 121-23 (84 Н), ЯТХ 131-23 (85 Н), ЯТХ 13-23 (94 Н) та ЯТХ 40-23 (100 Н) у 2021 р.

121-23 (84 N), YaTKh 131-23 (85 N), YaTKh 13-23 (94 N), and YaTKh 40-23 (100 N) had the softest kernels in 2021.

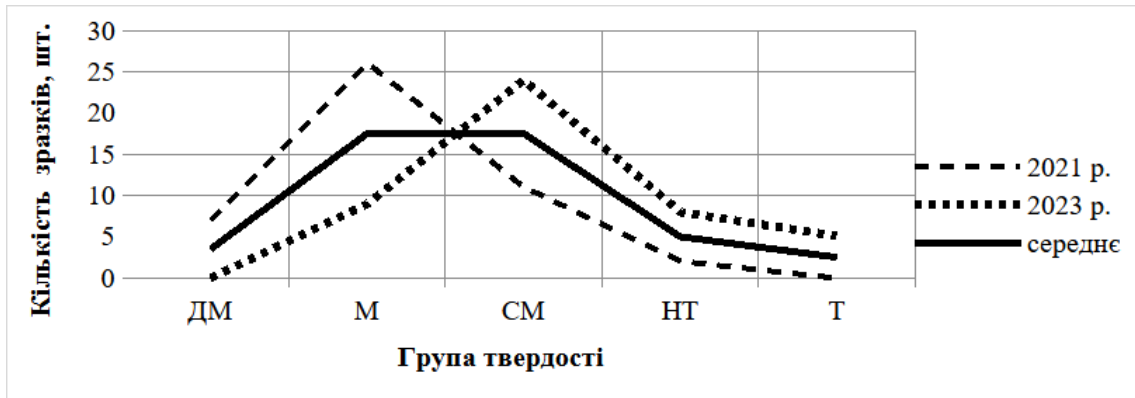


Рис. 1. Розподіл зразків тритикале ярого за рівнем твердозерності залежно від умов року: дуже м'якозерні (ДМ), м'якозерні (М), середньом'якозерні (СМ), напівтвердозерні (НТ), твердозерні (Т).

Fig. 1. Distribution of the spring triticale accessions by kernel hardness depending on the year conditions: very soft (ДМ), soft (М), medium-soft (СМ), semi-hard (НТ), hard (Т). X axis - Hardness group; Y axis - Number of accessions.

Note. Середнє - Mean

Дисперсійний аналіз показав, що найбільший вплив на формування твердозерності мав генотип та умови середовища. Фактор генотип мав найбільшу частку внеску у загальну мінливість ознаки – 29,9 %, умови середовища також мали значний вплив – 18,6 %. Значно менший, але вірогідний вплив мала взаємодія факторів генотип-середовище – 8,1 %. Подібні результати були показані в дослідженнях Kselíková і співавторів на чеських зразках тритикале, де найбільший вплив на мінливість твердості зерна мали умови року та генотип [14].

Більшість зразків тритикале ярого за рівнем твердості зерна належала до групи м'якозерні та середньом'якозерні. Це спостерігалось як у середньому за два роки, так і окремо за роками. У середньому рівень твердозерності у досліджуваних зразків відповідав чотирьом групам твердості: дуже м'якозерні – 1 зразок (2 %), м'якозерні – 18 зразків (39 %), середньом'якозерні – 21 зразок (46 %) та напівтвердозерні – 6 зразків (13 %). Зважаючи на значний вплив умов середовища на формування твердості зерна, досить цінним є виділення зразків, які мають більш

ANOVA showed that the genotype and environmental conditions had the greatest effects on kernel hardness. The "genotype" factor made the largest contribution to the total variability of the characteristics (29.9%); environmental conditions also had a significant effect (18.6%). The "genotype-environment interaction" factor had a much smaller, but still significant effect (8.1%). Similar results were obtained by Kselíková and her co-authors on Czech triticale accessions: the year conditions and genotype had the greatest influence on the variability of kernel hardness [14].

Most spring triticale accessions were in the soft or medium-soft group. This pattern was traced both for the mean value for the two study years and for separate years. On average, the kernel hardness in the studied accessions corresponded to four groups of hardness: very soft - 1 accession (2%), soft - 18 accessions (39%), medium-soft - 21 accessions (46%), and semi-hard - 6 accessions (13 %). Given the significant influence of environmental conditions on kernel hardness, it is quite

стабільний прояв цієї ознаки за роками. Найбільшу цінність як джерела певного рівня твердості зерна становлять зразки, більш стабільні та однорідні за цією ознакою. Було виділено найбільш стабільні зразки за трьома групами твердості зерна: м'якозерні, середньом'якозерні та напівтвердозерні (табл. 1).

important to select accessions with a more stable manifestation of this characteristic over the years. Accessions that are more stable and uniform in this respect are the most valuable sources of certain levels of kernel hardness. The most stable accessions were selected in three hardness groups: soft, medium-soft, and semi-hard (Table 1).

Таблиця 1. Зразки ярого тритикале зі стабільним проявом рівня твердозерності
Table 1. Spring triticale accessions with stable hardness of kernels

Назва зразка (Accession)	Твердість, Н (Hardness, N)			Коефіцієнт варіації, V, % (Coefficient of variation, CV, %)	
	2021 р. (2021)	2023 р. (2023)	середня (Mean)	за роками (Year-to-year)	у межах зразка (Intra-accession)
м'якозерні (Soft)					
ЯТХ (YaTKh) 40-23	100	110	105	16	7
ЯТХ (YaTKh) 21-23	102	126	114	16	15
ЯТХ (YaTKh) 124-23	105	144	124	9	22
ЯТХ (YaTKh) 102-23	129	122	126	16	4
ЯТХ (YaTKh) 18-23	132	122	127	17	6
ЯТХ (YaTKh) 46-23	118	138	128	15	11
ЯТХ (YaTKh) 62-23	147	113	130	19	19
середньом'якозерні (Medium-soft)					
ЯТХ (YaTKh) 132-23	141	135	138	15	3
ЯТХ (YaTKh) 16-23	122	158	140	16	18
ЯТХ (YaTKh) 156-23	122	159	141	10	19
ЯТХ (YaTKh) 15-23	132	151	141	15	10
ЯТХ (YaTKh) 105-23	130	153	142	11	11
ЯТХ (YaTKh) 11-23	151	137	144	18	7
ЯТХ (YaTKh) 43-23	134	177	155	15	20
напівтвердозерні (Semi-hard)					
ЯТХ (YaTKh) 108-23	155	178	167	16	10
ЯТХ (YaTKh) 99-23	160	196	178	14	13
ЯТХ (YaTKh) 147-23	147	201	174	17	22
ЯТХ (YaTKh) 135-23	163	202	183	10	15
НІР ₀₅ загальна (LSD ₀₅ total)	–	–	6	–	–
НІР ₀₅ за фактором генотип (LSD ₀₅ for the "genotype" factor)	–	–	14	–	–
НІР ₀₅ за фактором рік (LSD ₀₅ for the "year" factor)	–	–	15	–	–

У 2021 р. розподіл зразків за групами твердості був таким: дуже м'якозерні – 15 %, м'якозерні – 57 %, середньом'якозерні – 24 %, напівтвердозерні – 4 %, твердозерні – не виявлено. У 2023 р., в умовах якого всі зразки мали вищу твердість зерна, розподіл був

In 2021, the distribution of the accessions by hardness groups was as follows: very soft - 15%, soft - 57%, medium-soft - 24%, semi-hard - 4%, hard - not detected. In 2023, all accessions formed harder kernels and the distribution was as follows: very soft - not

наступним: дуже м'якозерні – не виявлено, м'якозерні – 20 %, середньом'якозерні – 52 %, напівтвердозерні – 17 %, твердозерні – 11 %.

Коефіцієнт варіації за роками досліджень варіював від 2 до 36 %. Крім того, метод вимірювання окремих зернівок дозволив оцінити вирівняність ознаки твердість зерна у межах кожного зразка. Виявлено значну диференціацію зразків за вирівняністю рівня твердозерності в межах зразка. Коефіцієнт варіації в межах одного зразка становив 3–50 %. Були виділені зразки з високим ($V \leq 10\%$), середнім ($V = 10\text{--}20\%$) та низьким ($V \geq 20\%$) ступенем однорідності за ознакою твердість зерна.

Серед групи м'якозерних найбільш вирівняними за рівнем твердості зерна були зразки ЯТХ 102-23 ($V = 4\%$), ЯТХ 18-23 ($V = 6\%$) та ЯТХ 40-23 ($V = 7\%$). Усі вони мали середній рівень мінливості за роками досліджень.

Серед групи середньом'якозерних найбільш вирівняний показник твердості в межах зразка мали ЯТХ 132-23 ($V = 3\%$), ЯТХ 11-23 ($V = 7\%$) та ЯТХ 15-23 ($V = 10\%$). Під впливом факторів навколишнього середовища найбільш стабільними були зразки ЯТХ 156-23 та ЯТХ 105-23.

Серед групи напівтвердозерних найбільш однорідними за твердістю були ЯТХ 108-23 ($V = 10\%$) та ЯТХ 99-23 ($V = 13\%$). Рівень мінливості за роками був середнім. Найбільш стабільним за роками досліджень серед групи напівтвердозерних був зразок ЯТХ 135-23.

Виділені зразки з підвищеним рівнем твердості зерна та більш стабільним її проявом можуть бути використані в селекції як джерела цієї ознаки. Також зразки зі стабільним проявом твердозерності можуть використовуватись як еталони в межах різних груп твердості.

Зразків, які протягом обох років належали до групи твердозерних, виявлено не було. Для пошуку нових генотипів з високим потенціалом твердого зерна у 2023 р. було додатково досліджено рівень твердості зерна на значно ширшому наборі генотипів: 330 ярих та 220 зразків озимих тритикале.

Розподіл зразків за групами твердості був подібним серед ярих та озимих форм. Більшу частку становили м'якозерні та середньом'якозерні генотипи (рис. 2).

detected, soft - 20%, medium-soft - 52%, semi-hard - 17%, hard - 11% .

The coefficient of year-to-year variation ranged from 2 to 36%. In addition, the method for evaluating individual kernels made it possible to assess the kernel hardness uniformity within each accession. The accessions differed significantly in intra-accession variability of kernel hardness. The coefficient of intra-accession variation was 3–50%. Accessions with high ($CV \leq 10\%$), medium ($CV = 10\text{--}20\%$), and low ($CV \geq 20\%$) uniformity of kernel hardness were distinguished.

In the soft group, YaTKh 102-23 ($CV = 4\%$), YaTKh 18-23 ($CV = 6\%$), and YaTKh 40-23 ($CV = 7\%$) were the most uniform accessions in terms of kernel hardness. All of them showed a moderate year-to-year variability.

In the medium-soft group, YaTKh 132-23 ($CV = 3\%$), YaTKh 11-23 ($CV = 7\%$), and YaTKh 15-23 ($CV = 10\%$) showed the lowest intra-accession variability. YaTKh 156-23 and YaTKh 105-23 were the most stable accessions under the influence of environmental factors.

In the semi-hard group, YaTKh 108-23 ($CV = 10\%$) and YaTKh 99-23 ($CV = 13\%$) were the most uniform accessions in terms of kernel hardness. The year-to-year variability was moderate. YaTKh 135-23 was the most stable accession over the study years in the semi-hard group.

The selected accessions with increased kernel hardness and a more stable manifestation of this characteristic can be used in breeding as sources of this trait. In addition, accessions with stable hardness can be used as references within different hardness groups.

There were no accessions that would form hard kernels for two years in succession. To identify new genotypes with high potential for kernel hardness, we additionally investigated kernel hardness in a much bigger sample of genotypes in 2023: 330 spring and 220 winter triticale accessions.

The accession distribution by hardness groups was similar among spring and winter forms. Soft- and medium-soft-kernelled genotypes made up larger shares (Fig. 2).

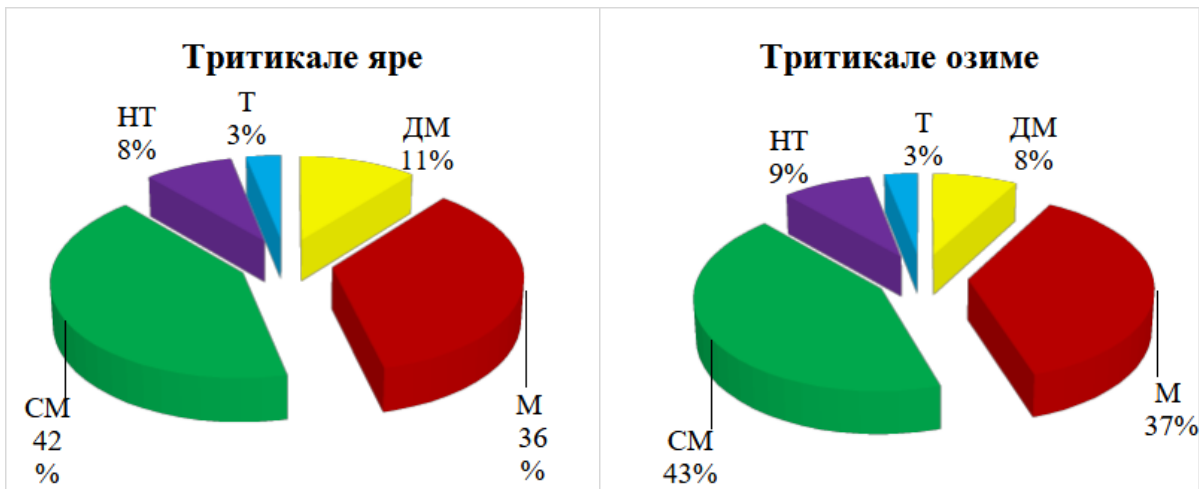


Рис. 2. Розподіл зразків тритикале ярого та озимого за рівнем твердості зерна, 2023 р., %: дуже м'якозерні (ДМ), м'якозерні (М), середньом'якозерні (СМ), напівтвердозерні (НТ), твердозерні (Т).

Fig. 2. Distribution of the spring and winter triticale accessions by kernel hardness in 2023, %: very soft (ДМ), soft (М), medium-soft (СМ), semi-hard (НТ), hard (Т).

Note. Тритикале яре - Spring triticale; Тритикале озиме - Winter triticale.

У дослідженнях інших авторів також повідомляється, що рівень твердозерності у тритикале репрезентує повний діапазон твердості: від дуже м'якого до дуже твердого, але при цьому переважна більшість генотипів перебуває на рівні від дуже м'якозерних до середньом'якозерних [8, 9]. Серед 11 угорських сортів тритикале, досліджених Вона і співавт., усі зразки мали середній рівень твердості зерна, але виділився один сорт ярого тритикале GK Idus з твердим зерном з характеристиками, близькими до твердої пшениці [20]. Зразки озимого тритикале одеської селекції (Україна), як повідомляють О. Рибалка і співавтори, виявилися дуже м'якозерними. При цьому досліджувані зразки в своїх родоходах містили спадковий матеріал хромосомно заміщеного (5B)5R тритикале та пшениці ваксі [21]. Проте, в дослідженнях Watanabe та ін., рівень твердості зерна восьми досліджуваних бразильських зразків тритикале, який визначався за розміром часточок борошна при помелі, наближався до показників твердої пшениці [22]. Такі відмінності у результатах досліджень ймовірно зумовлені широким різноманіттям зразків тритикале за походженням та методами створення, а також залежать від обсягу досліджуваного матеріалу.

У наших дослідженнях умови 2023 р. сприяли формуванню твердого зерна у генотипів, що мають потенціал до високого рівня прояву цієї ознаки. Були виділені зразки,

Other authors also reported that triticale kernel hardness covered the full hardness range: from very soft to very hard, but most genotypes had very soft to medium-soft kernels [8, 9]. All 11 Hungarian triticale cultivars studied by Bona et al. showed a medium level of kernel hardness; however, one spring triticale cultivar, 'GK Idus' stood out with hard kernels with characteristics close to those of durum wheat [20]. Winter triticale cultivars bred in Odesa (Ukraine), as reported by O. Rybalka et al., turned out to have very soft kernels. At the same time, the studied accessions contained genetic material of chromosomally substituted (5B)5R triticale and waxy wheat in their pedigrees [21]. Nevertheless, in a study by Watanabe et al., the kernel hardness of eight Brazilian triticale accessions, which was determined by milled flour particle size, was close to that of durum wheat [22]. Such discrepancies in research findings are probably caused by wide diversity of origins and breeding methods of triticale accessions and also depend on sizes of tested samples.

In our study, the conditions of 2023 contributed to the formation of hard kernels in genotypes with a potential for strong expression of this trait. We selected accessions

здатні формувати твердість на рівні пшениці твердої та перевищувати її. Серед ярих тритикале виділено 12 твердозерних зразків, серед озимих – сім (табл. 2).

capable of forming hard kernels at the level of durum wheat or better. Twelve spring triticale and seven winter triticale accessions with hard kernels were selected (Table 2).

Таблиця 2. Твердозерні лінії тритикале ярого та озимого, 2023 р.

Table 2. Hard-kernelled spring and winter triticale lines, 2023.

Назва зразка (Accession)	Твердість зерна, Н (Kernel hardness, N)	Коефіцієнт варіації в межах зразка, V, % (Coefficient of intra-accession variability, CV, %)
тритикале яре (Spring triticale)		
ЯТХ (YaTKh) 456-23	214	14
ЯТХ (YaTKh) 139-23	208	5
ЯТХ (YaTKh) 437-23	207	12
ЯТХ (YaTKh) 565-23	206	12
ЯТХ (YaTKh) 382-23	201	6
ЯТХ (YaTKh) 140-23	199	5
ЯТХ (YaTKh) 368-23	199	17
ЯТХ (YaTKh) 227-23	197	9
ЯТХ (YaTKh) 216-23	194	11
ЯТХ (YaTKh) 99-23	190	6
ЯТХ (YaTKh) 782-23	190	12
ЯТХ (YaTKh) 50-23	190	15
еталони (References)		
Харківська 39, пшениця тверда яра (Spring pasta wheat cv. 'Kharivska 39')	192	12
Харківська 30, пшениця м'яка яра (Spring bread wheat cv. 'Kharivska 30')	160	10
НІР ₀₅ (LSD ₀₅)	11	–
тритикале озиме (Winter triticale)		
ТХЗ (TKhZ) 883-23	247	20
ТХЗ (TKhZ) 487-23	212	20
ТХЗ (TKhZ) 406-23	207	15
ТХЗ (TKhZ) 736-23	205	7
ТХЗ (TKhZ) 178-23	202	9
ТХЗ (TKhZ) 884-23	199	16
ТХЗ (TKhZ) 516-23	194	10
еталони (References)		
Шулиндінка, пшениця тверда озима (Winter pasta wheat cv. 'Shulyndinka')	195	13
Богдана, пшениця м'яка озима (Winter bread wheat cv. 'Bohdana')	142	12
НІР ₀₅ (LSD ₀₅)	14	–

Найвищу твердозерність серед ярих зразків мали ЯТХ 456-23 (247 Н), ЯТХ 139-23 (208 Н), ЯТХ 437-23 (207 Н) та ЯТХ 565-23 (206 Н) та ЯТХ 382-23 (201 Н). Серед озимих найвищі рівні твердості мали зразки ТХЗ 883-

Among the spring accessions, the highest hardness of kernels was recorded for YaTKh 456-23 (247 N), YaTKh 139-23 (208 N), YaTKh 437-23 (207 N), YaTKh 565-23 (206 N), and YaTKh 382-23 (201 N). Among the

23 (247 Н), ТХЗ 487-23 (212 Н), ТХЗ 406-23 (207 Н), ТХЗ 736-23 (205 Н) та ТХЗ 178-23 (202 Н). Твердозерні зразки також відрізнялись морфологічно за більш скловидною текстурою ендосперму (рис. 3).

winter cultivars, ТKhZ 883-23 (247 N), ТKhZ 487-23 (212 N), ТKhZ 406-23 (207 N), ТKhZ 736-23 (205 N), and ТKhZ 178-23 (202 N) had the hardest kernels. The hard-kernelled accessions also differed morphologically: their endosperms looked more vitreous (Fig. 3).



Рис. 3. Вигляд ендосперму при поперечному зрізі зерна у твердозерного зразка тритикале ЯТХ 437-23 (ліворуч) та середньом'якозерного зразка ЯТХ 132-23 (праворуч).

Fig. 3. Appearance of the endosperm on kernel cross-sections of a hard-kernelled triticale accession (YaTKh 437-23) (left) and a medium-soft-kernelled accession (YaTKh 132-23) (right).

Як відомо, у пшениці твердість зерна тісно корелює з рівнем скловидності, тому твердозерні зразки переважно мають більш скловидну текстуру ендосперму. Подібний зв'язок встановили Warechowska та співавтори і на тритикале [23].

Усі зразки групи твердозерні показали високу або середню однорідність в межах зразка (коефіцієнт варіації $V = 5-20\%$). Виділені зразки, зважаючи на досить високі рівні твердості зерна та вирівняність за цим показником, мають значну селекційну цінність, але потребують подальших досліджень щодо стабільності прояву ознаки за різних умов середовища.

Висновки

Серед досліджуваного матеріалу визначено значну диференціацію за проявом твердості зерна: від дуже м'якозерних (84 Н) до твердозерних (246 Н).

Ярі та озимі форми тритикале мали подібний розподіл зразків за групами твердості. Більшу частку становили м'якозерні та середньом'якозерні генотипи (відповідно 36 та 42 % у ярих, 37 та 43 % у озимих).

Установлено, що найбільший вплив на загальну мінливість ознаки твердозерність мали фактори генотип (29,9 %) та середовище (18,6 %), тому зразки проявляли значну мінливість рівня твердозерності за роками

In wheat, kernel hardness is known to be closely correlated with vitreousness; hence, hard-kernelled accessions mostly have a more vitreous endosperm texture. A similar pattern was demonstrated by Warechowska and her co-authors on triticale [23].

All accessions of the hard group showed high or moderate intra-accession uniformity (coefficient of variation $CV = 5-20\%$). Given the rather high levels of kernel hardness and uniformity of this characteristic, the selected accessions are of significant breeding value, but require further research into the expression stability of this trait under different environmental conditions.

Conclusions

The studied material significantly differed in kernel hardness: from very soft-kernelled accessions (84 N) to hard-kernelled ones (246 N).

Spring and winter triticale forms showed similar distributions by hardness groups. Soft-kernelled and medium-soft-kernelled genotypes made up larger shares (36 and 42% in spring triticale, respectively, and 37 and 43% in winter, respectively).

It was found that the "genotype" (29.9%) and "environment" (18.6%) factors made the greatest contributions to the total variability of the "kernel hardness" trait; hence, the

досліджень. Водночас в межах кожної групи твердості виділено зразки зі стабільним рівнем твердості зерна за роками.

Виділено зразки з високою однорідністю та стабільним за роками проявом показника твердозерності в межах різних груп твердості: напівтвердозерні – ЯТХ 99-23, ЯТХ 108-23, середньом'якозерні – ЯТХ 132-23, ЯТХ 11-23, м'якозерні – ЯТХ 102-23, ЯТХ 18-23, ЯТХ 40-23. Вони можуть бути використані в селекції як джерела цієї ознаки. Також зразки зі стабільним проявом твердозерності можуть використовуватись як еталони в межах різних груп твердості.

Виділено генотипи з високим потенціалом твердості зерна. За сприятливих умов 2023 р. вони формували твердість на рівні пшениці твердої або перевершували її. Серед ярих форм виділено 12 твердозерних зразків, серед озимих – сім. Найвищу твердозерність серед ярих зразків мали ЯТХ 456-23 (247 Н), ЯТХ 139-23 (208 Н), ЯТХ 437-23 (207 Н), ЯТХ 565-23 (206 Н) та ЯТХ 382-23 (201 Н). Серед озимих найвищі рівні твердості мали зразки ТХЗ 883-23 (247 Н), ТХЗ 487-23 (212 Н), ТХЗ 406-23 (207 Н), ТХЗ 736-23 (205 Н) та ТХЗ 178-23 (202 Н). Усі зразки групи твердозерні показали високу або середню однорідність в межах генотипу (коефіцієнт варіації $V = 5\text{--}20\%$).

accessions' kernel hardness was quite variable across the study years. At the same time, accessions with stable year-to-year hardness of kernels were selected in each hardness group.

We selected highly uniform accessions with stable hardness of kernels over the years within different hardness groups: semi-hard - YaTKh 99-23 and YaTKh 108-23; medium-soft - YaTKh 132-23 and YaTKh 11-23; soft - YaTKh 102 -23, YaTKh 18-23, and YaTKh 40-23. They can be used in breeding as sources of this trait. In addition, accessions with stable hardness can be used as references within different hardness groups.

Genotypes with a high potential for kernel hardness were identified. Under favorable conditions in 2023, they demonstrated kernel hardness at the level of durum wheat or better. Twelve spring triticale and seven winter triticale accessions with hard kernels were selected. The following spring accessions had the hardest kernels: YaTKh 456-23 (247 N), YaTKh 139-23 (208 N), YaTKh 437-23 (207 N), YaTKh 565-23 (206 N), and YaTKh 382-23 (201 N). As to winter triticale, the following cultivars formed the hardest kernels: TKhZ 883-23 (247 N), TKhZ 487-23 (212 N), TKhZ 406-23 (207 N), TKhZ 736-23 (205 N), and TKhZ 178-23 (202 N). All accessions of the hard group showed high or moderate intra-accession uniformity (coefficient of variation $CV = 5\text{--}20\%$).

References

1. FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Statistical Databases. 2020. Available from: <http://faostat.fao.org/>
2. Chernobai S.V., Riabchun V.K., Melnyk V.S., Kapustina T.B., Nosenko Yu.M., Shchechenko O.Ye., Sheliakina T.A. Characteristics of spring triticale cultivars bred at the Yuriev Plant Production Institute of NAAS. *Seleksiia i Nasinnytstvo*. 2023. Issue 124. P. 31–44. <https://doi.org/10.30835/2413-7510.2023.293848> [in Ukrainian]
3. Kaszuba J., Kapusta I., Posadzka Z.. Content of Phenolic Acids in the Grain of Selected Polish Triticale Cultivars and Its Products. *Molecules*. 2021. № 26. P. 562–572. <https://doi.org/10.3390/molecules26030562>
4. Kamanova S., Yermekov Y., Shah K., Mulati A., Liu X., Bulashev B., Toimbayeva D., Ospankulova G. Review on nutritional benefits of triticale. *Czech Journal of Food Sciences*. 2023. № 41. P. 248–262. <https://doi.org/10.17221/67/2023-CJFS>
5. Zhu F. Triticale: Nutritional composition and food uses. *Food Chemistry*. 2018. № 241. P. 468–479. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.09.009>
6. Riabchun V.K., Kapustina T.B., Melnyk V.S., Shchechenko O.Ye. Triticale - new opportunities for stabilization of grain production. Scientific edition. Kharkiv. 2013. 18 p. [in Ukrainian]
7. Rodríguez-Perez G., Cervantes-Ortiz J.F., Gámez-Vázquez A.J., Reynaga-Franco F.J., Torres-Velázquez J.R., Ávila-Perches M.A. Nutritional value in grains of triticale as an alternative in the food industry. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 2023. № 14. P. 351–362.

- <https://doi.org/10.29312/remexca.v14i3.2870>
8. Li G., He Zh., Peña R.J., Xia X., Lillemo M., Sun Q. Identification of novel secaloindoline-a and secaloindoline-b alleles in CIMMYT hexaploid triticale lines. *Journal of Cereal Science*. 2006. № 43. P. 378–386. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2005.12.010>
 9. Camerlengo F., Kiszonas A.M. Genetic factors influencing triticale quality for food. *Journal of Cereal Science*. 2023. № 113. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2023.103743>
 10. Gasparis S., Orczyk W., Nadolska-Orczyk A. Sina and Sinb genes in triticale do not determine grain hardness contrary to their orthologs Pina and Pinb in wheat. *Plant Biology*. 2013. № 13. P. 190. <https://doi.org/10.1186/1471-2229-13-190>
 11. Ramírez A., Pérez G.T., Ribotta P.D., León A.E. The occurrence of friabilins in triticale and their relationship with grain hardness and baking quality. *J Agric Food Chem*. 2003. № 51 (24). P. 7176–7181. <https://doi.org/10.1021/jf0345853>.
 12. Lukaszewski A. Cytogenetically engineered rye chromosomes 1R to improve bread-making quality of hexaploid triticale. *Crop Science*. 2006. № 46. P. 2183. <https://doi.org/10.2135/cropsci2006.03.0135>
 13. Salmanowicz B. CE determination of secaloindoline allelic forms in hexaploid triticale (\times *Triticosecale* Wittmack). *J Sep Sci*. 2010. № 33 (4-5). P. 643–650. <https://doi.org/10.1002/jssc.200900601>.
 14. Kselíková V., Vyhnánek T., Hanáček P., Martinek P. Grain hardness in triticale: a physical and molecular evaluation. *Czech J. Genet. Plant Breed*. 2020. № 56 (3). P. 102–110. <https://doi.org/10.17221/96/2019-CJGPB>
 15. Yarosh A.V., Riabchun V.K., Leonov O.Yu., Didenko S.Yu., Kopytina L.P., Sakhno TV, Sheliakina TA. Method for evaluating grain hardness in winter bread wheat. *Henetychni Resursy Roslyn*. 2014. No 15. P. 120–131. Available from: <http://genres.com.ua/assets/files/15/15.pdf> [in Ukrainian]
 16. Erkinbaev Ch., Derksen K., Paliwal J. Single kernel wheat hardness estimation using near infrared hyperspectral imaging. *Infrared Physics & Technology*. 2019. No 98. P. 250–255. <https://doi.org/10.1016/j.infrared.2019.03.033>
 17. Gaines C., Finney P., Fleege L., Andrews L. Predicting a Hardness Measurement Using the Single-Kernel Characterization System. *Cereal Chem*. 1996. № 73(2). P. 278–283. Available from: https://www.cerealsgrains.org/publications/cc/backissues/1996/Documents/73_278.pdf
 18. Laskowski J., Lysiak G.. Use of compression behaviour of legume seeds in view of impact grinding prediction. *Powder Technology*. 1999. № 105. P. 83–88. [https://doi.org/10.1016/S0032-5910\(99\)00121-7](https://doi.org/10.1016/S0032-5910(99)00121-7)
 19. Rozhkov A.O., Puzik V.K., Kalenska S.M., Puzik L.M., Popov S.I., Muzafarov N.M., Bukhalo V.Ya., Kryshchuk Ya.A. Experimentation in agronomy. Book 2. Statistical processing of agronomic research data. Kh.: Maidan, 2016. 342 p. [in Ukrainian]
 20. Bona L, Acs E, Lantos C, Tomoskozi S, Lango B. Human utilization of triticale: technological and nutritional aspects. *Commun Agric Appl Biol Sci*. 2014. № 79(4). P. 139–152. Available from: https://www.researchgate.net/publication/278331762_Human_utilization_of_triticale_technological_and_nutritional_aspects
 21. Rybalka O.I., Morgun V.V., Morgun B.V., Polyshechuk S.S. Genetic background for breeding of new quality classes of wheat (*Triticum aestivum* L.) and triticale (\times *Triticosecale* Wittmack). *Fiziol. Rast. Genet*. 2019. Vol. 51, No 3. P 207–240. <https://doi.org/10.15407/frg2019.03.207> [in Ukrainian]
 22. Watanabe E., Arruda K., Kitzberger C., Scholz M., Coelho A. Physico-chemical properties and milling behavior of modern triticale genotypes. *Emirates Journal of Food and Agriculture*. 2019. 31(10). P. 752–758. <https://doi.org/10.9755/ejfa.2019.v31.i10.2015>
 23. Warechowska M., Warechowski J., Wojtkowiak K., Stępień A. Milling quality of spring triticale grain under different nitrogen fertilization. *Pol. J. Natur. Sc.* 2013. № 28 (4). P. 423–435. Available from: https://www.uwm.edu.pl/polish-journal/sites/default/files/issues/articles/warechowska_et_al_2013.pdf

Received 18.02.2024

УДК 633.11: 664.64.016

В.І. Москалець¹, Т.З. Москалець¹, В.В. Москалець², Н.М. Буняк², О.І. Буняк¹
**Новий сорт пшениці м'якої озимої Носівочка для умов Лісостепу і
Полісся України**

¹Носівська селекційна дослідна станція Миронівського інституту пшениці імені
В.М. Ремесла НААН України, с. Дослідне, Ніжинський р-н, Чернігівська обл., Україна
E-mail: moskalets78@ukr.net

²Інститут садівництва НААН України, с. Новосілки, Фастівський р-н, Київська обл., Україна

UDC 633.11: 664.64.016

V.I. Moskalets¹, T.Z. Moskalets¹, V.V. Moskalets², N.M. Bunyak², O.I. Bunyak¹
**A New Winter Bread Wheat Cultivar 'Nosivochka' for the Forest-Step and
Woodlands of Ukraine**

¹Nosivka Plant Breeding Experimental Station of the V.M. Remeslo Myronivka Institute of Wheat of NAAS
of Ukraine, Doslidne Village, Nizhynskiy District, Chernihivska Oblast, Ukraine

E-mail: moskalets78@ukr.net

²Institute of Horticulture of NAAS of Ukraine, Novosilky Village, Fastivskiy District,
Kyivska Oblast, Ukraine

Реферат: Створено новий екологічно пластичний, високопродуктивний сорт пшениці м'якої озимої Носівочка. В статті наведено характеристику сорту Носівочка за морфологічними ознаками, агроекологічними і біологічними властивостями, Відзначено високі екологічну пластичність, продуктивність і показники якості зерна та борошна. Показано, що новий сорт формує високий біотичний потенціал в умовах поліського-лісостепового і лісостепового екоотопів. За екологічного випробування (впродовж 2001–2006 рр. 2008–2022 рр. в умовах полісько-лісостепового екоотопу (Чернігівська обл.) і 2007–2014 рр. – лісостепового екоотопу (Київська обл.) новий сорт формував високу і середню урожайність зерна, зокрема 6,54–9,11 та 5,72–7,74 т/га, відповідно. Сорт Носівочка можна віднести до високоінтенсивних; він характеризується поліпшеними морфологічними і агробіологічними властивостями, широкою нормою реакції за оптимізації умов вирощування, має потовщену соломину. Все це зумовлює досить високу стійкість до несприятливих абіотичних і біотичних чинників і здатність рослин засвоювати високі дози азотних мінеральних добрив, добре реагувати на своєчасний обробіток ґрунту (оранку) та післядію органічних добрив.

Ключові слова: пшениця м'яка озима, урожайність, екологічна пластичність, якість зерна.

Abstract: A new environmentally plastic, highly productive winter bread wheat cultivar 'Nosivochka' has been created. The article describes morphological, agroecological, and biological characteristics of cv. 'Nosivochka'. High environmental plasticity, productivity, and grain and flour quality are highlighted. It was shown that the new cultivar had a high biotic potential in the woodlands-forest-steppe and forest-steppe ecotopes. During environmental trials (in 2001–2006, 2008–2022, in the woodlands-forest-steppe ecotope (Chernihivska Oblast) region) and in 2007–2014, in the forest-steppe ecotope (Kyivska Oblast)), the new cultivar gave a high mean yield of grain: 6.54–9.11 and 5.72–7.74 t/ha, respectively. Cv. 'Nosivochka' is highly intensive. It has improved morphological and agrobiological features, a wide norm of reaction under optimized growing conditions, and thickened straw. All these features make it fairly highly resistant to adverse abiotic and biotic factors, be able to assimilate high doses of nitrogen mineral fertilizers, and respond well to timely soil cultivation (plowing) and after-effects of organic fertilizers.

Key words: winter bread wheat, yield, environmental plasticity, grain quality

Вступ

Одним із шляхів зменшення негативного впливу на агроекосистеми, збереження й збільшення біорізноманіття є створення й інтродукція стійких і адаптивних сортів рослин [1], які здатні більшою мірою протистояти негативним чинникам довкілля. Створені сорти з часом втрачають свій біопотенціал, у т.ч. пристосувальні можливості, через що поповнення агроекосистем новим адаптивним асортиментом зернових культур є актуальним.

Однією з найбільш цінних зернових продовольчих культур є пшениця м'яка (*Triticum aestivum*L.). Її загальна світова площа становить 224 млн га, або 32 % від усіх зернових культур. Найбільші площі під цією культурою зосереджені в Китаї – 31 млн, Індії – 26, США – 24, Канаді та Австралії – 11 млн га. Не випадково вона є основним сировинним ресурсом для населення близько 2 млрд осіб у 43 країнах світу, у т.ч. в Україні [2, 3].

В умовах сучасних змін клімату провідну роль відіграє сорт та технологія його вирощування, як фактор реалізації біопотенціалу генотипу, урожайності та якості зерна. Особливо зростає роль сорту за інтенсивної й інтегрованої технології вирощування в умовах дефіциту вологи у весняно-літній період [4]. Потенціал продуктивності вітчизняних сортів озимої пшениці сягає понад 10 т/га, однак у виробничих умовах він реалізується на 1/2, а в деяких випадках лише на 30 %. Головна причина недоборів урожаю – це невідповідність технологічних прийомів біологічним особливостям сорту й ґрунтово-кліматичному потенціалу. Зміни клімату вимагають вирощування високопродуктивних і посухостійких сортів. Тому створення сортів з високим гомеостатичним потенціалом та розробка і впровадження науково обґрунтованої сортової агротехніки їх вирощування є актуальними питаннями сьогодення [5]. Одним з напрямів вирішення цього завдання є цілеспрямована селекція на поєднання в одному сорті високого потенціалу врожайності з поліпшеними технологічними властивостями зерна і борошна, стійкості проти комплексу несприятливих біотичних і абіотичних чинників [2].

Пшениця м'яка озима – це основна зернова культура України, зростання валових зборів якої в умовах сучасного сільського господарства відбувається насамперед за

Introduction

The creation and introduction of resistant and adaptable plant cultivars [1], which are more able to resist negative environmental factors, is a way to reduce the negative impact on agroecosystems and preserve and expand biodiversity. Cultivars lose their biopotential over time, including adaptability; therefore, agroecosystems should be replenished with new, adaptable, and diverse cereal cultivars.

Common wheat (*Triticum aestivum* L.) is one of the most valuable food cereals. Its total acreage is 224 million hectares around the world or 32% of all cereals. The largest areas of this crop are concentrated in China (31 million hectares), India (26), the US (24), Canada and Australia (11 million hectares in each). It is not fortuitous that it is the main raw material resource for about 2 billion people in 43 countries worldwide, including Ukraine [2, 3].

Under current climatic changes, the cultivar and cultivation technology, as a factor in fulfilling the biopotential of a genotype for yield and grain quality, play key roles. The cultivar's role is especially growing with intensive and integrated cultivation technologies under water deficit in spring and summer [4]. The productivity potential of Ukrainian winter wheat cultivars exceeds 10 t/ha, but in production, it is fulfilled by 1/2, and in some cases by only 30%. Mismatches between farming techniques, biological characteristics of a cultivar, and pedo-climatic conditions are the main causes of yield shortage in cropping. Climate changes require the cultivation of highly productive and drought-tolerant cultivars. Therefore, the creation of cultivars with high homeostaticity and the development and implementation of scientifically justified, cultivar-oriented farming techniques for their cultivation are relevant issues at present [5]. Targeted breeding to combine high yield capacity with improved technological parameters of grain and flour and increased tolerance to a complex of adverse biotic and abiotic factors in one genotype is a way to solve this problem [2].

Winter bread wheat is the major cereal in Ukraine; in modern agriculture, its cropping is growing primarily due to the implementation of resource-saving technologies of its cultivation, the most important constituent of which is

рахунок впровадження у виробництво ресурсозберігаючих технологій її вирощування, найважливішим елементом яких є сівба сортів, найбільш адаптованих до певних ґрунтово-кліматичних умов [6]. У сучасному веденні селекції, добір високоякісного вихідного матеріалу є важливим аспектом для забезпечення здорових і продуктивних ліній [7]. Вирішення проблеми з підвищення адаптивності культурних рослин, в т.ч. зернових озимих культур, полягає у залученні вихідних батьківських адаптивних форм з посиленими рекомбінаційними процесами взаємодії генів.

У генофонді популяції за впливу лімітуючого чинника (або кількох із них) у процесі рекомбінації може відбуватися взаємне пристосування різних генів, яке у низки генотипів може зумовлювати більш виражені ознаки і властивості порівняно з батьківськими формами [8].

Підвищення аридизації клімату, в т.ч. Лісостепу та Полісся України, де в останні десятиліття спостерігається зростання середньорічної температури повітря (+ 2,3°C за період з 1989-2014 рр.); зменшення річної суми опадів; збільшення загострених періодів під час вегетації пшениці озимої за відсутності опадів на фоні високих температур повітря (тривалість півтора-два місяці); наявність вірогідної тенденції перерозподілу опадів на осінньо-зимові місяці; зміна температурного режиму в зимово-весняний період, що виражається в посиленні розмаху коливання температур повітря (від -20 °C до тривалих відлиг, часто з притертими крижаними кірками); весняні заморозки під час вегетації в квітні і травні, всі ці чинники висувають проблему адаптації та стійкості пшениці озимої на пріоритетне місце [9]. Оскільки сортимент пшениці в часовому просторі поступово вичерпує свій адаптаційний потенціал, що проявляється у посиленні впливу на них стресових чинників абіотичної та біотичної природи, зниженні насінневої продуктивності тощо [1], не втрачає своєї актуальності теоретичне обґрунтування, створення та інтродукція високоадаптивних й інтенсивних сортів якісно нового типу з підвищеною екологічною пластичністю універсального використання для різного рівня агрофонів та чинників довкілля. Значному поширенню генотипів рослин з високим потенціалом передують тестування їх за параметрами адаптивності, які надійно виявляються в умовах *insitu*.

Так, рослини напівкарликового типу

cultivars most adapted to certain pedo-climatic conditions [6]. In current breeding, the selection of top-quality starting materials is an important aspect to ensure healthy and productive lines [7]. Solutions to the problem of increased adaptability of domestic plants, including winter cereals, consist in the involvement of original parental adaptable forms with enhanced recombination capacity.

In the gene pool of a population affected by a limiting factor (or several factors), mutual adaptation of different genes can occur in the process of recombination. Such adaptation can lead to more expressed traits and features in some genotypes compared to parents [8].

Enhancing aridization of the climate, including in the forest-steppe and woodlands of Ukraine, where in recent decades the mean annual air temperature has increased (+ 2.3°C from 1989 to 2014), the annual amount of precipitation has decreased; unfavorable periods of high air temperatures without precipitation during winter wheat vegetation has extended (to 1.5-2 months), precipitation has been tending to shift to autumn and winter months, and the temperature profile in the winter-spring period has changed, which is manifested as increased fluctuations of air temperature (from -20 °C to long thaws, often with ice crust on soil) and spring frosts during the growing period in April and May. All these factors push the problem of winter wheat adaptation and tolerance to a priority place [9]. Since the assortment of wheat is gradually exhausting its adaptation potential over time, which is manifested in the strengthened impact of abiotic and biotic stressors on cultivars, reduced seed productivity, etc. [1], the theoretical justification, creation, and introduction of highly adaptable, intensive and game-changing cultivars, with increased environmental plasticity, universal in use, for various soil fertility and environments, remain relevant. A wide dissemination of plants with high potentials is preceded by testing them for adaptability parameters that are reliably evaluated *in situ*.

For example, the first-generation semi-dwarf plants do not meet the requirements of production in terms of stable seed productivity, tolerance to adverse environments, and pathogen-induced damage after a while; grain quality often deteriorates [10].

першого покоління через певний час не відповідають вимогам виробництва за стабільною насінневою продуктивністю, стійкістю до несприятливих докільля та ураженням збудниками хвороб часто мають невисокі показники якості зерна [10].

Існує думка [3, 9, 11], що короткостеблові рослини можна вирощувати тільки за високих доз мінеральних солей та органічної речовини, оскільки вони характеризуються вузькою екологічною локалізацією, що в сильно варіюючих агрокліматичних умовах України зумовлює слабку їх адаптованість. Тому проблеми створення нових високоурожайних сортів пшениці та пошук умов задля найповнішої реалізації їх адаптивного потенціалу і подальшої адресної інтродукції є надзвичайно актуальними.

Рослини пшениці інтенсивного типу в умовах України, як правило, характеризуються короткостебловістю; середньою і високою фотоперіодичною чутливістю в умовах Лісостепу та Полісся, тривалим періодом яровізації; підвищеною стійкістю до ентомо- й епіфітопаразитів; посухостійкістю; високою або задовільною морозо-, зимостійкістю, якістю зерна – на рівні сильних і цінних рослин сортів пшениці [11, 12]. В Україні з 244 дозволених для офіційного вирощування сортів пшениці м'якої озимої, 65 % належить до групи сильних пшениць, 30 – до цінних, 10 – до філерів [13].

За останні десятиріччя в середньому вміст білка і клейковини в зерні становить – 12 % і 23,9 %, відповідно, показник ВДК – 94 (80–106). У зв'язку з цим наголошується на необхідності підсилення селекційної роботи на якість зерна [2]. Особливістю у селекції на якість є поєднання в одному генотипі показників якості зерна, продуктивності та стійкості до низки несприятливих екологічних чинників, що і визначило мету і завдання нашої роботи – створити та вивчити високопродуктивний сорт пшениці м'якої озимої, адаптований до умов лісостепоного і поліського екоотопів.

Матеріали та методи

Дослідження проводили на стаціонарах Носівської селекційно-дослідної станції Миронівського інституту пшениці ім. В. М. Ремесла НААН України (протягом 1998–2012 рр. та 2020–2023 рр.). Дослідне поле, де проводили дослідження, розміщено в межах окремого екотону Дніпровської низовини, у сфері впливу двох фізико-географічних зон –

There is an opinion [3, 9, 11] that short-stemmed plants can be grown only at high doses of mineral salts and organic compounds since they are characterized by a narrow ecological localization, meaning their weak adaptability in the highly variable agro-climatic conditions of Ukraine. Therefore, the problems of creating new high-yielding wheat cultivars, finding conditions for the most complete fulfillment of their adaptive potentials, and further targeted introducing are extremely urgent.

In Ukraine, intensive wheat plants usually have short stems, are moderately to highly susceptible to photoperiod in the forest-steppe and woodlands, require long vernalization, show enhanced resistance to entomo- and epiphytoparasites and high or satisfactory frost tolerance and winter hardiness, are drought-tolerant, and produce grain with quality at the level of strong and valuable wheats [11, 12]. In Ukraine, of the 244 winter bread wheat cultivars officially approved for cultivation, 65% are strong wheats, 30 are valuable wheats, and 10 are fillers [13].

Over the past decades, the mean contents of protein and gluten in grain are 12% and 23.9%, respectively; the gluten deformation index (GDI) is 94 (80–106). In this regard, the need to strengthen breeding for grain quality is emphasized [2]. A peculiarity of breeding for quality is a combination of grain quality, performance, and tolerance to several unfavorable environmental factors in one genotype. This determined the purpose and objectives of our study: to create and investigate a highly productive winter bread wheat cultivar adapted to the forest-steppe and woodlands ecotopes.

Materials and Methods

The study was carried out in within the stationary experiments at Nosivka Plant Breeding Experimental Station of the V.M. Remeslo Myronivka Institute of Wheat of NAAS of Ukraine in 1998–2012 and 2020–2023. The experimental field, where the study was conducted, is located in a separate ecotone of the Dnipro lowland, where two physiographic zones, woodlands and forest-steppe, meet. It is clearly divided into two halves: the southern - forest-steppe and the northern - woodlands. The natural

Полісся та Лісостепу, чітко поділено на дві половини: південну – Лісостепову та північну – Поліську, природна межа яких збігається з Північною межею суцільного поширення в Лісостеповій зоні верхньої тераси р. Дніпра (вона проходить по лінії населених пунктів: Кобища, Носівка, Ніжин). Ґрунт дослідної ділянки – чорнозем вилугуваний малогумусний легкосуглинковий. Характеризується такими агрохімічними показниками: рН_{сольов.} – 5–5,5, гідролітична кислотність – 4,3 мг-екв/100 г ґрунту, азот, що легко гідролізується, – 119 мг/кг ґрунту; нітратний та амонійний азот – 14 та 26 мг/кг ґрунту відповідно, Р₂О₅ (за Чиріковим) – 109 мг/кг ґрунту, К₂О (за Чиріковим) – 75,5 мг/кг ґрунту; гумус – 2,5%, сума поглинутих основ – 11,2 мг-екв/100 г ґрунту, ступінь насиченості основами – 72,4%.

Клімат перехідної Полісько-Лісостепової зони – помірно континентальний, теплий, м'який, з достатнім зволоженням. Характеристику погодно-кліматичних умов перехідної наведено в таблиці 1.

border between them coincides with the northern border of the continuous upper terrace of the Dnipro River in the forest-steppe zone (it runs along the line of the following settlements: Kobyshecha, Nosivka, Nizhyn). The soil in the experimental site is leached low-humus light loamy chernozem. It has the following agrochemical parameters: pH_{salt.} = 5–5.5, hydrolytic acidity = 4.3 mg-eq/100 g of soil, easily hydrolyzable nitrogen content = 119 mg/kg of soil, nitrate and ammonium nitrogen content = 14 and 26 mg/kg of soil, respectively, P₂O₅ content (determined by Chyrikov's method) = 109 mg/kg of soil, K₂O content (determined by Chyrikov's method) = 75.5 mg/kg of soil, humus content = 2.5%; absorbed base amount = 11.2 mg-eq/100 g of soil, base saturation = 72.4%.

The climate of the transitional woodlands-forest-steppe band is moderately continental, warm, and mild, with sufficient wetting. The characteristics of the weather and climate of the transitional band are summarized in Table 1.

Таблиця 1. Характеристика погодно-кліматичних умов районів досліджень

Table 1. Characteristics of the weather and climate of the study location

Зона (zone)	Показники (Parameters)							
	кількість опадів, мм (Precipitation amount, mm)		тривалість, діб (Length, days)		ГТК (НТС)	сумарна радіація, ккал/см ² (Total radiation, kcal/cm ²)	сумарна ФАР за температур, МДж/м ² (TotalFAR, MJ/m ² at)	
	с/б (lg m)	за в/п (during vp)	в/п (vp)	б/м (ff)			> 5 °C	> 10 °C
П–Л (W– FS)	575	350–400	200–205	155–165	1,5–1,6	90–95	1610–1690	1430–1480

Примітка. П–Л – Полісся–Лісостеп; с/б – середня багаторічна, в/п – вегетаційний період, б/м – без морозний період.

Note. W–FS – woodlands–forest-steppe; lg m – long-term mean, vp – vegetation period, ff – frost-free period.

Загалом погодно-кліматичні умови протягом років досліджень були строкатими. Найбільш аномальними за гідротермічними показниками були 1999, 2003, 2008 рр. Надзвичайно посушливим був жовтень 2008, 2013 та 2014 рр., протягом яких у Лісостепу випало лише 6–15 мм, у Поліссі–Лісостепу – 6–24 мм опадів. Наприклад, в умовах Полісся–Лісостепу погодні умови осені 2011 р. видалися менш сприятливими для сівби

In general, the weather in the study years was variegated. 1999, 2003, and 2008 were the most anomalous years in terms of hydrothermal parameters. October in 2008, 2013, and 2014 was extremely dry, with only 6–15 mm of precipitation in the forest-steppe and 6–24 mm in the woodlands-forest-steppe. For example, in 2011 in the woodlands-forest-steppe, the weather in the autumn seemed less favorable for sowing winter crops. The air temperature in

озимих культур. Температура повітря у літньо-осінній період перевищувала середньобогаторічну норму на 3–5°C. У поєднанні з суховіями за тривалим бездошовим періодом (за серпень випало 50% опадів від норми) це спричинило зменшення вологості посівного шару ґрунту у передпосівний час. Тривалість зимового періоду була різною, наприклад у 2018/2019 рр. вона становила 110 діб, 2019/2020 – 100, 2020/2021 – 134, 2021/2022 – 112 діб. Варто зазначити, що зимовий період 2022/2023 рр. був сприятливим для перезимівлі озимої пшениці, незважаючи на затримання сівби. Фактична сума опадів за зимовий період перевищувала середню багаторічну (131 мм) лише протягом 2018/2019 рр. на 43 мм. В цілому гідротермічні умови протягом селекційної роботи над сортом були мінливими порівняно з середньобогаторічними показниками (табл. 1), що дало змогу виокремити особливості формування елементів продуктивності і урожайності нового сорту пшениці.

Зразки пшениці LPP 3300; LPP 3348; LPP 3386 і LPP 2667 в рамках наукової співпраці надано Уманським національним університетом садівництва. Вихідний матеріал створювали методом внутрішньовидової (міжсортової, міжлінійної, сортолінійної) гібридизації рослинних форм пшениці м'якої різного еколого-географічного походження з адаптованими місцевими формами та подальшим індивідуальним добором форм за цінними господарськими ознаками гібридних популяціях. Індивідуальний добір елітних рослин за колосом в F₂, повторно – в F₃–F₄ та F₆–F₁₂ проводили за загальноприйнятою методикою [14]. Загальна площа дослідної ділянки становила 12 м², облікова – 10 м², площа виробничих ділянок – понад 2 га; розміщення ділянок – рендомізоване, повторність досліду – шестиразова. Попередниками пшениці м'якої озимої були однорічні зернові та зернобобові, зокрема просо, гречка, горох і соя на зерно. Технологія вирощування зернової культури – загальноприйнята для умов Лісостепу. Математично-статистичне обрахування даних виконували за допомогою комп'ютерних програм – Excel і Statistica 6.0. Вміст білка в зерні визначали на аналізаторі якості незбираного зерна Infratec TM на Носівській селекційно-дослідній станції Миронівського інституту пшениці ім. В. М. Ремесла НААН

the summer-autumn was higher than the long-term mean by 3–5°C. In combination with dry winds following a long rainless period (50% of the normal precipitation fell in August), this reduced the pre-sowing moisture content of the seeding layer of the soil. The winter period length was different: for example, it was 110 days in 2018/2019, 134 days in 2020/2021, 100 days in 2019/2020, and 112 days in 2021/2022. It is worth noting that the winter of 2022/2023 was favorable for overwintering winter wheat, despite delayed sowing. The precipitation amount in the winter exceeded the long-term mean (131 mm) by 43 mm in 2018/2019 only. In general, the hydrothermal profiles during the breeding work on this cultivar were variable compared to the long-term mean values (Table 1), allowing us to elucidate the peculiarities of the formation of performance and yield constituents in the new wheat cultivar.

Wheat accessions 'LPP 3300', 'LPP 3348', 'LPP 3386', and 'LPP 2667' were kindly provided by Uman National University of Horticulture as part of scientific cooperation. The starting material was created by intraspecific (inter-cultivar, inter-line, cultivar-line) hybridization of bread wheat plants of different eco-geographical origins with adapted local forms and subsequent individual selection of forms with valuable economic characteristics from hybrid populations. Based on spike characteristics, elite plants were individually selected in F₂, later in F₃–F₄, and F₆–F₁₂ by the traditional method [14]. The total area of the experimental plot was 12 m²; the record area was 10 m²; the production plots were larger than 2 ha. The plots were randomly arranged; the experiments were replicated six times. The predecessors of winter bread wheat were annual cereals or grain legumes, in particular millet, buckwheat, pea, and grain soybean. The farming technique was conventional for the forest-steppe. Data were statistically processed in Excel and Statistica 6.0. The protein content in grain was determined on a Infratec TM analyzer of unharvested grain quality at Nosivka Plant Breeding Experimental Station of the V.M. Remeslo Myronivka Institute of Wheat of NAAS of Ukraine. The bread-making properties were determined at the Yuriev Plant Production Institute of NAAS of Ukraine.

України, хлібопекарські властивості визначали в Інституті рослинництва імені В. Я. Юр'єва НААН України.

Результати та обговорення

Сорт Носівочка (заявка № 200112043 від 20.11.2020 р., свідоцтво про державну реєстрацію № 230731 від 02.10.2023 р., патент №230511 від 02.10.2023 р.) є результатом тривалої селекційної роботи, спрямованої на поліпшення генетичних характеристик пшениці м'якої озимої. За допомогою методу індивідуального добору з посівів пшениці м'якої озимої Л 59-95 було відібрано зразок з високими урожайністю зерна, стійкістю до збудників хвороб, стійкістю до вилягання, посухо- і зимостійкістю та ін. Лінію пшениці м'якої озимої Л 59-95 за результатами 3-річного випробування Національним центром генетичних ресурсів рослин України (НЦГРУ) включено до Генетичного банку рослин (номер реєстрації IR 14750W, номер національного каталогу UA0108016). За даними НЦГРУ, урожайність зерна лінії Л 59-95 в 2008 р. складала 6,25 т/га, маса 1000 зерен – 44,2 г, для сорту Альбатрос одеський – 7,3 т/га і 34,8 г відповідно; в умовах перехідної зони Лісостеп-Полісся (Чернігівська обл.) в середньому за 2005–2007 рр. урожайність зерна цієї лінії була, вищою на 11 % порівняно з показниками для сорту Донська напівкарликівка.

Комплексні дослідження, проведені на стаціонарах Носівської селекційно-дослідної станції Миронівського інституту пшениці ім. В.М. Ремесла НААН України (з 1999-2019 р. і понині), Білоцерківського національного аграрного університету МОН України (БНАУ, 2007-2016 рр.) та Інституту садівництва НААН України (2017-2020 рр.) дозволили встановити, що новий сорт позитивно реагує на дози азотних добрив 90-120 кг д.р./га, тим самим збільшуючи площу листкової поверхні рослин та, відповідно, конкуренцію з бур'янами; за норми висіву – 4,5-5,0 млн. схожих насінин/га здатний формувати високопродуктивні ценози пшениці.

За рівнем інтенсивності та типом вимог до умов вирощування сорт Носівочка можна віднести до високоінтенсивних, який характеризується поліпшеними морфологічними і агробіологічними властивостями, широкою нормою реакції за оптимізації умов вирощування, має

Results and Discussion

Cv. 'Nosivochka' (application No. 200112043 dated November 20, 2020; state registration certificate No. 230731 dated October 2, 2023, patent No. 230511 dated October 2, 2023) is a result of long-term breeding aimed at improving the genetic characteristics of winter bread wheat. By individual selection from winter bread wheat L 59-95 fields, we obtained a high-yielding, pathogen-resistant, lodging-resistant, drought-tolerant, and winter-hardy accession. Winter bread wheat line 'L 59-95' was included in the Plant Genetic Bank (registration number IR 14750W; National Catalog number UA0108016) based on the results of a 3-year trial conducted by the National Center for Plant Genetic Resources of Ukraine (NCPGRU). According to the NCPGRU's data, line 'L 59-95' yielded 6.25 t/ha of grain in 2008; the thousand kernel weight (TKW) was 44.2 g. For cv. 'Albatros Odeskyi', the figures were 7.3 t/ha and 34.8 g, respectively. In 2005–2007 in the woodlands-forest-steppe transition band (Chernihivska Oblast), this line yielded on average 11% more compared to cv. 'Donska Napivkarlykova'.

Comprehensive studies conducted within the stationary experiments at Nosivka Plant Breeding Experimental Station of the V.M. Remeslo Myronivka Institute of Wheat of NAAS of Ukraine (from 1999-2019 till the present), Bila Therkva National Agrarian University of MES of Ukraine (BTNAU, 2007-2016), and the Institute of Horticulture of NAAS of Ukraine (2017-2020) demonstrated that the new cultivar responded positively to nitrogen fertilizers at doses of 90-120 kg of AI/ha, thereby increasing the leaf surface and, accordingly, facilitating competition with weeds. At seeding rates of 4.5-5.0 million germinable seeds/ha, the cultivar can form highly productive wheat coenoses.

As to intensity level and requirements for growing conditions, cv. 'Nosivochka' can be classed as high-intensive. It is noticeable for improved morphological and agrobiological features, a wide norm of reaction under optimized growing conditions, thickened straw, conferring a fairly high resistance to lodging (8-

потовщену соломину, що зумовлює досить високу стійкість до вилягання (8-9 балів) і здатність рослинами засвоювати вищі дози азотних мінеральних добрив чи післядію органічних. Зокрема, в умовах центральної частини Правобережного і Північного Лісостепу лінія пшениці Л 59-95 здатна реалізовувати максимальну урожайність зерна – понад 8,7 т/га, а в умовах екотону Лісостеп-Полісся – в межах 9 т/га. При цьому в умовах виробництва, за дотримання сортової агротехніки, середня урожайність зерна за 2008-2017 рр. складає 6,5 т/га.

Основним джерелом для добору генотипів з цінними господарським ознаками є генетична мінливість, яка формується в гібридних популяціях. При створенні нових гібридів з використанням як батьківської і материнської форм лінії Л 59-95, відібрано популяції (Л 59-95 / Аріївка; Л 59-95 / Прасков'я; Ювівата 60 / Л 59-95; Шарада / Л 59-95; Кубус / Л 59-95; Л 59-95 / Л 41/95; КС 22-05 / Л 59-95; LPP 3300 / Л 59-95; LPP 3348 / Л 59-95; LPP 3386 / Л 59-95; LPP 2667 / Л 59-95; Л 59-95 / Чорноброва; Чорноброва / Л 59-95 та ін.), в яких у другому і третьому поколіннях визначені позитивні ступені трансгресивних рекомбінантів за кількістю зерен і масою зерна із головного колоса. Також з'ясовано, що відібрані за кількісними ознаками рекомбінанти вищезазначених популяцій виокремлюються і за якістю зерна (рис. 1).

9 points), and the ability of plants to assimilate higher doses of nitrogen mineral fertilizers or better respond to after-effects of organic fertilizers. In particular, in the Central Right-Bank and North Forest-Steppe, wheat line 'L 59-95' was able to yield maximally: over 8.7 t/ha; in the forest-steppe-woodlands ecotone, it yielded 9 t/ha. At the same time, under the production conditions, provided compliance with the cultivar-oriented farming techniques, the mean yield of grain was 6.5 t/ha in 2008-2017.

The main source for selecting genotypes with valuable economic traits is genetic variability in hybrid populations. When creating new hybrids using line 'L 59-95' as male and female forms, several populations were selected ('L 59-95' / 'Ariivka'; 'L 59-95' / 'Praskovia'; 'Yuvivata 60' / 'L 59-95'; 'Sharada' / 'L 59-95'; 'Kubus' / 'L 59-95'; 'L 59-95' / 'L41-95'; 'KS 22-05' / 'L 59-95'; 'LPP 3300' / 'L 59-95'; 'LPP 3348' / 'L 59-95'; 'LPP 3386' / 'L 59-95'; 'LPP 2667' / 'L 59-95'; 'L 59-95' / 'Chornobrova'; 'Chornobrova' / 'L 59-95', etc.). In these populations, recombinants with positive transgressions for kernel number and weight from the primary spike were detected. It was also found that these recombinants of the above-mentioned populations, which were selected according to quantitative traits, also had grains of good quality (Fig. 1).

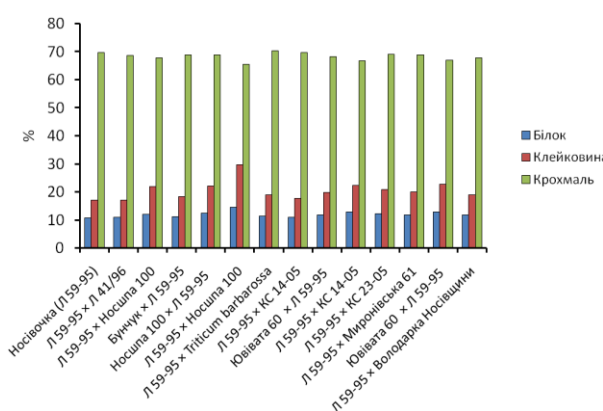


Рис. 1. Якісні показники зерна (%) трансгресивних рекомбінантів пшениці м'якої озимої, в створенні яких залучено прототип сорту Носівочка – лінію Л 59-95.

Fig. 1. Grain quality parameters (%) in the transgressive winter bread wheat recombinants derived from the prototype - cv. 'Nosivochka' (line 'L 59-95').

Note: Blue color - protein, red color - gluten, green color – starch. Gentyes (from left to right): Nosivochka (L59-95), L59-95 × L41/96, L59-95 × Nosshpa 100, Bunchuk × L59-95, Nosshpa 100 × L59-95, L59-95 × Nosshpa 100, L59-95 × Triticum barbarossa, L59-95 × KS14-05, Yuvivata 60 × L59-95, L59-95 × KS14-05, L59-95 × KS23-05, L59-95 × Myronivska 61, Yuvivata 60 × L59-95, L59-95 × Volodarka Nosivshchyn

На основі багаторічних результатів досліджень вищезазначену лінію пшениці м'якої озимої було як сорт Носівочка в 2021 р. передано на Державне сортовипробування (№ заявки 2001), а в 2023 р. внесено до Державного реєстру сортів рослин, рекомендованих до поширення в Україні.

Опис сорту Носівочка: родовід [Донська напівкарликова × (Maris Madler × Pony) × Донська напівкарликова], плоідність – гексаплоїд; різновидність – erytrospermum; тип розвитку – озимий; тривалість вегетаційного періоду — 265-293 днів, морфологічні ознаки — середньорослий (90,4-91,7 см), інтенсивність антоціанового забарвлення колеоптиля — відсутнє або дуже слабке, габітус – напівпрямий, кількість вузлів на головному стеблі – 5 шт., кількість міжвузлів – 5 шт., у т.ч. довжина 1-го міжвузля – 7 см, 2-го – 7-8 см, 3-го – 10,5-11,7 см, 4-го – 20-22 см, 5-го – 25,7-26,7 см; кількість листків – 5 шт., довжина прапорцевого листка – 13,2-20,5 см, ширина – 1,3-1,4 см; кут нахилу прапорцевого листка від стебла – 70; довжина 2-го листка – 21-24,4 см, ширина – 0,9-1 см; колір листків – світло-зелений, відстань від 1-го вузла до колоса – 7-13 см, інтенсивність антоціанового забарвлення вушок прапорцевого листка – відсутнє або дуже слабке, восковий наліт на прапорцевому листку – дуже слабкий, язичок – наявний, за розмірами середній, вушка наявні, за формою – гострі, кількість рослин із зігнутих прапорцевим листком – середня, час початку колосіння – ранній, восковий наліт на піхві прапорцевого листка – слабкий, восковий наліт на колосі – відсутній або дуже слабкий, восковий наліт на верхньому міжвузлі соломини – слабкий, рослина за висотою – середня (рис. 2), соломини за виповненістю – слабовиповнені, форма колосу – пірамідальна, колос за щільністю – середній, колос за довжиною – середній, остюки на колосі – наявні, забарвлення колоса – біле або солом'яно-жовте (рис. 3), опушення опуклої поверхні соломини – наявне, плече нижньої колоскової луски за шириною – середнє, за формою – скошене, зубець за довжиною – довгий і за формою – середньозігнутий, кіль нижньої квіткової луски – відсутній, опушення зовнішньої і внутрішньої поверхні нижньої колоскової луски – слабке, зернівка – червона, зернівка за довжиною – довга і шириною – широка, крупна (рис. 4), маса 1000 зерен – 49,5-52,8 г. Тип розвитку сорту – озимий.

Based on the results of multi-year research, the above-mentioned winter bread wheat line was submitted as cv. 'Nosivochka' to the State variety trials (application No. 2001) in 2021 and it was included in the State Register of Plant Varieties recommended for dissemination in Ukraine in 2023.

Description of cv. 'Nosivochka': pedigree ['Donska Napivkarlukova' × ('Maris Madler' × 'Pony') × 'Donska Napivkarlukova']; ploidy – hexaploid; variety – erytrospermum; growth habit – winter; growing period — 265-293 days; morphological features — medium-tall (90.4-91.7 cm), anthocyanin pigmentation — no or slight, habitus (bush shape) — semi-erect, number of nodes on the primary stem — 5, number of internodes – 5, length of the 1st internode – 7 cm, length of the 2nd internode – 7-8 cm, length of the 3rd internode – 10.5-11.7 cm, length of 4th internode – 20-22 cm, length of the 5th internode – 25.7-26.7 cm, number of leaves — 5, flag leaf length — 13.2-20.5 cm, flag leaf width — 1.3-1.4 cm, the angle of declination of the flag leaf from the stem — 70; length of the 2nd leaf — 21-24.4 cm, width of the 2nd leaf — 0.9-1 cm, color of the leaves — light-green, 1st node -spike distance — 7-13 cm, anthocyanin pigmentation of the flag leaf auricle — no or slight, wax coating on the flag leaf — slight, ligule — medium-sized, auricles — sharply shaped, number of plants with bent flag leaves — moderate, earing onset — early, wax coating on the flag leaf sheath — slight, wax coating on the spike — no or slight, wax coating on the upper internode of the straw — slight, plant height — medium-tall (Fig. 2), straw — sparsely filled, spike shape — pyramidal, spike density — medium, spike length — medium, awns on the spike — yes, spike color — white or stramineous (Fig. 3), pubescence of the convex surface of the straw — yes, lower glume shoulder — medium-wide and declivous, tooth — long and moderately bent, lemma keel — no, pubescence on the outer and inner surfaces of the lower glume — slight, caryopsis — red, long, wide, and large

(Fig. 4), thousand kernel weight — 49.5-52.8 g.



Рис. 2. Рослини пшениці м'якої озимої сорту Носівочка
Fig. 2. Winter bread wheat cv. 'Nosivochka' plants



Рис. 3. Колос рослин сорту Носівочка (138) порівняно з колосами інших сортів (Ювівата 60 (147); Аналог (145); Валенсія (141); Ювівата х Л 41/95 (102); Володарка Носівщини (142)
Fig. 3. Spikes of cv. 'Nosivochka' plants (138) compared to spikes of other cultivars ('Yuvivata 60' (147); 'Analog' (145); 'Valensia' (141); 'Yuvivata' x 'L 41/95' (102); 'Volodarka Nosivshchyny' (142)



Рис. 4. Зерно пшениці м'якої озимої сорту Носівочка
Fig. 4. Winter bread wheat cv. 'Nosivochka' grain

За результатами Державного сортовипробування в середньому за 2022 рік сорт Носівочка за урожайністю зерна перевищував умовний стандарт в середньому на 0,65 т/га, в т.ч. на 0,78 т/га в Поліссі, 0,81 – в Лісостепу і 0,35 – в Степу України (табл. 2).

According to the results of the State variety trial in 2022, cv. 'Nosivochka' yielded on average 0.65 t/ha of grain more than the conventional check cultivar, including plus 0.78 t/ha in the woodlands, 0.81 in the forest-steppe, and 0.35 in the steppe of Ukraine (Table 2).

Таблиця 2. Характеристика пшениці м'якої озимої сорту Носівочка за урожайністю зерна та масою 1000 зернівок (за даними результатів польових досліджень кваліфікаційної експертизи сорту на придатність до поширення Українського інституту експертизи сортів рослин Мінагрополітики та продовольства України, проведеними в 2022 р.)

Table 2. Grain yield and thousand kernel weight in winter bread wheat cv. 'Nosivochka' (according to the results of field studies conducted in 2022 within the qualification examination of varieties for suitability for dissemination by the Ukrainian Institute for the Examination of Plant Varieties of the Ministry of Agriculture and Food of Ukraine)

Природно-кліматична зона (natural and climatic zone)	Показник (Parameter)	Сорт Носівочка (Cv. 'Nosivochka')	Умовний стандарт (Conventional check cultivar)	± від стандарту (± to the conventional check cultivar)
Полісся (Woodlands)	Урожайність зерна, т/га (Grain yield, t/ha)	6,8	6,02	0,78
	Маса 1000 зерен, г (Thousand kernel weight, g)	48,9	47,9	0,1
Лісостеп (Forest-steppe)	Урожайність зерна, т/га (Grain yield, t/ha)	7,57	6,76	0,81
	Маса 1000 зерен, г (Thousand kernel weight, g)	51,7	50,6	1,1
Степ (Steppe)	Урожайність зерна, т/га (Grain yield, t/ha)	5,55	5,2	0,35
	Маса 1000 зерен, г (Thousand kernel weight, g)	47,3	45,3	2,0

З'ясовано, що урожайність зерна нового сорту в областях зони Полісся така: в умовах Рівненської – 7,78 т/га, Волинської – 7,4, Чернігівської – 6,52 т/га, при масі 1000 зерен 52,7-55 г. В умовах Західної України

In the woodlands regions, the new cultivar yielded as follows: in the Rivnenska Oblast - 7.78 t/ha of grain, in the Volynska Oblast - 7.4 t/ha, in the Chernihivska Oblast - 6.52 t/ha, with TKW of 52.7-55 g. In the West

виокремилися показники урожайності в Івано-Франківській – 7,39 та Львівській областях – 6,07 т/га, тоді як в умовах Закарпаття – 5,61 т/га.

В умовах Лісостепу найвищу урожайність зерна нового сорту отримано в Харківській – 10,62 т/га (маса 1000 зерен, МТЗ – 59,3 г), Сумській – 9,16 (МТЗ – 49,4 г) і Черкаській – 9,01 т/га (МТЗ – 53,3 г) областях. Вища від середньої урожайність була отримана в умовах Вінницької області – 7,0 т/га (МТЗ – 51,6 г), Тернопільської – 6,86 (МТЗ – 48,2 г) і Чернівецької області – 6,76 т/га (МТЗ – 62,4 г). Найменші показники урожайності зерна (3,55 т/га) і маси 1000 зерен (37,1 г) одержано в умовах Білоцерківського району Київської області.

В умовах Степу найвищу урожайність зерна отримано в Кіровоградській (8,18 т/га) і Дніпропетровській (7,95 т/га) областях.

Слід відзначити, що за вмістом білка в зерні новий сорт був на рівні або дещо перевищував умовний стандарт і становив для умов Степу – 12,45 %, Лісостепу – 13,13 і Полісся – 12,5 %. За даними Українського інституту експертизи сортів рослин у 2023 р. урожайність сорту Носівочка перевищує усереднену урожайність сортів, що пройшли державну реєстрацію за останні 5 років у зонах Степу, Лісостепу і Полісся (рис. 5).

of Ukraine, the greatest yields were harvested in the Ivano-Frankivska (7.39 t/ha) and Lvivska (6.07 t/ha) Oblasts, while in the Transcarpathia, 5.61 t/ha was harvested.

In the forest-steppe, the new cultivar produced the greatest yield of grain in the Kharkivska (10.62 t/ha, TKW = 59.3 g), Sumska (9.16 t/ha, TKW = 49.4 g), and Cherkaska (9.01 t/ha, TKW = 53.3 g) Oblasts. An above-average yield was harvested in the Vinnytska (7.0 t/ha, TKW = 51.6 g), Ternopil'ska (6.86 t/ha, TKW = 48.2 g), and Chernivetska (6.76 t/ha, TKW = 62.4 g) Oblasts. The smallest yield of grain (3.55 t/ha) and thousand kernel weight (37.1 g) were recorded in the Bilotserkivskiy District of the Kyivska Oblast.

In the steppe, the greatest yield of grain was harvested in the Kirovohradska (8.18 t/ha) and Dnipropetrovska (7.95 t/ha) Oblasts.

It should be noted that the protein content in the grain of the new cultivar was equal to or slightly higher than that in the grain of the conventional check cultivar, amounting to 12.45% in the steppe, 13.13% in the forest-steppe, and 12.5% in the woodlands.

According to the 2023 data of the Ukrainian Institute for Examination of Plant Varieties, the yield from cv. 'Nosivochka' exceeded the average yield of the cultivars that passed state registration for the steppe, forest-steppe, and woodlands within the last 5 years (Fig. 5).

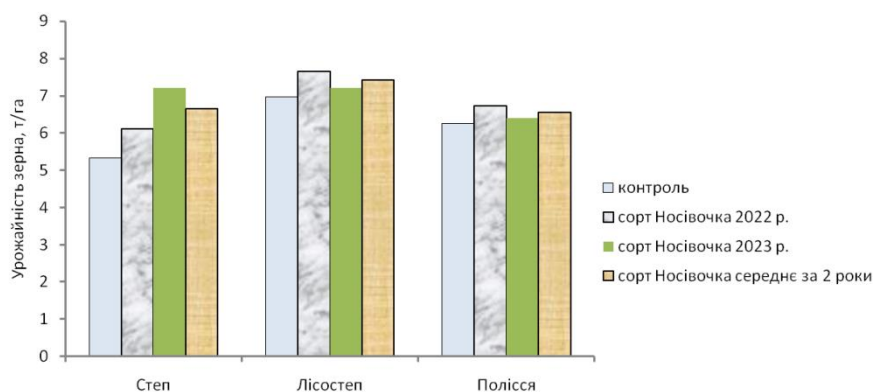


Рис. 5. Урожайність зерна пшениці м'якої озимої сорту Носівочка порівняно з контролем (сорта, що пройшли державну реєстрацію за останні 5 років у зонах Степу, Лісостеп, Полісся) за результатами Державного сорто випробування

Fig. 5. Grain yield from the winter bread wheat cv. 'Nosivochka' compared to the control (cultivars that have passed state registration for the steppe, forest-steppe, and woodlands within the last 5 years) according to the results of the State variety test.

Note. On axis X: Grain yield, t/ha; On axis Y: Steppe, Forest-steppe, Woodlands. Options from left to right: Control, Cv. 'Nosivochka' in 2022, Cv. 'Nosivochka' in 2023, Cv. 'Nosivochka', mean for the two years.

Варто відзначити, що в 2023 р. найвищу урожайність сорту зерна сорту Носівочка зафіксовано в Тернопільській, Кіровоградській, Черкаській, Сумській і Івано-Франківській обл. – 10,1, 8,4, 8,2, 8,1 і 8,07 т/га, відповідно (рис. 6).

It is noteworthy that the highest yield of grain from cv. 'Nosivochka' in 2023 was harvested in the Ternopil'ska, Kirovohrad'ska, Cherkaska, Sumska, and Ivano-Frankiv'ska Oblasts: 10.1, 8.4, 8.2, 8.1, and 8.07 t/ha, respectively (Fig. 6).

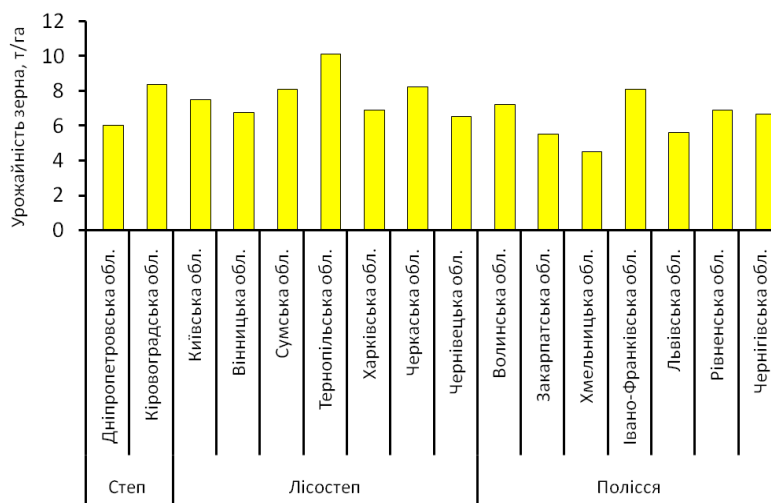


Рис. 6. Урожайність зерна пшениці м'якої озимої сорту Носівочка за результатами Державного сортовипробування

Fig. 6. Grain yield of soft winter wheat variety Nosivochka according to the results of the State variety test Note. Note. On axis X: Grain yield, t/ha; On axis Y: Options from left to right: Steppe - Dnipropetrovska Obl., Kirovohrad'ska Obl.; Forest-steppe - Kyiv'ska Obl., Vinnytska Obl., Sumska Obl., Ternopil'ska Obl., Kharkiv'ska Obl. Cherkaska Obl., Chernivetska Obl., Woodlands - Volyn'ska Obl., Zakarpatska Obl., Khmelnytska Obl., Ivano-Frankiv'ska Obl., Lviv'ska Obl., Rivnenska Obl., Chernihiv'ska Obl.

На Носівській СДС МІП НААН в 2023 р. показники елементів продуктивності та урожайності і якості зерна сорту Носівочка перевищувала або була на рівні кращих сортів (табл. 3, 4).

In 2023 at Nosivka Plant Breeding Experimental Station of the V.M. Remeslo Myronivka Institute of Wheat of NAAS of Ukraine, the performance, grain yield, and grain quality of cv. 'Nosivochka' were better than or similar to those of the best cultivars (Tables 3 and 4).

Таблиця 3. Урожайність зерна та продуктивність рослин сорту Носівочка (Носівська СДС МІП, 2023)

Table 3. Grain yield and plant performance of cv. 'Nosivochka' (Nosivka Plant Breeding Experimental Station of the V.M. Remeslo Myronivka Institute of Wheat of NAAS of Ukraine)

Назва сорту (Cultivar)	Урожайність зерна, т/га (Grain yield, t/ha)	Кількість квіток у колосі, шт. (Number of flowers per spike)	Кількість зерен у колосі, шт. (Number of kernels per spike)	Маса зерен з колоса, г (Weight of kernels per spike, g)	Маса 1000 зерен, г (Thousand kernel weight, g)
Аналог (Analog)	9,6	68	63	5,4	52,8
МІП Валенсія (MIP Valensia)	11,0	58	54	5,6	50,5
Ювівата 60 (Yuvivata 60)	12,0	64	60	5,6	52,7
Носівочка (Nosivochka)	11,0	66	58	5,2	52,5
HP05 (LSD05)	0,9	4,0	3,5	0,2	1,0

Таблиця 4. Якість зерна пшениці м'якої озимої сорту Носівочка (Носівська СДС МП, 2023)

Table 4. Grain quality in winter bread wheat cv. 'Nosivochka' (Nosivka Plant Breeding Experimental Station of the V.M. Remeslo Myronivka Institute of Wheat of NAAS of Ukraine, 2023)

Назва сорту (Accession)	Вміст білка, % (Protein content, %)	Вміст клейковини, % (Gluten content, %)	Вміст крохмалю, % (Starch content, %)
Аналог (Analog)	12,57	22,4	68,5
МП Валенсія (MP Valensiia)	11,5	19,2	67,4
Ювівата 60 (Yuvinata 60)	12,08	20,5	67,5
Носівочка (Nosivochka)	10,82	17,0	69,7
MP ₀₅ (LSD ₀₅)	0,7	2,1	1,3

Варто зазначити, що за якісними показниками зерна сорт Носівочка у Степу, Лісостепу, Поліссі – філер. Фізичні та фізико-хімічні дослідження зерна, борошна, тіста і хліба показали, що борошномельні і хлібопекарські властивості Л 59-95 хороші і відмінні: натура – 750 г/л, загальна склоподібність – 34 %, вміст білка в зерні – 13,9–14,5 %, вміст клейковини у борошні – 28,5 %, група якості клейковини – II, ВДК – 95, пружність і розтяжність тіста – 75 і 84 мм відповідно; сила борошна – 216-250 о.а., індекс еластичності – 45 %, об'ємний вихід хліба з 100 г борошна – 630-850 мл, зовнішній вигляд хліба (бал): поверхня, форма, колір кірки, загальна оцінка, колір м'якуша, еластичність м'якуша і загальна хлібопекарська оцінка по 9 балів, відповідно (рис. 7).

It is worth noting that in terms of grain quality, cv. 'Nosivochka' grown in the steppe, forest-steppe, or woodlands is a filler. Physical and physico-chemical analyses of grain, flour, dough, and bread showed that the flour-milling and bread-baking properties of line 'L 59-95' were good or excellent: test weight - 750 g/L, total vitreousness - 34%, protein content in grain - 13.9– 14.5%, gluten content in flour - 28.5%, gluten quality group - II, GDI - 95, dough resilience and stretchability - 75 and 84 mm, respectively; flour strength (W-index) - 216-250, elasticity index - 45%, loaf volume from 100 g of flour - 630-850 cm³, loaf appearance score - surface, shape, crust color, crumb color, crumb elasticity and overall bread-making score - 9 points, each (Fig. 7).



Рис. 7. Хліб, випечений із пшениці м'якої сорту Носівочка, 2015 р.

Fig. 7. Loaf baked from bread wheat cv. 'Nosivochka' flour, 2015.

Індикаційними показниками адаптивності та стресостійкості є маркерні білки, детерміновані за продуктами ампліфікації гена Glu-D1, локуси яких розміщені на довгих плечах хромосоми 1 D пшениці. Про наявність високомолекулярних субодиниць глютенінів, зокрема, алеля Glu-D1

Marker amplicons of the Glu-D1 gene located on the long arm of wheat chromosome 1 D are indicators of adaptability and stress tolerance. The presence of high-molecular subunits of glutenins encoded by the Glu-D1 5+10 allele was proven by detection of 397 bp and 281 bp amplicons and the presence of the

5+10 свідчать амплікони 397 та 281 п.н., а алеля Glu-D1 2+12 – амплікони 415 та 299 п.н. Амплікон 563 п.н. спостерігався в сорті Носівочка. Ключову роль в активації генів і синтезі стресових білків під впливом стрес-чинників, зокрема посухи, відіграють продукти генів Dreb 1s (dehydration responsive element binding factors 1) [18]. В результаті наших досліджень встановлено, що у сорту Носівочка наявні гени посухостійкості Dreb1, локалізовані в хромосомі 3В, про що свідчить наявність амплікону 717 п.н. Тому виявлення генів Dreb 1 на 3D-хромосомі та інших генів саме для сорту Носівочка є предметом подальших досліджень [15, 16].

Висновки

Створено новий сорт пшениці м'якої озимої Носівочка, що характеризується раннім часом початку колосіння (до середнього), довгим колосом, червоним забарвленням зернівки, проявом таких показників господарської придатності у зонах Степу, Лісостепу і Полісся як урожайність (за стандартної вологості 14%) – 6,1, 7,65 і 6,72 т/га, тривалість періоду вегетації – 273, 267 і 266 діб, висота рослин – 86,3, 86 і 90,2 см, маса 1000 зерен – 48,2, 50,9 і 50,6 г, вміст білка – 13,6, 13,1 і 13,5 %, вміст сирової клейковини – 27,9, 26,3 і 26,5 %, показник альвеографа (W) – 250,5, 241 і 245,5 а.о., об'єм хліба зі 100 г борошна – 790, 770 і 840 мл, стійкість до вилягання – 9, 7 і 8 балів, стійкість до обсіпання – 8, 7 і 9 балів, стійкість до посухи – по 7 балів, стійкість проти борошнистої роси – 9, 6 і 5 балів, стійкість проти бурої іржі – 9, 8, і 7 балів, стійкість проти фузаріозу колоса – 8, 9 і 7 балів, стійкість проти шведської мухи і клопа-черепашки – по 9 балів, стійкість проти летючої і твердої сажки – по 9 балів, відповідно.

Показано, що сорт Носівочка формує високу урожайність зерна понад 9-11 т/га в умовах Харківської, Сумської і Черкаської областей. Найвищі показники маси 1000 зерен отримано в умовах Чернівецької області (62,4 г) і Харківської області (>59 г). З'ясовано, що в умовах Чернігівської області новий сорт пшениці м'якої озимої за дотримання рекомендованих елементів технології вирощування формує урожайність 8-9 т/га (в окремі роки до 11 т/га), при масі 1000 зерен – 50-53 г.

На основі попередніх досліджень

Glu-D1 2+12 allele was evidenced by 415 bp and 299 bp amplicons. A 563 bp amplicon was found in cv. 'Nosivochka'. The Dreb 1s (dehydration responsive element binding factors 1) gene products play a key role in gene activation and synthesis of stress proteins under the influence of stressors, in particular drought [18]. In our study, it was shown that cv. 'Nosivochka' had the Dreb1 drought tolerance genes localized on chromosome 3B, as evidenced by the presence of a 717 bp amplicon. Therefore, the objective of further research is the detection of the Dreb 1 genes on chromosome 3D and other genes in cv. 'Nosivochka' [15, 16].

Conclusions

A new winter bread wheat cultivar, 'Nosivochka', was bred. It is characterized by early or medium earing onset, has long spikes and red caryopses. It shows the following indicators of economic suitability in the steppe, forest-steppe and woodlands (at a standard humidity of 14%): yield of 6.1, 7.65, and 6.72 t/ha, respectively; vegetation period of 273, 267, and 266 days, respectively; plant height of 86.3, 86, and 90.2 cm, respectively; thousand kernel weight of 48.2, 50.9, and 50.6 g, respectively; protein content of 13.6, 13.1, and 13.5%, respectively; crude gluten content of 27.9, 26.3, and 26.5%, respectively; W-index of 250.5, 241, and 245.5, respectively; loaf volume from 100 g of flour of 790, 770, and 840 cm³, respectively; lodging score of 9, 7, and 8 points, respectively; shedding resistance score of 8, 7, and 9 points, respectively; drought tolerance score of 7 points in each zone; powdery mildew resistance score of 9, 6, and 5 points, respectively; brown rust resistance score of 9, 8, and 7 points, respectively; Fusarium head blight resistance score of 8, 9, and 7 points, respectively; scores of resistance to frit fly and shield-backed bug of 9 points in each zone; scores of resistance to loose and head smuts of 9 points in each zone.

It was demonstrated that cv. 'Nosivochka' yielded over 9-11 t/ha of grain in the Kharkivska, Sumska, and Cherkaska Oblasts. The greatest thousand kernel weight was recorded in the Chernivetska (62.4 g) and Kharkivska (>59 g) Oblasts. It was found that the new winter bread wheat cultivar, provided adherence to the recommended cultivation technology, yielded 8-9 t/ha (in some years up

встановлено, що сорт Носівочка містять цінні алелі Glu-D1 5+10 і Glu-D1 2+12, що визначають показники не лише високої хлібопекарської якості борошна, але й важливих адаптивних ознак.

За результатами Державного сортовипробування географічні та зонові рекомендації використання сорту – Лісостеп і Полісся України.

to 11 t/ha) in the Chernihivska Oblast, with a thousand kernel weight of 50-53 g .

In a previous study, it was elucidated that cv. 'Nosivochka' was a carrier of the valuable Glu-D1 5+10 and Glu-D1 2+12 alleles, which determine not only high bread-making quality of flour but also important adaptive traits.

Based on the findings of the State variety trials, the geographical and zonal recommendations for this cultivar specify that it can be grown in the forest-steppe and woodlands of Ukraine.

References

1. Tyshchenko V.N., Chekalyn N.M. Genetic basics of adaptive breeding of winter wheat: monograph. Poltava: PDAA, 2005. 243 p. [in Ukrainian]
2. Zhemela H.P. Problems of winter wheat breeding for grain quality. *Naukovi Pratsi Poltavskoi Derzhavnoi Ahramoi Akademii*. 2005. Vol. 4 (23). P. 3-7. [in Ukrainian]
3. Bakuma A.O., Chebotar H.O., Tkachuk A. V., Chebotar S.V., Moskalets T.Z., & Moskalets V.V. Allelic status of the Ppd-1 genes controlling photoperiod sensitivity in some common winter wheat genotypes. *Sortovyvchennia ta Okhorona Prav na Sorty Roslyn*, 2020. 16(3), 253–261. <https://doi.org/10.21498/2518-1017.16.3.2020.214926> [in Ukrainian]
4. Afzal M., Sielaff, M., Curella, V., Neerukonda, M., Hassouni, K., Schuppan, D., Tenzer, S., Friedrich, C., & Longin, H. Characterization of 150 Wheat Cultivars by LC-MS-Based Label-Free Quantitative Proteomics Unravels Possibilities to Design Wheat Better for Baking Quality and Human Health. *Plants*, 2021. 10 (3), 424. <https://doi.org/10.3390/plants10030424>
5. Crespo-Herrera, L. A., Garkava-Gustavsson, L., & Ahman, I. A systematic review of rye (*Secale cereale* L.) as a source of resistance to pathogens and pests in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Hereditas*, 2017. 154(14), 14–23. doi: 10.1186/s41065-017-0033-5
6. Lykhochvor V. V. The role of a variety in increasing winter wheat grain yield and quality depending on cultivation technologies. *Visnyk Lvivskoho Natsionalnoho Ahramoho Universytetu: Ahronomiia* [Visnyk of Lviv National Agrarian University: Agronomy], 2012. 16. 200–210. [in Ukrainian]
7. Moskalets T. Z. Stability and plasticity of wheat genotypes in the forest-steppe ecotope. *Visnyk Ukrainiskoho Tovarystva Henetykiv i Seleksioneriv* [Bulletin of the Ukrainian Society of Genetics and Breeders]. 2015. 13, 1. 51–56. [in Ukrainian]
8. Rybalka O.I., Morhun V.V., Morhun B.V., Polishchuk S.S. Genetic basics of a new direction in the breeding of original wheat (*Triticum aestivum* L.) and triticale (x *Triticosecale* Wittmack) classes in terms of grain quality. *Fiziolohiia Roslyn i Henetyka* [Plant Physiology and Genetics]. 2019. Vol. 51, No 3. P. 207-240. doi: <https://doi.org/10.15407/frg2019.03.207> [in Ukrainian]
9. Ivanova Y.N., Solovey L.A., Loginova D.B., Miroshnikova E.E., Dubovets N. I., & Silkova O. G. The creation and characterization of the bread wheat line with a centric translocation t2dl.2rl. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*, 2019. 723, 846. Doi: 10.18699/VJ19.558
10. Liubych V., Novikov V., Polianetska I., Usyk S., Petrenko V., Khomenko S., Zorunko V., Balabak O., Moskalets V. & Moskalets T. Improvement of the process of hydrothermal treatment and peeling of spelt wheat grain during cereal production. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2019. 3(11), 40–51. Doi: 10.15587/1729-4061.2019.170297
11. Kozub N.A., Sozinov I.A., Karelov A.V., Bidnyk H.Y., Demianova N.A., Sozinova O.I., Blume Y.B. & Sozinov A.A. Studying recombination between the 1RS arms from the rye *Petkus* and *Insave* involved in the 1BL.1RS and 1AL.1RS translocations using storage protein

- loci as genetic markers. *Cytology and Genetics*, 2018, 52(6), 440–447. Doi: 10.3103/S0095452718060063
12. Pronin D., Börner A. & Scherf K. Old and modern wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars and their potential to elicit celiac disease. *Food Chemistry*, 2021, 339, 127952. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127952>
 13. State Register of Plant Varieties suitable for dissemination in Ukraine for 2023. (Ministry of Agrarian Policy and Food of Ukraine). Kyiv, 2023. 523 p. Valid as of 01/27/2023. [in Ukrainian]
 14. Volkodav, V. V. (Ed.). (2000) Methods of State variety trials of agricultural crops. Issue 1. General part. P. 10–50. Kyiv: Alefa. [in Ukrainian]
 15. Moskalets T.Z., Vasylykivskyi S.P., Morgun B.V. et al. New genotypes and technological indicators of winter triticale. *Biotechnologia Acta*. 2016. Vol. 9, No. 1. P. 79-86. DOI: 10.15407/biotech9.01.079
 16. Common wheat and winter triticale breeding at Nosivka Plant Breeding Experimental Station: methodological aspects of scientific research and significant achievements: monograph / V.I. Moskalets, T.Z. Moskalets, V.V. Moskalets, O.I. Buniak. Ed. by V.V. Moskalets. Nizhyn: Vydavets Lysenko M.M., 2023. 442 p. [in Ukrainian]

Received 29.01.2024

УДК 633.111.1: 631.562

О.Ю. Леонов, О.О. Скрипник, З.В. Усова*,
К.Ю. Суворова, М.М. Хухрянська

Успадкування виходу насіння крупної фракції гібридами пшениці м'якої озимої

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

*E-mail: ppiww2017@gmail.com

UDC 633.111.1: 631.562

O.Yu. Leonov, O.O. Skrypnyk, Z.V. Usova*,
K.Yu. Suvorova, M.M. Khukhrianska

Inheritance of Large Seed Fraction Output by Winter Bread Wheat Hybrids

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

*E-mail: ppiww2017@gmail.com

Реферат: Нерівноцінність насіння в насінневому матеріалі розглядається як одна із причин зниження урожаю. Метою роботи було встановлення закономірностей характеру успадкування виходу крупної фракції насіння у нащадків від схрещування сортів з різним виходом означеної фракції. Для досліджень використовували сорти: Привітна з високим виходом насіння фракції 2,8+ мм (73,3 %), Краса ланів з низьким виходом насіння крупної фракції (57,4 %), Альянс і Запашна з середніми значеннями показника (відповідно, 66,8 % та 64,0 %). Схрещування проводили за повною діалельною схемою, частота та ступінь трансгресій визначалися у третьому поколінні. Найнижчу частоту трансгресії за виходом крупної фракції насіння мали гібридні комбінації, створені за участю батьків з граничними проявами ознаки. Комбінація зразків з низьким та середнім значенням виходу крупної фракції насіння збільшувала як частоту, так і ступінь трансгресії. Перспективними для селекції за даною ознакою стали гібридні комбінації між батьківськими компонентами з високим та середнім виходом крупної фракції. Високу частоту та ступінь трансгресії за врожайністю визначено у гібридних комбінаціях створених без участі найпродуктивнішого сорту Запашна. Таким чином, перспективними для селекції за ознакою виходу крупної фракції насіння виявились гібридні комбінації – Альянс/Привітна та Привітна/Альянс (частота трансгресій — 22 та 14 %, ступінь – 12,0 та 17,3 %); за ознакою врожайність — Альянс/Привітна, Привітна/Альянс, Краса ланів/Альянс та Альянс/Краса ланів (частота трансгресій — 10, 16, 24, 24 %, ступінь – 16,9, 21,5, 28,5, 14,7). При схрещуванні між собою сортів із низьким або середнім виходом крупної фракції насіння знижується значення виходу крупної фракції, але підвищується вихід середньої та дрібної фракції. Комбінування зразків з низьким та середнім значенням виходу крупної фракції насіння збільшує як частоту, так і ступінь трансгресій.

Ключові слова: *Triticum aestivum*, фракція, трансгресія, врожайність, насіння.

Abstract: Nonequivalence of seeds to be sown is considered as a cause of reduced yields. The purpose of this study was to establish the inheritance patterns of the large seed fraction output by the offspring from crossing cultivars with various outputs of the large fraction. The following cultivars were used for the research: 'Pryvitna' with a high output of the large seed fraction (2.8+ mm fraction; 73.3%), 'Krasa Laniv' with a low output of the large seed fraction (57.4%), 'Alians' and 'Zapashna' with moderate outputs (66.8% and 64.0%, respectively). The cultivars were crossed in a complete diallel scheme. The transgression frequency and degree were determined in the third generation. Hybrid combinations originated from parents with boundary values of the trait had the lowest frequency of transgression for the large seed fraction output. Combinations of accessions with low and moderate outputs of the large seed fraction increased both the frequency and degree of transgression. Hybrid combinations between parents with high and moderate outputs of the large seed fraction are promising for the breeding for this trait. High frequency and degree of transgression for yield were recorded for in hybrid combinations created

without the most productive cv. 'Zapashna'. Thus, hybrid combinations 'Alians'/'Pryvitna' and 'Pryvitna'/'Alians' appeared to be promising for the breeding for the "large seed fraction output" trait (frequency of transgressions = 22 and 14%; degree = 12.0 and 17.3%, respectively); combination 'Alians'/'Pryvitna', 'Pryvitna'/'Alians', 'Krasa Laniv'/'Alians' and 'Alians'/'Krasa Laniv' seemed promising for the breeding for the "yield" trait (frequency of transgressions = 10, 16, 24, and 24%; degree = 16.9, 21.5, 28.5, and 14.7, respectively). When crossing cultivars with a low or moderate output of the large seed fraction, the large fraction output was reduced, but the outputs of the medium and small seed fractions were increased. In combinations of accessions with low and moderate outputs of the large seed fraction, both the frequency and degree of transgressions were increased.

Key words: Triticum aestivum, fraction, transgression, yield, seeds.

Вступ

В аграрній політиці України зерно є стратегічним продуктом і барометром стану сільського господарства, де серед зернових культур пшениця займає центральне місце [1]. Аграрії всіх областей України у 2023 році намолотили 57,6 млн тон зернових і олійних культур, з них 39,228 млн тон зернових, урожайність пшениці становила 4,76 т/га [2]. Основним завданням аграрного сектору країни є збільшення виробництва зерна з високими показниками якості. Важливо не тільки виростити високий врожай, але й отримати крупне і вирівняне насіння, яке в потомстві збереже цінні властивості сорту [3]. Економічно вигідним для сільгоспвиробника є вихід насіння у кількості 60–70 % валового збору збіжжя. За рахунок добору біологічно сильнішого насіння можна істотно впливати як на показники якості посівного матеріалу, так і на продуктивність культури.

У процесі підготовки та очищення насіння пшениці м'якої озимої застосовують решета з різними розмірами отворів. Основна мета сортування – видалення дрібного і щуплого насіння та виділення для сівби найбільш повноцінного, крупного, важчого і вирівняного насіння з високим його виходом [4]. Нерівноцінність насіння в насінневному матеріалі розглядається як одна із причин, що призводить до зниження врожаю [5]. Вимогами ДСТУ 4138:2002 до кондиційного насіння передбачено використання решіт (нижніх) з розмірами 1,7–2,0 мм [6]. На практиці використання решіт з параметрами не менше 2,2 мм, дає змогу збільшити врожайні властивості пшениці та підвищити показник чистого прибутку [7-9]. В Інституті рослинництва ім. В.Я. Юр'єва НААН вивчення залежності між розміром фракції і показниками якості насіння 26 сортів пшениці м'якої озимої харківської селекції показало, що чим крупніша фракція, тим більша маса 1000 зерен, енергія

Introduction

Grain is a strategic product and a barometer of the agriculture state in the agrarian policy of Ukraine, where wheat occupies a central place among cereals [1]. In 2023, farmers of all regions of Ukraine threshed 57.6 million tons of cereals and oilseeds, including 39.228 million tons of cereals. The wheat yield was 4.76 t/ha [2]. The main objective of the agrarian sector of the country is to increase the top quality grain production. It is important to grow not only a high yield but also large and uniform seeds, which will manifest valuable features of a cultivar in the offspring [3]. Seed outputs of 60–70% of the bread cereal croppage are economically profitable for farmers. Due to the selection of biologically stronger seeds, one can significantly influence both the quality of seeds to be sown and the crop performance.

Sieves with various sizes of holes are used for preparing and cleaning winter bread wheat seeds. The primary purpose of sorting is to remove small and shriveled kernels and to select the plumpest, largest, heaviest, and most uniform seeds with a high output for sowing [4]. Nonequivalence of seeds to be sown is considered a cause of reduced yields [5]. The DSTU 4138:2002 requirements for certified seeds specify the use of (lower) sieves with holes of 1.7–2.0 mm [6]. In practice, the use of sieves with holes of at least 2.2 mm makes it possible to increase the wheat yield capacity and the net profit [7-9]. In the Yuriev Plant Production Institute of NAAS, studies of relationships between fraction size and seed quality in 26 Kharkiv-bred winter bread wheat cultivars showed that the larger the fraction was, the greater the thousand kernel weight, germination energy and seed germinability were [10, 11]. In three testing years, the thousand kernel weight for seeds that were selected on a 2.8 × 20 mm

проростання та схожість насіння [10, 11]. За три роки випробування насіння, яке було виділене на ситах розміром $2,8 \times 20$ мм, мало масу 1000 зерен більшу на 9,9 г, енергію проростання на 1,1% порівняно з фракцією $2,5 \times 20$ мм і на 1,6% порівняно з фракцією $2,2 \times 20$ мм; виділене на ситах розміром $2,8 \times 20$ мм мало вищу схожість на 1,3% в порівнянні з фракцією $2,5 \times 20$ мм та на 1,7% в порівнянні з фракцією $2,2 \times 20$ мм [12]. Чіткі розбіжності між сортами спостерігались і за виходом насіння різних фракцій, особливо крупної і дрібної. Більше 70 % сходу з сит 2,8 мм забезпечували тільки два сорти: Здобна та Привітна. Нижчим за 60% вихід крупної фракції був у сортів Диво, Гармоніка, Краса ланів, Розкішна, Метелиця харківська, ліній Еритроспермум 408-13, Лютесценс 217-13, стародавнього сорту Феругінеум 1239 та стандартів Смуглянка, Бунчук, Єдність. Відповідно, у названих сортів був більшим вихід дрібної фракції. За сумарним сходом з сит 2,5 мм розбіжності між сортами суттєво згладжувалися, а за сумарним сходом з сит 2,2 мм нівелювалися.

Метою дослідження було встановлення закономірностей характеру успадкування виходу насіння крупної фракції та врожайності у нащадків від схрещування сортів з різним виходом посівних фракцій.

Матеріали і методи

Експериментальна частина дослідження була проведена на селекційному центрі Інституту рослинництва ім. В.Я. Юр'єва НААН (ІР НААН) в 2016–2019 рр. Вивчали 23 сорти та лінії пшениці м'якої озимої селекції ІР НААН, 4 стандарти (Подольянка, Смуглянка, Бунчук, Єдність). Площа ділянки 10 м^2 , повторність чотириразова. Сепарування за лінійними розмірами проводили на лабораторному розсіві ЛРУ-3 з використанням сит з прямокутними отворами $2,2 \times 20$, $2,5 \times 20$, $2,8 \times 20$ мм за «Методика проведення експертизи сортів рослин групи зернових, круп'яних та зернобобових на придатність до поширення в Україні (ПСП), 2014» [13].

Для визначення частоти та ступеня трансгресій враховували вихід саме крупної фракції, а також урожайність. Для встановлення характеру успадкування виходу крупної фракції насіння були відібрані сорти: Привітна з високим виходом насіння фракції $2,8+$ мм (73,3%), Краса ланів з низьким виходом насіння крупної фракції (57,4%), Альянс і Запашна з

sieve was 9.9 g greater than for the 2.5×20 mm fraction; the germination energy was 1.1% higher. Compared to the 2.2×20 mm fraction, the germination energy of seeds that were selected on a 2.8×20 mm sieve was 1.6% higher. Seeds selected on a 2.8×20 mm sieve had a higher germinability: by 1.3% compared to the 2.5×20 mm fraction and by 1.7% compared to the 2.2×20 mm fraction [12]. There were also clear differences in the outputs of different fractions of seeds, especially large and small fractions, between cultivars. Only two cultivars, 'Zdobna' and 'Pryvitna', provided over 70% of seeds selected on a 2.8 mm sieve. The large fraction output was lower than 60% in cvs. 'Dyvo', 'Harmonika', 'Krasa Laniv', 'Rozkishna', and 'Metelytsia Kharkivska', lines 'Erythrosperrum 408-13' and 'Lutescens 217-13', landrace 'Ferugineum 1239', and check cvs. 'Smuhlianka', 'Bunchuk', and 'Yednist'. Accordingly, these cultivars had higher outputs of the small fraction. The differences in the total output from a 2.5 mm sieve between the cultivars were significantly smoothed out and the differences in the total output from a 2.2 mm sieve were completely leveled.

The purpose of this study was to establish the inheritance patterns of the large seed fraction output and yield by the offspring from crossing cultivars with various outputs of the sowing fraction.

Materials and Methods

The experiments were carried out at the Breeding Center of the Yuriev Plant Production Institute of NAAS (YPPI NAAS) in 2016–2019. Twenty-three winter bread wheat cultivars and lines bred at YPPI NAAS, including 4 check cultivars ('Podolianka', 'Smuhlianka', 'Bunchuk', and 'Yednist'), were studied. The plot area was 10 m^2 in four replications. Separation by linear dimensions was carried out on a LRU-3 laboratory sorter using sieves with rectangular holes of 2.2×20 , 2.5×20 , 2.8×20 mm as per the "Methods of Examination of Plant Varieties of Cereals, Groats Crops, and Grain Legumes for Suitability for Dissemination in Ukraine (Indicators of the Cultivar's Suitability for Dissemination), 2014" [13].

To determine the transgression frequency and degree, the output of the large fraction and yield were measured. To elucidate the inheritance of the large seed fraction output, the following

середніми значеннями показника (відповідно, 66,8 та 64,0%). Схрещування проводили за повною діалельною схемою. У другому поколінні кількість зерна була недостатньою для визначення виходу насіння за фракціями, тому добори з другого покоління (не менше 100 колосів) висівалися по одному рядку і частота та ступінь трансгресій визначалися у третьому поколінні (для аналізу брали по 50 потомків з кожної гібридної комбінації).

Статистичну обробку експериментальних даних (дисперсійний аналіз) виконували за [14] з використанням пакета програм STATISTICA 6.1, SN BXXR502C631824NET3. Аналіз отриманих статистичних результатів провели за [15].

Погодні умови 2015–2019 років склалися по-різному для росту та розвитку рослин пшениці озимої. Для початку вегетації вкрай несприятливим забезпечення вологою було у серпні–жовтні 2015 року, коли за три місяці випало лише 11,3 мм опадів, через що сходи були дуже нерівномірними. За аналогічний період 2018 року випало 54,6 мм, що також більше ніж удвічі менше за норму. Крім того, за серпень–вересень 2017 року випало лише 37,1 мм опадів і лише жовтневі опади дозволили отримати ще восени повні сходи. Таким чином, серед років досліджень лише у 2016 умови зволоження в критичний для отримання сходів пшениці озимої період наближались до багаторічної норми. Середня температура січня 2016 року склала $-7,5$ °C, а 2017 $-6,5$ °C, що при наявності снігового покриву не склало критичних умов перезимівлі. Більш теплі умови січня–лютого 2018 та 2019 років з достатньою кількістю опадів у вигляді снігу сприяли поширенню снігової плісені, яка і стала головним чинником зниження зимостійкості сортів. Таким чином, у роки дослідження не відзначалось жорстких умов перезимівлі.

Перехід середньодобових температур через 0°C спостерігався у другій–третьій декадах лютого, крім 2018 року, коли від'ємні температури протрималися до квітня, відповідно, відновлення вегетації рослин пшениці озимої починалося у березні або у квітні.

Кількість опадів за період квітень–липень у 2016 році перевищувала норму, а у 2017, 2018 та 2019 роках суттєво їй поступалася, але відносно рівномірний їх розподіл за місяцями не спричинив значного погіршення стану рослин. При цьому у 2019 році середньодобова

cultivars were chosen: 'Pryvitna' with a high output of 2.8+ mm seed fraction (73.3%), 'Krasa Laniv' with a low output of the large seed fraction (57.4%), 'Alians' and 'Zapashna' with moderate outputs (66.8 and 64.0%, respectively). The cultivars were crossed in a complete diallel scheme. In the second generation, the amount of grain was insufficient to determine the seed outputs by fractions; therefore, seeds selected from the second generation (at least 100 spikes) were sown in one row and the transgression frequency and degree were determined in the third generation (50 offspring from each hybrid combination were taken for analysis).

Experimental data were statistically processed (ANOVA) was in STATISTICA 6.1, SN BXXR502C631824NET3, as recommended in [14]. The obtained statistical results were analyzed in compliance with [15].

The weather in 2015–2019 was different for the growth and development of winter wheat plants. Wetting was extremely unfavorable in the beginning of the growing period in August–October 2015, when only 11.3 mm of precipitation fell in three months, resulting in very uneven emergence. During the same period in 2018, 54.6 mm fell, which is also more than twice as much as the multi-year average. In addition, in August–September 2017, only 37.1 mm of precipitation fell, and only October precipitation allowed for complete emergence in the autumn. Thus, of the study years, only 2016 had wetting during the period that is critical for winter wheat emergence close to the multi-year average. The mean temperature in January 2016 was -7.5 °C; in 2017, it was -6.5 °C; provided snow cover, such temperatures were not harsh for overwintering. Warmer January–February 2018 and 2019 with sufficient amounts of snow contributed to the spread of snow mold, which became the main factor in reducing the cultivars' winter hardiness. Thus, there were no severe overwintering conditions in the study years.

The mean daily temperatures rose above 0°C within the second and third 10 days of February, except for 2018, when subzero temperatures persisted until April and, accordingly, winter wheat plants resumed vegetation in March or April.

The precipitation amount in April–July in 2016 was greater than the multi-year average; in 2017, 2018, and 2019, it was significantly smaller than the multi-year average but relatively

температура повітря у червні склала 24,8°C, що істотно пришвидшило досягання ранніх зернових культур, зокрема пшениці озимої. У цілому вегетаційні періоди років вивчення були доволі різноманітними, що дозволило всебічно оцінити досліджені зразки.

Результати і обговорення

Для сівби використовується найбільш повноцінне, крупне, важке і вирівняне насіння з високими посівними якостями [16]. На формування посівних фракцій насіння впливають довжина, ширина і товщина зернівки, маса тисячі зерен [17]. Ці показники перебувають під впливом умов року вирощування [18]. Для більшості цих ознак були встановлені значні взаємодії [19].

У наших дослідженнях особливу увагу було приділено аналізу F₃ потомств, з орієнтуванням на прояв позитивних трансгресивних форм вивчених ознак. Розуміння механізмів їх спадковості є передумовою для створення цінного батьківського матеріалу для майбутніх сортів [20].

За результатами дисперсійного аналізу виявлені суттєві відмінності між вивченими гібридними комбінаціями як за виходом крупної фракції насіння, так і за урожайністю (за $P < 0,05$). Гібридні комбінації з сортом Привітна, який характеризується високим виходом крупної фракції, забезпечували високе значення цього показника і у нащадках: від 60 % у прямій та зворотній гібридній комбінації з сортом Краса ланів до 68 % у гібридній комбінації Альянс/Привітна, у гібридних комбінаціях з сортом Запашна значення показника було проміжним (табл. 1).

У гібридних комбінаціях з сортом Краса ланів, який характеризується низьким значенням виходу крупної фракції, були нижчими ці значення і у нащадків, особливо у схрещуваннях з сортом Запашна (55 % та 58 %), але при цьому вихід середньої та дрібної фракцій підвищувався. У середньому за окремими гібридними комбінаціями вихід середньої фракції варіював від 25 до 33 %, а дрібної – від 6 до 11 %. Варіювання в межах окремих гібридних комбінацій за виходом крупної фракції було досить високим, а за усім масивом нащадків показник змінювався від 20 до 86 %. Вихід середньої фракції варіював від 10 до 60 %, а дрібної – від 2 до 23 %.

evenly distributed by month, so the plant condition was not significantly deteriorated. At the same time, in 2019, the mean daily air temperature in June was 24.8°C, significantly accelerating the ripening of early cereals, in particular winter wheat. In general, the growing periods in the study years were quite diverse, allowing for comprehensive assessments of the studied accessions.

Results and Discussion

The plumpest, largest, heaviest and most uniform seeds of high sowing quality are used for sowing [16]. Sowing fractions of seeds are formed by caryopsis length, width, and thickness [17] and thousand kernel weight, which considerable depend on the conditions of a growing year [18]. Significant interactions were reported for most of these characteristics [19].

We paid special attention to analysis of F₃ offspring, focusing on the manifestation of positive transgressive forms of the studied traits. Understanding the mechanisms of their heredity is a prerequisite for creating valuable parental materials for eventual cultivars [20].

ANOVA results revealed significant differences in both the large seed fraction output and yield (at $P < 0.05$) between the studied hybrid combinations. Hybrid combinations with cv. 'Pryvitna', which is characterized by a high output of the large fraction, conferred a high value of this parameter to its offspring: from 60% in the direct and reciprocal hybrid combinations with cv. 'Krasa Laniv' to 68% in hybrid combination 'Alians'/Pryvitna'. In hybrid combinations with cv. 'Zapashna', this parameter was intermediate (Table 1).

In hybrid combinations with cv. 'Krasa Laniv', which is characterized by a low output of the large fraction, the parameter was also lower, especially in combinations with cv. 'Zapashna' (55% and 58%), but at the same time the outputs of medium and small fractions were bigger. On average, for individual hybrid combinations, the output of the medium fraction varied from 25 to 33% and the output of the small fraction - from 6 to 11%. The variations in the large fraction output within individual hybrid combinations were quite wide and for the entire array of offspring, this parameter ranged from 20 to 86%. The output of the medium fraction varied from 10 to 60% and the output of the small fraction varied from 2 to 23%.

Таблиця 1. Ступінь і частота трансгресії виходу насіння гібридів м'якої озимої пшениці F₃, %, 2019 р.
Table 1. Transgression degree and frequency for seed output in F₃ winter bread wheat hybrids, %, 2019

Гібридна комбінація (Hybrid combination)	Фракція (Fraction)	Вихід насіння, % (Seed output, %)	SD	CV	Min	Max	Ступінь трансгресії (Transgression degree)	Частота трансгресій (Transgression frequency)
Запашна / Краса ланів (Zarashna / Krasa Laniv)	2,8	55,2	11,81	21,4	19,7	73,6	15,0	20
	2,5	32,0	8,54	26,7	17,7	60,2		
	2,2	11,1	3,23	29,1	5,4	19,1		
Краса ланів / Запашна (Krasa Laniv / Zarashna)	2,8	56,8	7,53	13,3	39,1	69,7	8,9	20
	2,5	32,7	6,02	18,4	21,8	47,1		
	2,2	9,5	2,58	27,2	4,7	16,0		
Привітна / Краса ланів (Prvyitna / Krasa Laniv)	2,8	60,3	10,55	17,5	31,6	76,1	3,9	4
	2,5	30,7	7,99	26,0	15,7	55,3		
	2,2	7,6	2,78	36,6	2,9	18,7		
Краса ланів / Привітна (Krasa Laniv / Prvyitna)	2,8	59,6	9,93	16,7	28,0	73,6	0,3	2
	2,5	31,8	7,79	24,5	20,1	53,4		
	2,2	7,6	2,92	38,4	4,0	21,8		
Краса ланів / Альянс (Krasa Laniv / Alians)	2,8	59,7	11,69	19,6	31,5	81,0	21,2	26
	2,5	30,6	7,73	25,3	15,7	49,8		
	2,2	8,3	3,96	47,7	2,3	20,1		
Альянс / Краса ланів (Alians / Krasa Laniv)	2,8	58,6	12,17	20,8	33,7	78,6	17,7	30
	2,5	31,5	8,33	26,4	16,6	48,5		
	2,2	8,6	3,74	43,5	1,7	19,5		
Альянс / Привітна (Alians / Prvyitna)	2,8	67,6	8,55	12,6	46,6	82,1	12,0	22
	2,5	24,7	6,13	24,8	10,4	39,7		
	2,2	6,0	2,52	42,0	3,0	14,1		
Привітна / Альянс (Prvyitna / Alians)	2,8	63,1	11,15	17,7	25,4	85,9	17,3	14
	2,5	28,2	8,15	28,9	11,3	48,9		
	2,2	7,7	3,19	41,4	2,5	22,7		
Привітна / Запашна (Prvyitna / Zarashna)	2,8	60,6	8,17	13,5	36,5	74,6	1,8	2
	2,5	28,6	5,65	19,8	18,9	46,4		
	2,2	9,5	2,72	28,6	4,3	17,8		
Запашна / Привітна (Zarashna / Prvyitna)	2,8	64,1	10,84	16,9	35,2	80,1	9,2	18
	2,5	27,0	7,46	27,6	16,4	45,2		
	2,2	7,6	3,40	44,7	2,7	16,7		
Запашна / Альянс (Zarashna / Alians)	2,8	61,5	6,73	10,9	48,2	75,2	12,6	28
	2,5	28,6	5,13	17,9	18,5	41,6		
	2,2	8,5	2,08	24,5	4,2	14,3		
Альянс / Запашна (Alians / Zarashna)	2,8	54,1	9,34	17,3	25,7	68,2	2,1	8
	2,5	33,2	6,26	18,9	23,4	49,6		
	2,2	10,8	3,36	31,1	5,4	19,5		

Серед вивчених гібридних комбінацій найнижчою частотою трансгресій за виходом крупної фракції насіння відзначались комбінації, створені за участю батьків з крайніми проявами ознаки: Привітна/Краса ланів (4 %) та Краса ланів/Привітна (2 %), а також Привітна/Запашна (2 %), при цьому ступінь трансгресій у названих гібридних комбінаціях склала 3,9 %, 0,3 % та 1,8 %, відповідно. Низькою (2,1 %) ступінь трансгресій була і у гібридній комбінації Альянс/Запашна за частоти трансгресій 8 %.

Комбінування зразків з низьким та середнім значенням виходу крупної фракції насіння збільшувало як частоту, так і ступінь трансгресій. Для гібридних комбінацій Запашна/Краса ланів та Краса ланів/Запашна частота трансгресій склала 20 % при ступені трансгресій 15,0 % та 8,9 %, відповідно. У гібридній комбінації Краса ланів/Альянс частота трансгресій склала 26 % при ступені трансгресій 21,2 %, а у Альянс/Краса ланів – 30 % і 17,7 %, відповідно, при цьому кращі форми перевищували значення еталону за даною ознакою (сорту Привітна) більш ніж на 5 %. Останнє спостерігалось і у комбінації Запашна/Привітна (частота трансгресій 18,0 %, ступінь трансгресій 9,2 %). Перспективними для селекції за даною ознакою виявились інші гібридні комбінації між компонентами з високим та середнім виходом крупної фракції: Альянс/Привітна та Привітна/Альянс, у яких частота трансгресій склала 22 та 14 %, ступінь – 12,0 та 17,3 %, а максимальний прояв ознаки перевищував рівень сорту Привітна на 9 та 13 %, відповідно. Нові сорти, отримані за участі нащадків цих гібридних комбінацій, можуть ефективно вирощуватися в органічному землеробстві [21].

Незважаючи на високий вихід крупної фракції насіння у окремих гібридних комбінаціях, для виробників насіння вирішальну роль відіграє рівень урожайності сорту. Аналіз урожайності насіння пшениці озимої свідчить, що вона залежить від технології вирощування та сортових особливостей [22]. Коефіцієнт розмноження насіння перебуває в прямій залежності від урожайності сорту [23].

Серед вивчених батьківських форм сорт Запашна забезпечив урожайність 807,4 г/м², Краса ланів – 772,5 г/м², Привітна – 775,7 г/м², Альянс – 728,8 г/м².

Among the studied hybrid combinations, the lowest frequency of transgressions or the large seed fraction output was observed in the combinations with parents with extreme values of this characteristic: 'Pryvitna'/'Krasa Laniv' (4%), 'Krasa Laniv'/'Pryvitna' (2%), and 'Pryvitna'/'Zapashna' (2%); the transgression degree in these hybrid combinations was 3.9%, 0.3%, and 1.8%, respectively. The transgression degree was also low (2.1%) in hybrid combination 'Alians'/'Zapashna' with a transgression frequency of 8%.

Combination of accessions with low and moderate outputs of the large seed fraction increased both the frequency and degree of transgressions. In hybrid combinations 'Zapashna'/'Krasa Laniv' and 'Krasa Laniv'/'Zapashna', the transgression frequency was 20%, with a transgression degree of 15.0% and 8.9%, respectively. In hybrid combination 'Krasa Laniv'/'Alians', the transgression frequency was 26%, with a transgression degree of 21.2%; in combination 'Alians'/'Krasa Laniv', the transgression the frequency and degree were 30% and 17.7%, respectively, and the best forms were superior to the check cultivar for this characteristic ('Pryvitna') by \square 5%. The latter was also observed in combination 'Zapashna'/'Pryvitna' (transgression frequency = 18.0%, transgression degree = 9.2%). Other hybrid combinations between cultivars with high and moderate outputs of the large fraction appeared to be promising for the breeding for this trait: 'Alians'/'Pryvitna' and 'Pryvitna'/'Alians', where the transgression frequency was 22 and 14%, respectively, and the degree was 12.0 and 17.3%, while the maximum values of the characteristic were 9 and 13% higher than those in cv. 'Pryvitna', respectively. New cultivars derived from descendants of these hybrid combinations can be effectively grown in organic farming [21].

Despite the high outputs of the large seed fraction in some hybrid combinations, the yield of a cultivar plays a decisive role for seed producers. Analysis of the winter wheat seed yields showed that they depended on cultivation technologies and cultivars' features [22]. There is a linear relationship between the cultivar's seed reproduction coefficient and yield [23].

The studied parental forms, i.e. cv.

У гібридних комбінаціях з найбільш урожайним сортом Запашна частота трансгресій була мінімальною — до 6 % (табл. 2), але ступінь трансгресій у гібридних комбінаціях Запашна/Краса ланів, Привітна/Запашна, Запашна/Привітна та Альянс/Запашна була досить високою (9,8, 5,6, 16,3 та 13,1%, відповідно). Невисокими частота та ступінь трансгресій за урожайністю були у гібридних комбінаціях Привітна/Краса ланів та Краса ланів/Привітна, у яких жоден з нащадків не перевищував кращий у досліді сорт Запашна.

'Zapashna' yielded 807.4 g/m², cv. 'Krasa Laniv' – 772.5 g/m², cv. 'Pryvitna' – 775.7 g/m², and 'Alians' – 728.8 g/m².

In hybrid combinations with the most high-yielding cv. 'Zapashna', the frequency of transgressions was minimal (□6%) (Table 2), but the transgression degree in hybrid combinations 'Zapashna'/'Krasa Laniv', 'Pryvitna'/'Zapashna', 'Zapashna'/'Pryvitna', and 'Alians'/'Zapashna' was quite high (9, 8, 5.6, 16.3, and 13.1%, respectively). The transgression frequency and degree for yield were low in hybrid combinations 'Pryvitna'/'Krasa Laniv' and 'Krasa Laniv'/'Pryvitna', where none of the offspring was superior to cv. 'Zapashna', the best cultivar in the experiment.

Таблиця 2. Ступінь і частота трансгресії за врожайністю гібридів м'якої озимої пшениці F₃, 2019 р.
Table 2. Transgression degree and frequency for yield in F₃ winter bread wheat hybrids, 2019

Гібридна комбінація (Hybrid combination)	Урожайність, г/м ² (Yield, g/m ²)	SD	Min	Max	Ступінь трансгресії (Transgression degree)	Частота трансгресій (Transgression frequency)
Запашна / Краса ланів (Zapashna / Krasa Laniv)	622	101,8	481	887	9,8	6
Краса ланів / Запашна (Krasa Laniv / Zapashna)	583	85,7	428	815	0,9	2
Привітна / Краса ланів (Pryvitna / Krasa Laniv)	579	88,2	436	780	0,5	2
Краса ланів / Привітна (Krasa Laniv / Pryvitna)	602	82,6	475	804	3,6	4
Краса ланів / Альянс (Krasa Laniv / Alians)	694	123,7	511	993	28,5	24
Альянс / Краса ланів (Alians / Krasa Laniv)	661	114,2	506	886	14,7	24
Альянс / Привітна (Alians / Pryvitna)	629	99,4	501	907	16,9	10
Привітна / Альянс (Pryvitna / Alians)	667	113,7	508	943	21,5	16
Привітна / Запашна (Pryvitna / Zapashna)	633	91,5	501	853	05,6	6
Запашна / Привітна (Zapashna / Pryvitna)	613	84,8	505	939	16,3	2
Запашна / Альянс (Zapashna / Alians)	591	77,7	458	791	9,8,	0
Альянс / Запашна (Alians / Zapashna)	632	91,9	507	913	13,1	4

Вищими частота та ступінь трансгресій були у комбінаціях Альянс/Привітна, 10,0 і 16,9% та Привітна/Альянс, 16 % і 21,5 %, відповідно.

The highest transgression frequency and degree were recorded for combinations 'Alians'/'Pryvitna' (10.0 and 16.9%,

Частота трансгресій у комбінаціях Краса ланів/Альянс та Альянс/Краса ланів склала 24 % за ступеня трансгресій 28,5 та 14,7 %, відповідно. У кожній з останніх чотирьох гібридних комбінацій отримані нащадки, які перевершували за урожайністю кращій у досліді сорт Запашна.

В цілому серед вивчених нащадків отримано лише дев'ять, які перевищували за урожайністю сорт Запашна і одночасно за виходом крупної фракції насіння сорт Привітна. При цьому перевищували лише за урожайністю Запашну 105 нащадків, а лише за виходом крупної фракції Привітну 43 нащадки. З отриманих нащадків від 7 до 15 на гібридну комбінацію було висіяно в подальшому у контрольному розсаднику, загальною кількістю 118, з яких 7 ліній проходять попереднє сортовипробування.

Висновки

Сорт Привітна, який характеризується високим виходом насіння крупної фракції при схрещуванні з сортами середнього та низького значення виходу крупної фракції забезпечує високе або проміжне значення цього показника у нащадків. Перспективними для селекції за даною ознакою виявились гібридні комбінації: Альянс/Привітна та Привітна/Альянс, у яких частота трансгресій склала 22 та 14 %, ступінь – 12,0 та 17,3 %, а максимальний прояв ознаки перевищував рівень сорту Привітна на 9 та на 13 %, відповідно.

При схрещуванні сортів з середнім або низьким виходом насіння крупної фракції між собою знижується значення виходу крупної фракції, але підвищується вихід середньої та дрібної фракції. Комбінування зразків з низьким та середнім значенням виходу крупної фракції насіння збільшує як частоту, так і ступінь трансгресій.

Перспективними для селекції на підвищену врожайність є гібридні комбінації: Альянс/Привітна, Привітна/Альянс, Краса ланів/Альянс та Альянс/Краса ланів.

respectively) and 'Pryvitna'/'Alians' (16% and 21.5%). The transgression frequency in combinations 'Krasa Laniv'/'Alians' and 'Alians'/'Krasa Laniv' was 24%, with for the transgression degree of 28.5 and 14.7%, respectively. In each of the last four hybrid combinations, there were offspring that were superior to cv. 'Zapashna', the best cultivar in the experiment.

In general, of the studied offspring, only nine were superior both to cv. 'Zapashna' in terms of yield and to cv. 'Pryvitna' in terms of the large seed fraction output. At the same time, 105 offspring yielded better than cv. 'Zapashna' and 43 offspring had greater outputs of the large seed fraction than cv. 'Pryvitna'. From the obtained offspring, 7 – 15 families per hybrid combination were subsequently sown in the control nursery, a total of 118, of which 7 lines are being tested in preliminary variety trials.

Conclusions

Cv. 'Pryvitna', which is noticeable for by a high output of the large seed fraction, when crossed with the cultivars having moderate or low outputs of the large fraction, ensured a high or intermediate value of this parameter in the offspring. The following hybrid combinations appeared to be promising for the breeding for this feature: 'Alians'/'Pryvitna' and 'Pryvitna'/'Alians', where the transgression frequency was 22 and 14%, respectively, the transgression degree was 12.0 and 17.3%, respectively, and the maximum value of this trait was higher than that in cv. 'Pryvitna' by 9 and 13%, respectively.

When crossing varieties with moderate or low outputs of the large seed fraction with each other, the large fraction output was decreased, but the outputs of the medium and small fractions were bigger. Combination of accessions with low and moderate outputs of the large seed fraction increased both the frequency and degree of transgressions.

Hybrid combinations 'Alians'/'Pryvitna', 'Pryvitna'/'Alians', 'Krasa Laniv'/'Alians', and 'Alians'/'Krasa Laniv' seem to be promising for breeding for increased yield.

References

1. Zhybak M, Khrystenko H. Grain market in Ukraine: price situation and problems of development during the war. *Ahrosvit*. 2024; 6: 23–29. <https://doi.org/10.32702/2306-6792.2024.6.23> [in Ukrainian]
2. Areas, croppages and yields of agricultural crops by species and regions in 2023. Statistical information (final data). State Statistics Service of Ukraine. [Internet]. 2023 [updated 2023 May 5; cited 2024 May 20]. Available from: <https://www.ukrstat.gov.ua/> [in Ukrainian]
3. Shelepov VV, Havryliuk MM, Chebakov MP, Honchar OM, Verhunov VA. Wheat breeding, seed production and variety investigations. *VM Remeslo Myronivka Institute of Wheat*. 2007. 408 p. [in Ukrainian].
4. Vyshnivskiy PS, Shapoval AV, Tsiuk YuV. Effect of the fractional composition of sowing material on the performance of spring wheat seed fields. *Zb. Nauk. Pr. NNTs «Instytut Zemlerobstva NAAN»*. 2014; 4: 162–167. [in Ukrainian].
5. Zecevic V, Boskovic J, Knezevic D, Micanovic D. Effect of seeding rate on grain quality of winter wheat. *Chilean journal of agricultural research [online]*. 2014; 74(1): 23–28. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-58392014000100004>.
6. DSTU 4138–2002. Seeds of agricultural crops. Methods for determining quality. Valid from 01/01/2004. Kyiv: Derzhspozhyvstandart Ukrainy, 2003. 173 p. [in Ukrainian].
7. Shapoval AV, Tsiuk YuV, Lutak IA, Katerynychuk IM. Effect of fractional composition of winter wheat seeds on their yielding capacity . *Zb. Nauk. Pr. NNTs «Instytut Zemlerobstva NAAN»*. 2014; 1–2: 136–140. [in Ukrainian].
8. Shapoval AV, Melnyk VV, Lutak IA, Khitska IM. Effect of seed fraction on the yield capacity of spring wheat and oat varieties. *Zb. Nauk. Pr. NNTs «Instytut Zemlerobstva NAAN»*. 2013; 1–2: 160–165. [in Ukrainian].
9. Lutak IV, Shapoval AV. Yield and sowing qualities of spring wheat seeds depending on the fractional composition of seeds and fertilizers. *Zbirnyk Naukovykh Prats Umanskoho Natsionalnoho Universytetu Sadivnytstva*. 2016; 86(1):13–21. [in Ukrainian].
10. Skrypnyk OO, Leonov OYu. Outputs of seeds of winter bread wheat varieties and lines bred at the Plant Production Institute named after VYa Yuriev of NAAS. State-of-the-art technologies for Increasing the Genetic Potentials of Plants: Abstracts of the International Scientific and Practical Conference Dedicated to the 100th anniversary of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine and the 110th anniversary of the founding of the Plant Production Institute named after VYa Yuriev of NAAS. Kharkiv, July 4–5, 2018. Kharkiv, 2018. P. 262–264. [in Ukrainian].
11. Leonov O, Skrypnyk O, Kirian V. Winter bread wheat kernel size depending on the variety. *Agrarian Science and Education in the European integration Settings: Abstracts of the International Scientific and Practical Conference. Part 1. Kamianets-Podilskyi, March 20–21, 2019, Ternopil: Krok*. 2019. P. 113–114. [in Ukrainian].
12. Skrypnyk OO, Leonov OYu, Shyianova TP, Suvorova KYu, Usova ZV. Seed quality indicators of winter bread wheat accessions depending on the grain size. *Plant Breeding and Seed Production*. 2021. 119. 84–93. DOI: <https://doi.org/10.30835/2413-7510.2021.237013>
13. Tkachyk SO, editor. Methods of qualification examination of varieties cereals, groats crops and grain legumes for suitability for dissemination in Ukraine. Methods of determination of plant product quality parameters. 3rd revised and extended edition. Vinnytsia: FOP Korzun DYU. 2017. 159 p. [in Ukrainian].
14. Ermantraunt ER, Hoptsi TI, Kalenska S M, Kryvoruchenko RV, Turchynova NP, Prysiazhniuk OI. Methods of breeding experiments (in crop production). Kharkiv : KhNAU im. VV Dokuchaieva, 2014. 229 p. [in Ukrainian].
15. Vasylykivskiy SP, Kochmarskyi VS. Breeding and seed production of field crops. Myronivka : PJSC “Myronivska Printing House”. 2016. 376 p. [in Ukrainian].

16. de Souza DN, Silva SR, Marinho J de L, Bazzo JHB, Fonseca IC de B, Zucareli C. Wheat yield and seed physiological quality as influenced by seed vigor, nitrogen fertilization and edaphoclimatic conditions. *Semina: Ciências Agrárias*. 2021. 42 (6SUPL2), 3581–3602. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2021v42n6SUPL2p3581> [in Portuguese].
17. Dwivedi SL, Spillane C, Lopez F, Ayele BT, Ortiz R. First the seed : Genomic advances in seed science for improved crop productivity and food security. *Crop Science*. 2021. 61(3). 1501–1526. <https://doi.org/10.1002/csc2.20402>
18. Chen Z, Cheng X, Chai L, Wang Z, Bian R, Li J, Zhao A, Xin M, Guo W, Hu Z, et al. Dissection of genetic factors underlying grain size and fine mapping of QTgw. cau-7D in common wheat (*Triticum aestivum* L.). *Theoretical and Applied Genetics*. 2020. 133. 149–162. <https://doi.org/10.1007/s00122-019-03447-5>
19. Kondić D, Oručević Žuljević S, Hajder Đ, Selimbegović E. Evaluation of grain characteristics of domestic wheat (*Triticum aestivum* L.) obsolete cultivars and landraces. *Italian Journal of Agronomy*. 2020. 15(1). 3–9. <https://doi.org/10.4081/ija.2020.1345>
20. Reynolds MP, Pask AJD, Hoppitt WJE, Sonder K, Sukumaran S, Molero G, Saint Pierre C, Payne TS, Singh RP, Braun HJ et al. Strategic crossing of biomass and harvest index-source and sink-achieves genetic gains in wheat. *Euphytica*. 2017. 213(257). doi:10.1007/s10681-017-2040-z
21. Pushkareva VI, Goleva GG, Vashchenko TG, Fedulova TP, Golev AD, Ivannikov VA. IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.: 6th International Conference on Agriproducts Processing and Farming, 17–18 October 2019, Voronezh, Russian Federation. 2019. 422. 012031
22. Popović V, Ljubičić N, Kostić M, Radulović M, Blagojević D, Ugrenović V, Popović D, Ivošević B. Genotype × Environment interaction for wheat yield traits suitable for selection in different seed priming conditions. *Plants*. 2020; 9(12):1804. <https://doi.org/10.3390/plants9121804>
23. Kristó I, Vályi-Nagy M, Rácz A, Irmes K, Szentpéteri L, Jolánkai M, Kovács GP, Fodor MÁ, Ujj A, Valentinyi KV et al. Effects of nutrient supply and seed size on germination parameters and yield in the next crop year of winter wheat (*Triticum aestivum* L.). *Agriculture*. 2023. 13(2). 419. <https://doi.org/10.3390/agriculture13020419>

Received 23.05.2024

УДК 635.646:631.527

А.О. Марусяк, О.В. Сергієнко*

Скринінг колекційних зразків баклажана за продуктивністю та її складовими

*Інститут овочівництва і багатанництва НААН,
селище Селекційне, Харківський р-н, Харківська обл., Україна*

**E-mail: oksana.sergienko71@ukr.net*

UDC 635.646:631.527

A.O. Marusiak, O.V. Serhienko*

Screening of Collection Eggplant Accessions for Performance and its Constituents

*Institute of Vegetable and Melon Growing of NAAS of Ukraine,
Selektsiine Village, Kharkivskyi District, Kharkivska Oblast, Ukraine*

**E-mail: oksana.sergienko71@ukr.net*

Реферат: Досліджено потенціал продуктивності різноманіття зразків баклажана (31 зразок: 21 сорт з 7 країн світу та 10 гібридів з 5 країн світу) та проведено скринінг і моніторинг генотипів порівняно із стандартами за ознаками які визначають потенціал продуктивності: «продуктивність», «середня маса товарного плоду» та «кількість плодів на рослині». Визначено 32 джерела ознак продуктивності. За рівнем прояву ознаки «продуктивність» виділено: 5 селекційно-цінних колекційних сортів – Daejeon Puurple (1656 г / росл.), Zelkilo (1701 г / росл.) та Long Violet (1782 г / росл.), перевищення продуктивності яких над стандартом Алмаз (1506 г / росл.) становило від 9,9 до 18,0 % та 2 гібриди F1 – Ізумрудний F1 (1459 г / росл.) з відношенням рівня продуктивності до стандарту 89,9 % та Mari F1 (1323 г / росл.) з відношенням рівня продуктивності до стандарту 81,5 %. Дослідженнями підтверджена цінність стандартів при селекції на ознаку «продуктивність» – Алмаз ($\bar{X} = 1506,33$ г / росл.) та Vibo F1 ($\bar{X} = 1623,00$ г / росл.). За ознакою «середня маса товарного плоду» виділено 14 цінних джерел: 10 сортів – Марафонец (217 г), Віронік (220 г), Универсал-6 (229 г), Long Violet (241 г), Чорний Красавец (266 г), Xingyuun (311 г), Геліос (322 г), Rosa Bianka di Catania (330 г), Daejeon Puurple (455 г) та Zelkilo (526 г) та чотири гібриди F1 – Briska F1 (941 г), Klorinda F1 (676 г), Gordita F1 (563 г) та Ізумрудний F1 (392 г) для використання в селекції високоврожайних крупноплідних генотипів. Найвищу масу товарного плоду мав сорт Zelkilo (527 г) з Китаю та гібрид з Італії Briska F1 (941 г) з перевищенням над стандартом від 187 до 287 %, відповідно. Найменше значення ознаки мали три сорти колекції: зразок з Туреччини – Turkish Orange (66,9 г), два зразки з Китаю – Hangqi №1-2, Hangqi №1 (76,1 і 79,3 г, відповідно) та гібрид з Китаю – Puurple Dragon F1 (94,6 г). Ці зразки можуть бути використані у селекційній роботі на крупноплідність та дрібноплідність генотипів баклажана за ознакою «середня маса товарного плоду». За ознакою «середня кількість плодів на рослині» визначено 13 цінних джерел – дев'ять зразків та чотири гібриди F1 для використання в селекції високоврожайних генотипів які характеризувались високою кількістю плодів на рослині за три роки досліджень. За результатами досліджень виділено дев'ять зразків, які характеризувались наступними значеннями ознаки: Віронік (6,45 шт / росл.), Long Violet (7,35 шт / росл.), Thai Long Green (7,58 шт / росл.), Hangqi №1 (11,99 шт / росл.) Hangqi №1-2 (12,25 шт / росл.), Turkish Oran Hangqi №1-2ge (13,19 шт / росл.), Зелененький (8,69 шт / росл.), Luisiana Long Green (6,18 шт / росл.) та Лебединий (5,88 шт / росл.). Найвищу кількість плодів на рослині мав зразок з Туреччини Turkish Oran Hangqi №1-2ge – 13,19 шт / росл. За скринінгом гібридів виділились та можуть бути використані в селекції чотири гібриди: Mari F1, Puurple Dragon F1, Пятачок F1 та Галчонок F1 (5,17-11,37 шт / росл.). Виділені джерела можуть бути використані у селекційній роботі на збільшену кількість плодів на рослинах баклажана. Виділені зразки є відносно стабільними за рівнем прояву досліджуваних ознак та характеризуються високими їх значеннями. Результати досліджень свідчать про велике різноманіття колекції за ознаками продуктивності, що підтверджується середнім (>10 %) та високим (>20 %)

рівнем їх варіювання. Отже, за результатами досліджень встановлено що ознака «продуктивність» зразків має середню залежність ($r=0,39-0,56$) від характеру прояву її складової – ознаки «середня маса товарного плоду», з ознакою «кількість плодів на рослині» кореляції не встановлено ($r=-0,09-0,04$) та виділено 34 джерела підвищеної продуктивності баклажана та її складових, що має практичне значення для селекції сортів та гібридів F1, придатних до вирощування у Північному Лісостепу України. У колекції не виявлено зразків, які б поєднували в генотипі усі основні показники продуктивності, тому для підвищення урожайності культури та забезпечення продовольчої безпеки селекційні дослідження слід спрямувати саме в цьому напрямі.

Ключові слова: баклажан, селекція, колекційний зразок, селекційна ознака, продуктивність, маса плоду, кількість плодів, амплітуда варіювання, ліміт варіювання.

Abstract: The potential performance of eggplant accessions (31 accessions: 21 cultivars from 7 countries worldwide and 10 hybrids from 5 countries) was evaluated and genotypes were screened and monitored in comparison with reference accessions for the potential performance traits: performance, average marketable fruit weight, and number of fruits per plant. 32 sources of performance indicators were identified. By the "performance" trait, the following accessions were selected: 5 breeding-valuable collection cultivars - 'Daejeon Puurple' (1,656 g/plant), 'Zelkilo' (1,701 g/plant), and 'Long Violet' (1,782 g/plant), which yielded more than the reference cultivar, 'Almaz' (1,506 g/plant) by 9.9-18.0%, and 2 F1 hybrids – 'Izumrudnyi' F1 (1,459 g/plant) and 'Mari' F1 (1,323 g/plant), which yielded more than the reference accession by 89.9 and 81.5%, respectively. The study confirmed the value of reference accessions in breeding for performance: 'Almaz' ($\bar{X} = 1,506.33$ g/plant) and 'Bibo' F1 ($\bar{X} = 1,623.00$ g/plant). By the "average marketable fruit weight" trait, 14 valuable sources were selected for the breeding of high-yielding large-fruited genotypes: 10 cultivars - 'Marafonets' (217 g), 'Vironik' (220 g), 'Universal-6' (229 g), 'Long Violet' (241 g), 'Chornyi Krasavets' (266 g), 'Xingyuun' (311 g), 'Helios' (322 g), 'Rosa Bianca di Catania' (330 g), 'Daejeon Puurple' (455 g), and 'Zelkilo' (526 g); and four F1 hybrids – 'Briska' F1 (941 g), 'Klorinda' F1 (676 g), 'Gordita' F1 (563 g), and 'Izumrudnyi' F1 (392 g). The heaviest marketable fruit weight was recorded for Chinese cv. 'Zelkilo' (527 g) and Italian hyb. 'Briska' F1 (941 g), which was 187-287% heavier than in the reference accessions, respectively. Three cultivars and a Chinese hybrid in the collection had the lightest fruits (Turkish cv. 'Turkish Orange' (66.9 g) and two Chinese cvs. 'Hangqi No. 1-2' and 'Hangqi No. 1' (76.1 and 79.3 g, respectively) and hyb. 'Puurple Dragon' F1 (94.6 g)). These accessions can be used in breeding large or small eggplants based on the "average marketable fruit weight" trait. By the "mean number of fruits per plant" trait, 13 valuable sources, which had a lot of fruits per plant in the three years of research, were identified for the breeding of high-yielding genotypes: nine cultivars and four F1 hybrids - cv. 'Vironik' (6.45 fruits/plant), cv. 'Long Violet' (7.35 fruits/plant), cv. 'Thai Long Green' (7.58 fruits/plant), cv. 'Hangqi No1' (11.99 fruits/plant), cv. 'Hangqi No1-2' (12.25 fruits/plant), cv. 'Turkish Orange' (13.19 fruits/plant), cv. 'Zelenenkyi' (8.69 fruits/plant), cv. 'Luisiana Long Green' (6.18 fruits/plant), cv. 'Lebedynyi' (5.88 fruits/plant), hy. 'Mari' F1, hyb. 'Puurple Dragon' F1, hyb. 'Piatachok' F1, and hyb. 'Halchonok' F1 (5.17-11.37 fruits/plant). Turkish cv. 'Turkish Orange' had the greatest number of fruits per plant (13.19 fruits/plant). These accessions can be used in breeding for increased numbers of eggplants per plant. The expression of the characteristics under investigation was relatively stable in the selected accessions and the values of these characteristics were high. The results of this study indicate a great diversity of the collection in terms of performance, which is confirmed by its medium (>10%) to wide (>20%) variation. It was found that the "performance" trait was moderately correlated ($r=0.39-0.56$) with one of its constituents, i.e. the "average marketable fruit weight". There was no correlation between performance and the "number of fruits per plant" trait ($r=-0.09-0.04$). Thirty-four 34 eggplant sources of increased performance and its constituents were identified; they are of practical importance in the breeding of cultivars and F1 hybrids suitable for growing in the northern forest-steppe of Ukraine. In this collection, there were no accessions that would combine all major performance indicators in one genotype; therefore, to increase the crop yield capacity and ensure food security, breeding research should be focused on this challenge.

Key words: eggplant, breeding, collection accessions, breeding trait, performance, fruit weight, number of fruits, variation amplitude, variation limits.

Вступ

Родина Solanaceae L. включає близько 2300 видів, майже половина з яких належить до роду Solanum L. Більшість видів цього роду є ендеміками для Американського континенту і лише 20 % видів поширені у Старому Світі. Родина Solanaceae є джерелом великої кількості морфологічно різних окультурених видів. Ряд науковців пояснюють цей феномен тим фактом, що лише мала кількість основних консервативних локусів відповідальні за значні фенотипові зміни, які сприяли окультуренню у цій родині. Баклажан, так само, як томат і перець, є диплоїдом, що самозапилюється ($n=12$) [1]. На 2024 р. до Державного реєстру сортів рослин, придатних для поширення в Україні, занесено 52 сорти і гібриди баклажана, з них 17 вітчизняної селекції, в тому числі, Інституту овочівництва і баштанництва НААН – 5 (сорти – Віронік, Біла лілія, Прем'єр, Лідер та гібрид Сапфір F1 [2]. Баклажан є важливою пасльоновою овочевою культурою поряд із картоплею і помідором. Має високі смакові якості. Це ситний овоч з низькою калорійністю. Плоди баклажана містять низку мікро- та макроелементів (K, Ca, Mg, S, P, Cl, Al, B, Fe, I, Co, Mn, Cu, Zn), вуглеводи й споріднені сполуки, вітаміни B1, B2, B6, цукор 3,2–4,6 %, білки 0,6–1,4 %, жири 0,1–0,4 %, клітковину 1,4 %, рутин, нікотинову кислоту (вітамін PP) [3-5].

Слід також враховувати і такі властивості культури, які набувають особливого значення в сучасній обстановці ресурсо- та енергодефіциту: здатність плодоносити за низької температури та недостатньої вологості. Дуже важливою властивістю є чутливість генотипів баклажана до покращення умов вирощування та енергоефективність [6, 7].

Генотипи, що створювались дотепер, в основному є сортами універсального типу. У той же час усвідомлено необхідність створення спеціалізованих сортів та гібридів як найбільш ефективних. Є ознаки, які необхідно надавати сортам та гібридам за будь-якого напрямку селекції: екологічна стабільність, стійкість до комплексу хвороб та шкідників, поширених у місці передбачуваного культивування сорту. Однією з таких ознак традиційно для овочевих і баштанних культур є продуктивність [6-10].

Отже, основна мета селекції – забезпечення високих урожаїв сільськогосподарських культур, у тому числі і баклажана, що є важливим для забезпечення

Introduction

The family Solanaceae L. includes about 2,300 species, almost half of which belong to the genus Solanum L. Most of the species of this genus are endemic to the American continent and only 20% of the species are common in the Old World. The family Solanaceae is the source of many morphologically diverse domestic species. Some scientists explain this phenomenon by the fact that only few major conservative loci are responsible for significant phenotypic changes that contributed to domestication in this family. Eggplant, like tomato and pepper, is a self-pollinated diploid ($n=12$) [1]. As of 2024, 52 eggplant cultivars and hybrids are in the State Register of Plant Varieties Suitable for Dissemination in Ukraine; of them, 17 have been bred in Ukraine, including 5 at the Institute of Vegetable and Melon Growing of NAAS (cvs. 'Vironik', 'Bila Liliia', 'Premie', 'Lider', and hyb. 'Sapfir' F1) [2]. Eggplant is an important vegetable, along with potato and tomato. It boasts great palatability. It is a nutritious but low-calorie vegetable. Eggplants contain micro- and macronutrients (K, Ca, Mg, S, P, Cl, Al, B, Fe, I, Co, Mn, Cu, Zn), carbohydrates and related compounds, vitamins B1, B2, and B6, rutin, and nicotinic acid (vitamin PP). The sugar content is 3.2–4.6%; the protein content is 0.6–1.4%; the fat content is 0.1–0.4%; the fiber content is 1.4%, [3-5].

One also should take into account the crop features, which are of particular importance in the current settings of resource and energy deficits, such as the ability to bear fruit at low temperatures and insufficient wetting. The sensitivity of eggplant genotypes to improved growing conditions and their energy efficiency are very important features [6, 7].

The genotypes that have been bred so far are mainly universal cultivars. At the same time, the need to create specialized cultivars and hybrids as they are most effective was realized. Some characteristics are desirable in cultivars and hybrids in any breeding area: environmental stability, resistance to diseases and pests common in cultivation locations, etc. Performance is traditionally one of such characteristics for vegetables and gourds [6-10].

Therefore, the primary objective of breeding is to ensure high yields of agricultural

населення достатньою кількістю біологічно цінної продукції. Тому виявлення нових джерел цінних ознак високої продуктивності та її складових у змінних умовах вирощування створює підґрунтя для вирішення проблеми створення конкурентоспроможних сортів і гібридів із заданими параметрами.

S. melongena L. є об'єктом інтенсивних селекційних досліджень у країнах з великим промисловим виробництвом (Західна Європа, Туреччина, Індія, Китай, Японія) [11]. Більшість сортів і гібридів F1 різняться фенотипово і є результатом селекційної роботи за останні 30-40 років. Селекцією нових сортів виду *S. aethiopicum* L. займаються ще в деяких країнах Африки, але в незначному масштабі через економічну, соціальну та політичну ситуацію в цьому регіоні.

Основні загальновізані світові завдання селекції *S. melongena* L. включають: стійкість до хвороб (фузаріозного в'янення – *Fusarium oxysporum* Schlecht, вертициллезного в'янення – *Verticillium dahliae* Kleb., бактеріального в'янення – *Ralstonia solanacearum* (Smith) Yabuuchi et al., комах (попелиці – *Aphis gossypii* Glover, цикадці – *Amrasca biguttula* Ishida, нематод – *Meloidagyne* spp. та ін.); стійкість або толерантність до абіотичних стресорів (посухи, низької або високої температури, засолення); стійкість до гербіцидів; партенокарпію [12-15].

Продуктивність, урожайність та якість продукції є особливо важливими ознаками, на які ведеться селекція сільськогосподарських культур, у тому числі і баклажана. Так, середня урожайність баклажану складає: в Африці – 19,2 т/га; в Азії – 15,1 т/га; у Північній Америці – 23,1 т/га; у Південній Америці – 13,1 т/га; у Європі – 28,3 т/га. Урожайність гібридів F1 часто сягає 40-50 т/га, вони характеризуються ранньостиглістю, однорідністю, насиченим забарвленням плодів, їх відмінним смаком та ароматом і порівняно тривалим терміном зберігання [11, 16].

Також актуальною є селекція на поживну цінність: високий вміст сухої речовини, цукрів, антоціанів та загальних фенольних сполук, низький рівень активності окиснення поліфенолів та ортодигідрофенольних компонентів, що дозволяють уникнути побуріння м'якоті плода на розрізі та задовольнити потреби ринку та попиту споживачів високоякісною продукцією баклажана [17, 18, 19, 20].

В даний час селекція баклажану на гетерозис – один з напрямів, що розвиваються в

crops, including eggplant, which is important for providing the population with sufficient amounts of biologically valuable products. Hence, the discovery of new sources of valuable indicators of high performance and its constituents under variable growing conditions forms a basis for solving the problem of creating competitive cultivars and hybrids with desirable parameters.

S. melongena L. is extensively investigated in breeding studies in countries with large industrial production (Western Europe, Turkey, India, China, Japan) [11]. Most cultivars and F1 hybrids differ phenotypically and are results of breeding over the past 30-40 years. Some African countries also breed new cultivars of the species *S. aethiopicum* L., but on a small scale because of the economic, social and political situations in this region.

The primary universally recognized objectives of *S. melongena* L. breeding include: resistance to diseases (fusarium wilt – *Fusarium oxysporum* Schlecht, verticillium wilt – *Verticillium dahliae* Kleb., bacterial wilt – *Ralstonia solanacearum* (Smith) Yabuuchi et al.), insects (aphid *Aphis gossypii* Glover, cotton jassid *Amrasca biguttula* Ishida), nematode *Meloidagyne* spp., etc.; resistance or tolerance to abiotic stressors (drought, low or high temperatures, salinity); resistance to herbicides; parthenocarpy [12-15].

Performance, yield, and quality of products are particularly important characteristics, for which agricultural crops, including eggplant, are bred. Thus, the mean yield of eggplants is: in Africa – 19.2 t/ha; in Asia – 15.1 t/ha; in North America – 23.1 t/ha; in South America – 13.1 t/ha; in Europe – 28.3 t/ha. F1 hybrids often yield 40-50 t/ha; they ripe early, are uniform, and bear rich-colored fruits with excellent palatability and aroma and relatively long shelf life [11, 16].

Breeding for nutritional value is also relevant: high contents of dry matter, sugars, anthocyanins, and total phenolic compounds, low oxidation of polyphenols and ortho-dihydro phenols, which prevent browning of the fruit flesh on the cut, satisfying market needs and consumer demand for top-quality eggplants [17, 18, 19, 20].

Currently, heterotic eggplants are one of the breeding trends in Ukraine and abroad [21, 22, 23, 24].

Breeding for heterosis, as the most

Україні і за кордоном [21, 22, 23, 24].

Селекція на гетерозис як найбільш ефективний шлях вирішення проблеми стабільності продуктивності потребує додаткових розробок, підключення, окрім традиційних, новітніх методів селекції [25]. Необхідна також інформація про характер прояву ефекту гетерозису у гібридів F1 не лише за продуктивністю, а і за елементами її структури [16]. Актуальним є і характер успадкування ознак у наступних поколіннях [26, 27].

Наявність спеціалізованого вихідного матеріалу дає можливість для ефективного створення сортів і гібридів баклажана для задоволення потреб найвибагливішого споживача. Виділити вихідний матеріал (зразки з цінними господарськими ознаками) для включення його в селекційний процес дозволяє комплексна оцінка колекційного матеріалу [15, 28]. Вивчення світового генетичного потенціалу культури баклажана з використанням комплексного підходу при визначенні стабільних джерел різноманітних ознак, залучення їх в гібридизацію з подальшим використанням методів аналітичної селекції дозволяє створити різноманітний вихідний матеріал і плідно використовувати його в сортовій та гетерозисній селекції цієї культури [25, 29].

Саме тому дослідження були спрямовані на оцінку колекційного матеріалу з виділенням джерел цінних ознак, що мають високу норму реакції за продуктивністю та її складовими, та можуть бути використані у селекції сортів і гібридів, адаптованих до умов вирощування у північній частині Лівобережного Лісостепу України.

Метою роботи стало проведення скринінгу колекційного матеріалу баклажана за показниками продуктивності та виділення джерел цінних ознак – продуктивності, середньої маси товарного плоду, кількості плодів на рослині для селекції генотипів, придатних до вирощування в умовах північної частини Лівобережного Лісостепу України.

Матеріали, методи та умови дослідження

Експериментальні дослідження проведено впродовж 2021-2023 рр. у північній частині Лівобережного Лісостепу України, в центральному середньозволоженому районі Харківської області. Досліди було закладено на

effective way to solve the problem of stable performance, requires additional developments, i.e application, in addition to traditional breeding methods, state-of-the-art ones [25]. Information on the heterosis manifestation in F1 hybrids not only for their performance but also for its constituents is also important [16]. Data on the inheritance of traits by subsequent generations are also relevant, too [26, 27].

The availability of specialized starting materials allows for the effective creation of eggplant cultivars and hybrids to meet the needs of the most demanding consumer. Comprehensive assessments of collections help identify starting materials (accessions with valuable economic characteristics) for inclusion in breeding [15, 28]. Studies of the global genetic potential of the eggplant crop using a complex approach to detecting stable sources of different traits, involving them in hybridization with subsequent use of analytical breeding methods allow for the creation of diverse starting materials and efficiently use them in varietal and heterosis breeding of this crop [25, 29].

Hence, our studies were aimed at evaluating the collection and selecting sources of valuable traits, with wide norms of reaction for performance and its constituents, which can be used in the breeding of cultivars and hybrids adapted to growing in the northern Left-Bank Forest-Steppe of Ukraine.

The purpose of this study was to screen the eggplant collection for performance indicators and to select sources of valuable traits (performance, average marketable fruit weight, number of fruits per plant) for the breeding of genotypes suitable for cultivation in the northern Left-Bank Forest-Steppe of Ukraine.

Materials, Methods, and Conditions

The experiments were carried out in the northern Left-Bank Forest-Steppe of Ukraine, in the central moderately humid area of the Kharkivska Oblast, in 2021-2023. The experiments were carried out on soils typical for the forest-steppe zone - typical low-humus medium-loam chernozem on loesses (pH of salt extract - 5.7; total absorbed bases - 26.0 mg-eq per 100 g of soil; hydrolytic acidity - 2.8 mg-eq per 100 g of soil; humus content – 139.0 mg/kg; hydrolizable nitrogen - 139.0 mg/ru; mobile

типових для зони Лісостепу ґрунтах – чорнозем типовий малогумусний середньосуглинковий на лесових породах (рН сольової витяжки – 5,7; сума увібраних основ – 26,0 мг-екв на 100г ґрунту; гідролітична кислотність – 2,8 мг-екв на 100г ґрунту; вміст гумусу – 4,3 %; азоту, що гідролізується, – 139,0 мг/кг; рухомого фосфору – 106–119 мг/кг і обмінного калію – 93 мг/кг ґрунту) [30]. Клімат зони проведення досліджень є помірно-континентальним [31]. Досліди було розташовано на природному інфекційному фоні.

Об'єктом досліджень слугували колекційні зразки баклажана – 21 сорт з семи країн світу (з України, Німеччини, Італії, США, Таїланду, Китаю та ін.) та 10 гібридів F1 з п'яти країн світу (Нідерланди, Франція, Італія, Китай та ін. Стандартами слугували сорт Алмаз (Україна) та гібрид Vibo F1 (Нідерланди). Досліди проводили без повторень. Облікова площа ділянки становила 5,04 м². Дослідні ділянки дворядкові по 16 рослин. Проведено оцінку потенціалу продуктивності колекції баклажана за продуктивністю та її складовими. Збирання і облік урожаю у розсаднику проводили вручну, ваговим методом з визначенням середньої маси товарного плоду.

Розсаду вирощували в плівковій теплиці з аварійним обігрівом. Посів насіння проводили в касети чарункою 2,5×2,5 см у третій декаді березня. У третій декаді квітня пересаджували рослини в горщики об'ємом 0,4 л. Технологія вирощування рослин загальноприйнята для зони Лісостепу України [32, 33]. Висаджування розсади на постійне місце відбувалось у третій декаді травня та істотно залежало від погодних умов. Схема посадки у дослідах 0,45 м × 0,7 м.

За період вегетації проводились два-три ручних прополювання, поливи, міжрядні обробітки ґрунту, обробки інсектицидами проти попелиць, павутинного кліща та колорадського жука. Живлення та захист рослин баклажана проводили згідно з науково-практичними рекомендаціями [34]. Дослідження проводили у відповідності до загальноприйнятих методик з селекційної роботи [35]. Відбір та оцінку колекційних зразків проводили згідно з рекомендаціями [36-38]. Статистичну та математичну обробку одержаних результатів досліджень проводили з використанням програми Statistica 6.

phosphorus – 106–119 mg/kg soil; exchangeable potassium - 93 mg/ru of soil) [30]. The climate in the study location is temperate-continenta [31]. The experiments were carried out against natural infectious background.

Collection eggplant accessions were studied: 21 cultivars from seven countries worldwide (Ukraine, Germany, Italy, the USA, Thailand, China, etc.) and 10 F1 hybrids from five countries (Netherlands, France, Italy, China, etc.). Cv. 'Almaz' (Ukraine) and hyb. 'Bibo' F1 (Netherlands) were used as references. The experiments were conducted without replications. The plot area was 5.04 m². Each plot contained 2 rows with 16 plants in each row. The potential performance of the eggplant collection was evaluated by the performance itself and its constituents. Harvesting and recording of the crop in the nursery was carried out manually. To determine the average marketable fruit weight, we weighed eggplants.

Seedlings were grown in a film greenhouse with emergency heating. Seeds were sown in cassettes with 2.5×2.5 cm wells within the third 10 days of March. Within the third 10 days of April, plants were transplanted into 0.4 L pots. The growing technology is traditional for the forest-steppe zone of Ukraine [32, 33]. Seedlings were planted in a permanent place within the third 10 days of May and this time significantly depended on weather conditions. The planting array in the experiments was 0.45 m × 0.7 m.

During the growing periods, weeds were eradicated manually twice or three times; plants were watered, inter-rows were tilled, and insecticides were applied against aphids, spider mites, and potato beetles as needed. Eggplants were fertilized and protected as per the scientific and practical recommendations [34]. The study was conducted by conventional breeding methods [35]. Collection accessions were sampled and evaluated as per the recommendations [36-38]. Data were statistically processed in Statistica 6.

Таблиця 1. Характеристика колекційних зразків баклажана, середня за 2021-2023 рр., г/рослину
Table 1. Performance of the collection eggplant accessions, mean for 2021-2023, g/plant

№ каталогу зразка [National Catalog ID]	Назва зразка [Accession]	Країна походження [Country of origin]	Середнє за роками [Mean] (\bar{X})	До стандарту, % [Related to the reference, %]	До стандарту, +/- [to/from the reference]
<i>Сорту [Cultivars]</i>					
198	Алмаз (стандарт) [Almaz (reference cultivar)]	UKR	1506,33	100,00	0,00
146	Геліос [Helios]	CHN	776,00	51,52	-730,33
13	Віронік [Vironik]	CHN	1426,67	94,71	-79,66
76	Long Violet	DEU	1782,00	118,30	275,67
432	Rosa Bianka di Catania	ITA	1273,33	84,53	-233,00
433	Bambina	ITA	869,33	57,71	-637,00
193	Luisiana Long Green	USA	1043,33	69,26	-463,00
384	Thai Long Green	TAI	920,67	61,12	-585,66
425	Hangqi №1 [Hangqi No1]	CHN	948,93	63,00	-557,40
422	Zelkilo	CHN	1701,67	112,97	195,34
418	Xingyuun	CHN	476,67	31,64	-1029,66
421	Daejeon Puurple	CHN	1656,00	109,94	149,67
420	Dazibao Long	CHN	551,33	36,60	-955,00
428	Hangqi №1-2 [Hangqi No1-2]	CHN	929,33	61,70	-577,00
383	Turkish Orange	TUR	882,33	58,57	-624,00
54	Універсал-6 [Universal-6]	RUS	1186,00	78,73	-320,33
34	Чорний Красавец [Chornyi Krasavets]	RUS	1097,67	72,87	-408,66
33	Марафонец [Marafonets]	RUS	1156,00	76,74	-350,33
18	Морячок [Moriachok]	RUS	982,67	65,24	-523,66
38	Лебединий [Lebedynyi]	RUS	1093,33	72,58	-413,00
41	Зелененький [Zelenenkyi]	RUS	1233,33	81,88	-273,00
<i>Середнє за колекцією [Mean in the collection] (\bar{X})</i>			1118,71	72,98	-407,00
<i>X_{min}</i>			476,67	31,64	-1029,66
<i>X_{max}</i>			1782,00	118,30	275,67
<i>$A_m = X_{max} - X_{min}$</i>			1305,33	86,66	1305,33
<i>$S_{\bar{X}_{сер}}$ [SE]</i>			76,46		
<i>S</i>			350,4		
<i>Ss</i>			54,07		
<i>V [CV]</i>			31,32		
<i>S_V</i>			4,83		
<i>HIP₀₅ [LSD₀₅]</i>			159,80		
<i>Гібриди F₁ [F₁ hybrids]</i>					
434	Bibo F ₁ (стандарт) [(reference hybrid)]	NLD	1623,00	100,00	0,00
1	Klorinda F ₁	NLD	1204,00	74,18	-419,00
435	Farama F ₁	FRA	1065,33	65,64	-557,67
60	Mari F ₁	ITA	1323,33	81,54	-299,67
437	Gordita F ₁	ITA	1196,67	73,73	-426,33
436	Briska F ₁	ITA	1182,00	72,83	-441,00
424	Puurple Dragon F ₁	CHN	1075,00	66,24	-548,00
15	П'ятачок F ₁ [Piatachok F ₁]	RUS	1169,00	72,03	-454,00
52	Галчонок F ₁ [Halchonok F ₁]	RUS	1100,67	67,82	-522,33
40	Ізумрудний F ₁ [Izumrudnyi F ₁]	RUS	1458,67	89,87	-164,33
<i>Середнє за колекцією [Mean in the collection] (\bar{X})</i>			1239,77	76,39	-425,81
<i>X_{min}</i>			1065,33	65,64	-557,67
<i>X_{max}</i>			1458,67	89,87	-164,33

$A_m = X_{max} - X_{min}$	393,34	24,23	393,34
$S_{xср} [SE]$	56,78		
S	179,6		
S_s	40,15		
$V [CV]$	14,48		
S_V	3,24		
$HIP_{05} [LSD_{05}]$	128,33		

Результати та обговорення

За результатами досліджень 21 колекційного зразка та 10 гібридів F1 баклажана рівень їх продуктивності був різним: нижчим за стандарти, вищим за них та на рівні стандартів (табл. 1).

В середньому у колекції сортів значення продуктивності становило – 1118,71 г / росл. при розмаху варіювання ознаки від 476,67 г / росл. до 1782,00 г / росл., що у порівнянні зі стандартом становило від -1029,66 г / росл. (31,64 %) до 275,67 г / росл. (118,3 %) при амплітуді її варіювання 1305,33 г / росл. (86,66 %), що свідчить про значний її рівень ($V=31,32$ %) як у межах усього колекційного різноманіття, так і у межах умов вирощування. Середнє відношення зразків колекції до стандарту становило 72,98 %, а середнє значення показника «+/- до стандарту» становило -407,00 г / росл. (табл. 1).

Значний ступінь варіювання ознак продуктивності був відзначений і у дослідженнях інших вчених. Так Кацькою А.Г. за вивчення 30 колекційних зразків баклажана в умовах Криму був встановлений значний ступінь мінливості ознак «продуктивність» та «середня маса товарного плоду» [39, 40]. Результати досліджень підтверджені і групою селекціонерів Придністровського НДІ сільського господарства під керівництвом А.А. Кушнарьова, ними також був встановлений значний рівень варіювання продуктивності в умовах Молдови [8].

За аналізом продуктивності колекційних зразків виділено зразки з найвищим її рівнем у порівнянні із стандартом: Zelkilo (1701,67 г / росл.) з Китаю та Long Violet (1782,00 г / росл.) з Німеччини, перевищення яких над стандартом Алмаз (1506,33 г / росл.) становило від 9,94 % до 18,00 %, що вірогідно на 0,05 рівні значущості. Зразки Daejeon Purple (1656,00 г / росл.) з Китаю та Віронік (1426,67 г/росл.) селекції ІОБ НААН (Україна) за продуктивністю були на рівні стандарту. Усі інші зразки колекції за ознакою продуктивності значно поступалися стандарту

Results and Discussion

The results on 21 eggplant cultivars and 10 F1 hybrids showed that their performance was different: worse or better than, or similar to that of the corresponding reference (Table 1).

The mean performance of the collection cultivars was 1,118.71 g/plant, with the individual cultivar's performance ranging from 476.67 g/plant to 1,782.00 g/plant, or from minus 1,029.66 g/plant (31.64%) from the performance of the reference cultivar to plus 275.67 g/plant (118.3%) to the performance of the reference cultivar. So the variation amplitude was 1,305.33 g/plant (86.66 %), indicating wide variability ($CV=31.32$ %) both within the collection and depending on growing conditions. The mean ratio of the collection cultivars to the reference was 72.98%, and the mean value of the "+/- to/from the reference's performance" parameter was -407.00 g/plant. (Table 1).

Considerable variation in performance parameters was also noted in other scientists' studies. For example, Katska A.H. investigated 30 collection eggplant accessions in the Crimea and reported a significant variability of the "performance" and "average marketable fruit weight" characteristics [39, 40]. Our results are also confirmed by breeders of the Transnistrian Research Institute of Agriculture guided by A.A. Kushnaryov, who also noted a significant variability of performance in Moldova [8].

Analysis of the performance in the collection allowed us to distinguish accessions with the best performance compared to the references: cv. 'Zelkilo' (1,701.67 g/plant) from China and cv. 'Long Violet' (1,782.00 g/plant) from Germany, which yielded more than reference cv. 'Almaz' (1,506.33 g/plant) by 9.94% and 18.00%, respectively (the difference is significant at the 0.05 level). Cv. 'Daejeon Purple' (1,656.00 g/plant) from China and 'Vironik' (1,426.67 g/plant) bred at the IVMG NAAS (Ukraine) yielded similarly to the reference cultivar. The other cultivars in the collection were significantly inferior to the

і їх відношення до стандарту становило від 36,60 % до 84,53 %.

В той же час, в цілому у колекції гібридів F1 середнє значення рівня прояву продуктивності становило 1239,77 г / росл. при розмаху її варіювання від 1065,33 до 1458,67 г / росл. і її значенні у стандарту 1623,00 г / росл. Це значно менше, ніж по зразках, і у порівнянні зі стандартом становило від -557,67 г / росл. (65,64 %) до -164,33 г / росл. (89,87 %) при амплітуді варіювання 557,67 г / росл. (24,23 %). Слід відзначити середній рівень варіювання ознаки ($V=14,48$ %), що свідчить про більшу стабільність продуктивності гібридів, їх вищу адаптивну здатність до умов вирощування порівняно із сортами. Амплітуда варіювання значення показника «+/- до стандарту» склала 393,34 г / росл.

За результатами аналізу потенціалу продуктивності колекційних гібридів F1 слід зазначити, що усі гібриди істотно поступалися стандарту Bibo F1 (1623,00 г / росл.), і відношення їх показників до стандарту становило від 65,64 до 89,87 % при отриманні меншої продуктивності плодів на -299,67 г / росл. – -557,67 г / росл. за середнього значення у колекції гібридів F1 відповідно 1239,77 г / росл., 76,39 % та -425,81 г / росл. Було виділено зразки, які мали найвищий рівень продуктивності, це два гібриди: Ізумрудний F1 (1458,67 г / росл.) з відношенням до стандарту 89,87 % та Марі F1 (1323,33 г / росл.) з відношенням значення продуктивності до стандарту 81,54 %. Це зразки з РФ та Італії, відповідно.

Таким чином, за результатами скринінгу та моніторингу колекційних зразків за продуктивністю дібрані вісім цінних джерел – п'ять зразків та три гібриди F1, які характеризувались відносно високою середньою продуктивністю за три роки досліджень ($\bar{X}=491426,67$ г / росл., 1782,00 г / росл., 1656,00 г / росл., 1701,67 г / росл., 1323,33 г / росл. 1458,67 г / росл., відповідно) для використання в селекції високоврожайних генотипів. У тому числі, підтверджена цінність стандартів при селекції на підвищення продуктивності ($\bar{X} = 1506,33$ г / росл. та 1623,00 г / росл., відповідно).

Дослідженнями встановлено що однією з основних складових продуктивності виступає ознака «середня маса товарного плоду». Отримана у результаті скринінгу характеристика колекційних зразків та гібридів

reference cultivar in terms of performance and their ratio to the reference cultivar ranged from 36.60% to 84.53%.

At the same time, the mean performance of the collection F1 hybrids was 1,239.77 g/plant, ranging from 1,065.33 to 1,458.67 g/plant. The reference hybrid's performance was 1,623.00 g/plant. The variability of the hybrids' performance was significantly lower than the cultivars': from -557.67 g/plant (65.64 %) to -164.33 g/plant (89.87%) compared to the reference hybrid, with an amplitude variation of 557.67 g/plant (24.23%). A moderate variation of this trait among the hybrids (CV=14.48%) should be highlighted, as it indicates greater stability of the hybrids' performance and their higher adaptability to growing conditions compared to the cultivars. The variation amplitude of the "+/- to/from the reference performance" parameter was 393.34 g/plant.

Analysis of the potential performance in the collection F1 hybrids showed that all hybrids yielded significantly less than reference hybrid. 'Bibo' F1 (1,623.00 g/plant) and the collection F1 hybrid/reference hybrid ratio ranged from 65.64 to 89.87%, i.e. the fruit productivity was lower than that of the reference cultivar or -164.33 g/plant to -557.67 g/plant, with the mean values for the collection F1 hybrids of 1,239.77 g/plant, 76.39%, and -425.81 g / plant, respectively. Two high-performance hybrids were selected: 'Izumrudnyi' F1 (1,458.67 g/plant) with the 'Izumrudnyi' F1/reference hybrid performance ratio of 89.87% and 'Mari' F1 (1,323.33 g/plant) with the 'Mari' F1/reference hybrid performance ratio of 81.54%. These accessions are from the Russian Federation and Italy, respectively.

Thus, based on the results of screening and monitoring of the collection accessions, eight valuable sources of performance were selected: five cultivars and three F1 hybrids, which were noticeable for relatively high mean performance across the three study years ($\bar{X}=1,426.67$ g/plant, 1,782.00 g/plant, 1,656.00 g/plant, 1,701.67 g/plant, 1,323.33 g/plant, and 1,458.67 g/plant). These accessions can be used in the breeding of high-yielding genotypes. In addition, the reference accessions' value for breeding for increased performance was confirmed ($\bar{X} = 1,506.33$ g/plant and 1,623.00 g/plant in the reference cultivar and hybrid, respectively).

за ознакою «середня маса товарного плоду» наведена у таблиці 2.

Average marketable fruit weight is known to be one of the main constituents of performance. The collection cultivars and hybrids were screened for this characteristic and the results are summarized in Table 2.

Таблиця 2. Характеристика колекційних зразків баклажана за ознакою «середня маса товарного плоду», середнє за 2021-2023 рр., г

Table 2. Average marketable fruit weight in the collection eggplant accessions, mean for 2021-2023, g.

№ каталогу зразка [National Catalog ID]	Назва зразка [Accession]	Країна походження [Country of origin]	Середнє за роками [Mean (X)]	До стандарту, % [Related to the reference, %]	До стандарту, +/- [+/- to/from the reference]
<i>Сорту [Cultivars]</i>					
198	Алмаз (стандарт) [Almaz (reference cultivar)]	UKR	236,19	100,00	
146	Геліос [Helios]	UKR	321,58	136,15	85,39
13	Віронік [Vironik]	UKR	220,48	93,35	-15,71
76	Long Violet	DEU	240,60	101,87	4,41
432	Rosa Bianca di Catania	ITA	330,30	139,84	94,11
433	Bambina	ITA	165,08	69,89	-71,11
193	Luisiana Long Green	USA	168,52	71,35	-67,67
384	Thai Long Green	TAI	121,71	51,53	-114,48
425	Hangqi №1 [Hangqi No1]	CHN	79,33	33,59	-156,86
422	Zelkilo	CHN	526,83	223,05	290,64
418	Xingyuun	CHN	311,00	131,67	74,81
421	Daeyeon Puurple	CHN	454,95	192,62	218,76
420	Dazibao Long	CHN	121,27	51,34	-114,92
428	Hangqi №1-2 [Hangqi No1-2]	CHN	76,08	32,21	-160,11
383	Turkish Orange	TUR	66,92	28,33	-169,27
54	Універсал-6 [Universal-6]	RUS	228,56	96,77	-7,63
34	Чорний Красавец [Chomyi Krasavets]	RUS	265,61	112,46	29,42
33	Марафонец [Marafonets]	RUS	217,18	91,95	-19,01
18	Морячок [Moriachok]	RUS	177,21	75,03	-58,98
38	Лебединий [Lebedynyi]	RUS	185,83	78,68	-50,36
41	Зелененький [Zelenenkyi]	RUS	142,41	60,29	-93,78
<i>Середнє за колекцією [Mean in the collection] (\bar{X})</i>			221,79	93,60	-15,12
<i>X_{min}</i>			66,92	28,33	-169,27
<i>X_{max}</i>			526,83	223,05	290,64
<i>$A_m = X_{max} - X_{min}$</i>			459,91	194,72	459,91
<i>$S_{x_{сер}} [SE]$</i>			25,86		
<i>S</i>			118,5		
<i>S_s</i>			18,29		
<i>$V [CV]$</i>			53,44		
<i>S_V</i>			8,25		
<i>$HIP_{05} [LSD_{05}]$</i>			54,05		
<i>Гібриди F_1 [F_1 hybrids]</i>					
434	Bibo F_1 (стандарт)[(reference hybrid)]	NLD	327,42	100,00	
1	Klorinda F_1	NLD	675,71	206,37	348,29
435	Farama F_1	FRA	262,28	80,11	-65,14
60	Mari F_1	ITA	190,38	58,15	-137,04
437	Gordita F_1	ITA	563,07	171,97	235,65

436	Briska F ₁	ITA	941,00	287,40	613,58
424	Puurple Dragon F ₁	CHN	94,64	28,91	-232,78
15	Пятачок F ₁ [Piatachok F ₁]	RUS	229,30	70,03	-98,12
52	Галчонок F ₁ [Halchonok F ₁]	RUS	197,92	60,45	-129,50
40	Ізумрудний F ₁ [Izumrudnyi F ₁]	RUS	392,11	119,76	64,69
<i>Середнє за колекцією [Mean in the collection] (\bar{X})</i>			387,38	120,35	66,63
<i>X_{min}</i>			94,64	28,91	-232,78
<i>X_{max}</i>			941,00	287,40	613,58
<i>A_m = X_{max} - X_{min}</i>			846,36	258,49	846,36
<i>S_{Xсер} [SE]</i>			83,34		
<i>S</i>			263,6		
<i>S_s</i>			58,93		
<i>V [CV]</i>			68,03		
<i>S_V</i>			15,21		
<i>HIPO₅ [LSD₀₅]</i>			188,36		

Встановлено, що в цілому у колекції зразків середнє значення рівня прояву ознаки «середня маса товарного плоду» становило 221,79 г при розмаху варіювання ознаки від 66,92 до 526,83 г, що у порівнянні зі стандартом становило від -169,27 (28,33 %) до 290,64 г (223,05 %) при амплітуді її варіювання 459,91 г (194,72 %). Середнє відношення сортозразків колекції до стандарту становило 93,60 %, а середнє значення показника «+/- до стандарту» становило -15,12 г. За результатами дослідження встановлено значний рівень варіювання ознаки (V=53,44 %), що узгоджується з даними отриманими іншими авторами [8, 40] і визначається високою залежністю прояву ознаки від умов вирощування за роки досліджень. Але навіть за таких умов виділені зразки з істотним перевищенням стандартів.

Так, за результатами аналізу потенціалу продуктивності колекційних зразків виділено зразки, які мали найвищий рівень прояву складової продуктивності – ознаки «середня маса товарного плоду» у порівнянні із стандартом, це п'ять зразків з 20, які істотно перевищили стандарт за середньою масою товарного плоду: зразок з України – Геліос (321,58 г), зразок з Італії – Rosa Bianca di Catania (330,30 г), три зразки з Китаю — Zelkilo (526,83 г), Xingyuun (311,00 г), Daejeon Puurple (454,95 г), перевищення яких над стандартом було від 31,67 до 123,05 %, що відповідало межам від 74,81 до 290,64 г. Ще п'ять зразків були на рівні стандарту за середньою масою товарного плоду: зразок з України – Віронік (220,48 г), зразок з Німеччини – Long Violet (240,60 г) та три зразки з РФ – Чорний Красаец (265,61 г),

The mean value of the "average marketable fruit weight" characteristic in the collection cultivars was 221.79 g, with a variation of 66.92 - 526.83 g. In comparison with the reference cultivar, it was from minus 169.27 (28.33 %) to plus 290.64 g (223.05 %), with a variation amplitude of 459.91 g (194.72 %). The mean collection cultivar/reference cultivar ratio was 93.60% and the mean value of the "+/- to/from the reference" parameter was -15.12 g. The study demonstrated a significant variation of this trait (CV=53.44%), which is in agreement with other authors' data [8, 40]. This trait expression was shown to be strongly dependent on growing conditions in the study years. Nevertheless, even with conspicuous weather dependence, we identified accessions that were significantly superior to the reference ones.

Thus, analysis of the potential performance of the collection cultivars allowed us to distinguish cultivars with the greatest values of the important constituent of the performance, average marketable fruit weight, which outperformed the reference cultivar. Five out of 20 cultivars were significantly superior to the reference cultivar in terms of average marketable fruit weight: Ukrainian cv. 'Helios' (321.58 g), Italian cv. 'Rosa Bianca di Catania' (330.30 g), three Chinese cvs. 'Zelkilo' (526.83 g), 'Xingyuun' (311.00 g), and 'Daejeon Puurple' (454.95 g). Their fruits were 74.81 to 290.64 g or 31.67 to 123.05% heavier than the reference ones. Five more cultivars had the "average marketable fruit weight" characteristic similar to that in the reference cultivar: Ukrainian cv. 'Vironik' (220.48 g), German cv. 'Long Violet' (240.60 g) and three

Марафонец (217,18 г), Универсал-6 (228,56 г), і їх відношення до стандарту становило 91,95-112,46 %.

У той же час, в цілому по колекції гібридів F1 середній рівень прояву ознаки «середня маса товарного плоду» становив – 387,38 г при розмаху варіювання ознаки від 94,64 до 941,00 г, що порівняно зі стандартом становило від -232,78 г. (28,91 %) до 613,58 г (287,40 %) при амплітуді варіювання 846,36 г (258,49 %), що свідчить також про значний рівень варіювання ознаки ($V=68,03$ %) і узгоджується з даними, отриманими за колекційними зразками. Середнє відношення зразків колекції до стандарту становило 120,35 %, а середнє значення показника «+/- до стандарту» становило -66,63 г.

За результатами аналізу складової потенціалу продуктивності колекційних гібридів F1 – «середньої маси товарного плоду» слід зазначити, що чотири гібриди з дев'яти істотно перевищили стандарт Bibo F1 (327,42 г): це гібрид з Нідерландів Klorinda F1 (675,71 г), два італійських гібриди – Gordita F1 (563,07 г) та Briska F1 (941,00 г) та один гібрид з РФ Ізумрудний F1 (392,11 г). Перевищення їх над стандартом становило від 19,76 % до 187,4 %, що відповідало 64,69-613,58 г. Найвищу масу товарного плоду мав гібрид Briska F1. Чотири гібриди мали показники на рівні стандарту за ознакою «середня маса товарного плоду»: зразок із Франції – Farama F1 (262,28 г), зразок із Італії Mari F1 (190,38 г) та два зразки із РФ – Пятачок F1 (229,30 г), Галчонок F1 (197,92), відношення рівня прояву ознаки яких до стандарту становило 58,15-80,11 %.

Таким чином, за результатами скринінгу та моніторингу колекційних зразків за ознакою «середня маса товарного плоду» дібрано 14 цінних джерел – десять зразків та чотири гібриди F1, які характеризувались високим рівнем прояву ознаки «середня маса товарного плоду» за три роки досліджень, для використання в селекції високоврожайних крупноплідних генотипів. Найвищу масу товарного плоду – 526,83 г мав зразок Zelkilo з Китаю, а найменшу – три зразки: зразок з Турції Turkish Orange - 66,92 г та два зразки з Китаю: Hangqi №1-2 та Hangqi №1 (76,08 та 79,33 г, відповідно). Ці джерела можуть бути використані у селекційній роботі на крупноплідність та дрібноплідність генотипів баклажана.

Ще одна ознака, яка є складовою даної

Russian cvs. 'Chornyi Krasavets' (265.61 g), 'Marafonets' (217.18 g), and 'Universal-6' (228.56 g); their ratio to the reference cultivar was 91.95-112.46%.

At the same time, in the collection F1 hybrids, the mean value of the "average marketable fruit weight" trait was 387.38 g, with a variation range of 94.64 to 941.00 g; compared to the reference hybrid, it meant from minus 232.78 g (28.91 %) to plus 613.58 g (287.40 %), with a variation amplitude of 846.36 g (258.49 %), also indicating a significant variability of this characteristic ($CV=68.03$ %) and being consistent with data on the collection cultivars. The mean ratio of the collection hybrids to the reference hybrid was 120.35% and the mean value of the "+/- to/from the reference" parameter was -66.63 g.

Analysis of the constituent of the potential performance of F1 hybrids, average marketable fruit weight, showed that four out of nine hybrids were significantly superior to reference hyb. 'Bibo' F1 (327.42 g): hyb. 'Klorinda' F1 hybrid from the Netherlands (675.71 g), two Italian hybs. 'Gordita' F1 (563.07 g) and 'Briska' F1 (941.00 g) and one Russian hyb. 'Izumrudnyi' F1 (392.11 g). Their fruits were 64.69-613.58 g or 19.76-187.4% heavier than reference ones. Hyb. 'Briska' F1 had the heaviest marketable fruits. Four hybrids had the "average marketable fruit weight" parameter at the reference level: French hyb. 'Farama' F1 (262.28 g), Italian hyb. 'Mari' F1 (190.38 g) and two Russian hybs. 'Piatachok' F1 (229.30 g), and 'Galchonok' F1 (197.92); the collection hybrid/reference hybrid ratio was 58.15-80.11%.

Thus, screening of the collection accessions for the "average marketable fruit weight" trait distinguished 14 valuable sources: ten cultivars and four F1 hybrids, which had heavy eggplants in the three study years. They can be used in the breeding of high-yielding large-fruited genotypes. The heaviest weight of marketable fruit (526.83 g) was recorded for cv. 'Zelkilo' from China; three accessions, viz. Turkish cv. 'Turkish Orange' (66.92 g) and two Chinese cvs. 'Hangqi No1-2' and 'Hangqi No1' (76.08 and 79.33 g, respectively) had the lightest fruits. These sources can be used in breeding for large or small eggplant fruits.

The "number of fruits per plant" characteristic is another constituent of performance. By hybridizing sources of large

ознаки - «кількість плодів на рослині». Поєднуючи гібридизацією джерела крупноплідності та великої кількості плодів на рослині, можна досягти високого рівня продуктивності, тому нами проведено скринінг колекційних зразків ще і за цією ознакою.

Результати скринінгу колекційних зразків баклажана за ознакою «кількість плодів на рослині» наведені у таблиці 3.

fruits and sources of large numbers of fruits per plant, one can achieve a high performance. Hence, we screened the collection for this feature as well.

The results of the eggplant collection screening for the "number of fruits per plant" characteristic are summarized in Table 3.

Таблиця 3. Характеристика колекційних зразків баклажана за ознакою «кількість плодів на рослині», середнє за 2021-2023 рр., шт. /росл.

Table 3. Number of fruits per plant in the collection eggplant accessions, mean for 2021-2023.

№ каталог зразка [National Catalog ID]	Назва зразка [Accession]	Країна походження [Country of origin]	Середнє за роками [Mean] (X)	До стандарту, % [Related to the reference, %]	До стандарту +/- [+/- to/from the reference]
<i>Зразки [Cultivars]</i>					
198	Алмаз (стандарт) [Almaz (reference cultivar)]	UKR	6,32	100,00	0,0
146	Геліос [Helios]	UKR	2,41	38,21	-3,90
13	Віронік [Vironik]	UKR	6,45	102,18	0,15
76	Long Violet	DEU	7,35	116,34	1,05
432	Rosa Bianka di Catania	ITA	3,85	61,03	-2,45
433	Bambina	ITA	5,38	85,13	-0,92
193	Luisiana Long Green	USA	6,18	97,92	-0,12
384	Thai Long Green	TAI	7,58	119,96	1,28
425	Hangqi №1 [Hangqi No1]	CHN	11,99	189,78	5,69
422	Zelkilo	CHN	3,23	51,12	-3,07
418	Xingyuun	CHN	1,53	24,23	-4,77
421	Daejeon Puurple	CHN	3,65	57,72	-2,65
420	Dazibao Long	CHN	4,55	72,05	-1,75
428	Hangqi №1-2 [Hangqi No1-2]	CHN	12,25	193,96	5,95
383	Turkish Orange [Turkish Orange]	TUR	13,19	208,87	6,89
54	Універсал-6 [Universal-6]	RUS	5,20	82,34	-1,10
34	Чорний Красавец [Chomyi Krasavets]	RUS	4,15	65,67	-2,15
33	Марафонец [Marafonets]	RUS	5,32	84,17	-0,98
18	Морячок [Moriachok]	RUS	5,55	87,81	-0,75
38	Лебединий [Lebedynyi]	RUS	5,88	93,07	-0,42
41	Зелененький [Zelenenkyi]	RUS	8,66	137,09	2,36
<i>Середнє по колекції [Mean in the collection] (\bar{X})</i>			6,22	98,51	-0,08
X_{min}			1,53	24,23	-4,77
X_{max}			13,19	208,87	6,89
$A_m - X_{max} - X_{min}$			11,66	184,64	11,66
$S_{xcep} [SE]$			0,68		
S			3,10		
S_s			0,48		
$V [CV]$			50,22		
S_V			7,75		
$HIP_{05} [LSD_{05}]$			1,42		
<i>Гібриди F₁ [F₁ hybrids]</i>					
434	Bibo F ₁ (стандарт) [(reference hybrid)]	NLD	4,94	100,00	0,00
1	Klorinda F ₁	NLD	1,78	36,06	-3,16
435	Farama F ₁	FRA	4,07	82,44	-0,83

60	Mari F ₁	ITA	6,95	140,56	2,05
437	Gordita F ₁	ITA	2,14	43,37	-2,76
436	Briska F ₁	ITA	1,26	25,44	-3,64
424	Puurple Dragon F ₁	CHN	11,37	230,18	6,47
15	Пятачок F ₁ [Piatachok F ₁]	RUS	5,17	104,62	0,27
52	Галчонок F ₁ [Halchonok F ₁]	RUS	5,57	112,73	0,67
40	Ізумрудний F ₁ [Izumrudnyi F ₁]	RUS	3,71	75,16	-1,19
Середнє по колекції [Mean in the collection] (\bar{X})			4,70	95,06	-0,21
X_{min}			1,26	36,06	-3,64
X_{max}			11,37	230,18	6,47
$A_m = X_{max} - X_{min}$			10,11	194,12	10,11
$S_{xcep} [SE]$			0,94		
S			3,00		
S_s			0,66		
$V [CV]$			63,03		
S_V			14,09		
$HIP_{05} [LSD_{05}]$			2,12		

Встановлено, що в цілому по колекції зразків середнє значення ознаки «кількість плодів на рослині» становило 6,22 шт. / росл. за розмаху варіювання ознаки від 1,53 шт / росл. до 13,19 шт / росл., що порівняно зі стандартом становило від -4,77 (24,23 %) до 6,89 г (208,87 %) при амплітуді варіювання 11,66 шт / росл. (184,64 %). Про значний рівень варіювання ознаки свідчить і високий коефіцієнт варіації який становить -50,22 %, що підтверджує велике різноманіття колекційного матеріалу за цією ознакою. Середнє відношення зразків колекції до стандарту становило 93,51 %, а середнє значення показника «+/- до стандарту» становило -0,08 шт / росл.

Виділено зразки з найвищим рівнем прояву ознаки «кількість плодів на рослині» у порівнянні із стандартом, це сім сортів з 20: Віронік (Україна) – 6,45 шт / росл., Long Violet (Німеччина) – 7,35 шт / росл., Thai Long Green (Таїланд) – 7,58 шт / росл.; два зразки з Китаю - Hangqi №1 (11,99 шт / росл.) та Hangqi №1-2 (12,25 шт / росл.), зразок із Туреччини Turkish Oran Hangqi №1-2ge (13,19 шт / росл.), та один зразок з РФ – Зелененький (8,69 шт / росл.), перевищення яких над стандартом було від 2,18 % до 108,87 %, що відповідало 0,15 г до 6,89 шт / росл. З цих сортів лише чотири: Hangqi №1, Hangqi №1-2, Turkish Oran Hangqi №1-2ge та Зелененький мали істотне перевищення за цією ознакою над стандартом, а інші перебували на рівні стандарту. Ще два зразки були на рівні стандарту, дещо поступаючись йому за середньою кількістю

The mean number of fruits per plant across the collection cultivars was 6.22, with a variation of 1.53-13.19 fruits/plant. Compared to the reference cultivar, it meant from minus 4.77 (24.23%) to plus 6.89 g (208.87%), with a variation amplitude of 11.66 fruits/plant (184.64%). A high coefficient of variation (50.22%) confirmed a great variability of this trait in the collection. The mean ratio of the collection cultivars to the reference cultivar was 93.51% and the mean value of the "+/- to/from the reference" parameter was -0.08 fruits/plant.

Out of 20, we selected seven cultivars with the greatest number of fruits per plant compared to the reference cultivar: cv. 'Vironik' (Ukraine) had 6.45 fruits/plant, cv. 'Long Violet' (Germany) - 7.35 fruits/plant, cv. 'Thai Long Green' (Thailand) – 7.58 fruits/plant, cv. - Hangqi No1 China - 11.99 fruits/plant), cv. 'Hangqi No1-2' (China) - 12.25 fruits/plant, cv. 'Turkish Orange' (Turkey) - 13.19 fruits/plant, and cv. 'Zelenenky' (Russian Federation) - 8.69 fruits./plant. They bore 0.15 fruits/plant to 6.89 fruits/plant more fruits or 2.18-108.87% more than the reference cultivar. Of these cultivars, only for four, viz. cvs. 'Hangqi No. 1', 'Hangqi No. 1-2', 'Turkish Orange', and 'Zelenenky', the increase in this characteristic over the reference cultivar was statistically significant, while the others were at the reference level. Two more cultivars bore fruits similarly to the reference cultivar, being

плодів на рослині, це зразки: Luisiana Long Green (6,18 шт / росл.) та Лебединий (5,88 шт / росл.), їх відношення до стандарту становило 93,07-97,92 %.

В той же час, в цілому по різноманіттю гібридів F1 середній рівень прояву ознаки «кількість плодів на рослині» становив 4,70 шт / росл. за розмаху варіювання ознаки від 1,26 шт / росл. до 11,37 шт / росл. У порівнянні зі стандартом це становило від -3,64 шт / росл. (36,06 %) до 6,47 / росл. (230,18 %) при амплітуді варіювання 10,11 шт / росл. (194,12 %). Відзначений також високий рівень варіювання цієї ознаки з коефіцієнтом варіації 63,03 %, що погоджується з даними за сортами. Середнє відношення різноманіття гібридів до стандарту становило 95,06 %, а середнє значення показника «+/- до стандарту» становило -0,21 шт / росл.

За результатами аналізу ознаки «кількість плодів на рослині» у колекційних гібридів F1 слід зазначити, що чотири гібриди з дев'яти перевищили стандарт Bibo F1 (4,94 шт / росл.): це італійський гібрид Mari F1 (6,95 шт / росл.), гібрид з Китаю - Puurple Dragon F1 (11,37 шт / росл.) та два гібриди з РФ – Пятачок F1 (5,17 шт / росл.) та Галчонок F1 (5,57 шт / росл.). Перевищення їх над стандартом становило від 4,62 % до 130,18 %, що відповідало 0,27-6,47 шт / росл, але істотне перевищення над стандартом мав лише один гібрид F1 – Puurple Dragon F1. (11,37 шт / росл.), що становить 230,18 % у відношенні до стандарту.

Таким чином, за результатами скринінгу та моніторингу колекційних зразків за ознакою «кількість плодів на рослині» для використання в селекції високоврожайних генотипів дібрано 13 цінних джерел – дев'ять зразків та чотири гібриди F1, які характеризувались високою кількістю плодів на рослині за три роки досліджень. Дев'ять виділених сортозразків характеризувались наступними значеннями ознаки: Віронік (6,45 шт / росл.), Long Violet (7,35 шт / росл.), Thai Long Green (7,58 шт / росл.), Hangqi №1 (11,99 шт / росл.) Hangqi №1-2 (12,25 шт / росл.), Turkish Oran Hangqi №1-2ge (13,19 шт / росл.), Зелений (8,69 шт / росл.), Luisiana Long Green (6,18 шт / росл.) та Лебединий (5,88 шт / росл.). Найбільшу кількість плодів на рослині мав зразок з Туреччини Turkish Orange Hangqi №1-2 – 13,19 шт / росл.

Аналізуючи гібриди, можемо зазначити, що як джерела ознаки доцільно

slightly inferior to it in terms of the mean number of fruits per plant: cv. 'Luisiana Long Green' (6.18 fruits/plant) and cv. 'Lebedynyi' (5.88 fruits/plant); their ratio to the reference cultivar was 93.07 and 97.92%, respectively.

At the same time, the mean number of fruits per plant among the collection F1 hybrids was 4.70, with a variation range of 1.26 - 11.37 fruits/plant. In comparison with the reference hybrid, this meant from minus 3.64 fruits/plant (36.06 %) to plus 6.47 fruits/plant (230.18%), with a variation amplitude of 10.11 fruits/plant (194.12%). A high variability of this trait was also indicated by a coefficient of variation of 63.03%, which agrees with data on the cultivars. The mean ratio of the collection hybrids to the reference hybrid was 95.06% and the mean value of the "+/- to/from the reference" was -0.21 fruits/plant.

Analysis of the "number of fruits per plant" characteristic in the F1 hybrids demonstrated that four out of nine hybrids were superior to reference hyb. 'Bibo' F1 (4.94 fruits/plant): Italian hyb. 'Mari' F1 (6.95 fruits/plant), Chinese hyb. 'Puurple Dragon' F1 (11.37 fruits/plant), Russian hyb. 'Piatachok' F1 (5.17 fruits/plant), and Russian hyb. 'Galchonok' F1 (5.57 plants/plant). Their gain over the reference hybrid ranged from 4.62% to 130.18%, corresponding to 0.27-6.47 fruits/plant, but the only F1 hybrid, which showed a statistically significant gain over the reference hybrid, was hyb. 'Puurple Dragon' F1 (11.37 fruits/plant), or 230.18% related to the reference hybrid.

Thus, in the screening and monitoring of the collection for the "number of fruits per plant" characteristic, 13 valuable sources were selected for the breeding of high-yielding genotypes: nine cultivars and four F1 hybrids, which bore a lot of fruits per plant in the three study years. The nine selected cultivars had the following values of the trait: cv. 'Vironik' (6.45 fruits/plant), cv. 'Long Violet' (7.35 fruits/plant), cv. 'Thai Long Green' (7.58 fruits/plant), cv. 'Hangqi No1' (11.99 fruits/plant), cv. 'Hangqi No1-2' (12.25 fruits/plant), cv. 'Turkish Orange' (13.19 fruits/plant), cv. 'Zelenenkyi' (8.69 fruits/plant), cv. 'Luisiana Long Green' (6.18 fruits/plant), and cv. 'Lebedynyi' (5.88 fruits/plant). The cultivar from Turkey, 'Turkish Orange', had the

використовувати в селекції чотири гібриди: Puurple Dragon F1, Mari F1, Пятачок F1 та Галчонок F1 (5,17-11,37 шт / росл.). Ці джерела ефективно можуть бути використані у селекційній роботі на збільшену кількість плодів на рослинах баклажана. Визначенням цінних для селекційної практики джерел продуктивності баклажана займаються селекціонери в усьому світі. Ними визначені сотні джерел цінних селекційних ознак [8, 9, 10, 14, 20, 22, 28, 40, 41], що підтверджує актуальність таких досліджень.

Результати досліджень свідчать про велике різноманіття колекції за потенціалом продуктивності (продуктивність зразків, середня маса товарного плоду, кількість плодів на рослині) що підтверджується високим рівнем варіювання ознаки та її складових як за зразками, так і гібридами F1 ($V=31,32-69,32$). Середній рівень варіювання відзначений лише у гібридів F1 за ознакою «продуктивність» ($V=14,48\%$).

З метою визначення, яка ж з двох складових продуктивності (маса плоду чи кількість плодів на рослині) більше впливає на формування продуктивності рослини, нами розраховано кореляцію між ними. За аналізом результатів досліджень встановлено, що продуктивність колекційних зразків баклажана в першу чергу залежить від прояву ознаки «середня маса товарного плоду» (табл. 4). Коефіцієнти кореляції (r) у цьому випадку дорівнювали 0,39-0,56 при -0,09-0,04 між продуктивністю і кількістю плодів на рослині. Отже, інтенсивність процесів формування плодів, їх розмір відіграє важливішу роль у формуванні і рівні прояву ознаки «продуктивність».

largest number of fruits per plant (13.19).

Analyzing the hybrids, we can note that it is advisable to use four hybrids as sources of the trait in breeding; they are hybs. 'Puurple Dragon' F1, 'Mari' F1, 'Piatachok' F1 and 'Galchonok' F1 (5.17-11.37 fruits/plant). These sources can be effectively used in breeding for an increased number of eggplant fruits per plant. Breeders worldwide seek eggplant sources of performance that can be valuable for breeding practice. They have identified hundreds of sources of valuable breeding traits [8, 9, 10, 14, 20, 22, 28, 40, 41], confirming the relevance of such research.

Our results indicate a great diversity of the collection in terms of potential performance (performance of the samples, average marketable fruit weight, number of fruits per plant), which is confirmed by wide variations of the trait and its constituents across both the cultivars and F1 hybrids ($CV=31.32 - 69.32$). The moderate variation was noted only for the F1 hybrids' performance ($CV=14.48\%$).

To determine which of the two performance constituents (fruit weight or number of fruits per plant) has a greater effect on plant productivity, we calculated correlation coefficients. It was found that the performance of the collection eggplant accessions primarily depended on the "average marketable fruit weight" characteristic (Table 4). The correlation coefficient (r) for this pair was 0.39-0.56, while it was -0.09-0.04 for correlation between performance and the number of fruits per plant. Therefore, the fruit formation intensity and fruit size are more important for performance.

Таблиця 4. Взаємозв'язок між загальною тривалістю вегетаційного періоду та його складовими, r
Table 4. Relationship between the performance and its constituents, r

Рік вивчення [Year]	Продуктивність [Performance]	
	середня маса товарного плоду [Average marketable fruit weight]	кількість плодів на рослині [Number of fruits per plant]
2021	0,39	-0,05
2022	0,56	-0,09
2023	0,53	0,04

Висновки

За результатами скринінгу 31 колекційного генотипа баклажана визначено 32 джерела цінних селекційних ознак. За ознаками, пов'язаними з продуктивністю, виділено джерела продуктивності та її складових: 5 за ознакою «продуктивність», з яких 3 селекційно цінних зразки з рівнем її прояву 1656,00 – 1782,00 г / росл. та 2 гібриди – з рівнем її прояву 1323,33-1458,67 г / росл.; 14 за ознакою «середня маса товарного плоду на рослині», з яких 10 зразків з рівнем прояву ознаки 217,18 г-526,83 г та 4 гібриди з рівнем прояву ознаки – 392,11-941,00; найменший рівень прояву ознаки мали три зразки (66,92-79,33 г) та один гібрид (94,64 г), які можуть бути використані у селекційній роботі на крупноплідність та дрібноплідність генотипів баклажана за ознакою «середня маса товарного плоду»; за ознакою «середня кількість плодів на рослині» виділено 13 цінних джерел, з яких дев'ять зразків з рівнем прояву ознаки від 6,45 шт / росл. до 13,90 шт / росл. та чотири гібриди (5,17-11,37 шт / росл.). Ці джерела можуть бути використані у селекційній роботі на збільшену кількість плодів на рослинах баклажана. Виділені зразки є джерелами цінних селекційних ознак, відносно стабільними за рівнем прояву цих ознак та характеризуються високими їх значеннями.

Результати досліджень свідчать про велике різноманіття колекції за ознаками продуктивності, що підтверджується середнім та високим рівнем їх варіювання. Також дослідженнями встановлено що «продуктивність» пов'язана з характером прояву її складових і у формуванні ознаки провідну роль відіграє ознака «середня маса товарного плоду» ($r=0,39-0,56$). Отже, за результатами досліджень встановлено характер прояву ознаки і виділено джерела підвищення продуктивності баклажана та її складових, що має важливе практичне значення в селекції сортів та гібридів F1 придатних до вирощування у північному Лісостепу України.

Conclusions

The screening of 31 collection eggplant genotypes allowed us to identify 32 sources of valuable breeding traits. Sources of performance and its constituents were identified: 5 sources of high performance, viz. 3 breeding-valuable accessions yielding 1,656.00 - 1,782.00 g/plant and 2 hybrids yielding 1,323.33-1,458.67 g/plant; 14 sources of a high value of the "average marketable fruit weight" characteristic, viz. 10 cultivars bearing fruits of 217.18 - 526.83 g and 4 hybrids bearing fruits of 392.11-941.00 g, and three cultivars (66.92-79.33 g) and one hybrid (94.64 g) with small fruits, which can be used in breeding for large or small eggplants, respectively; 13 valuable sources of a great mean number of fruits per plant, viz. nine accessions bearing 6.45 - 13.90 fruits/plant and four hybrids bearing 5.17-11.37 fruits/plant and these sources can be used in breeding an increased number of fruits on eggplant plants. The selected accessions are sources of valuable breeding traits, relatively stably showing high values of these traits.

The results indicate a great diversity of the collection in terms of performance, which is confirmed by moderate and wide variations. In addition, the study demonstrated that performance level was associated with levels of its constituents and the "average marketable fruit weight" characteristic played a leading role in the performance formation ($r=0.39-0.56$). Thus, expression levels of the traits were evaluated and the sources of increased performance of the eggplant crop and its constituents were identified, which is of great practical importance in the breeding of cultivars and F1 hybrids suitable for growing in the northern Forest-Steppe of Ukraine.

References

1. Doganlar S., Frary A., Daunay M.C., Lester R.N., Tanksley S.D. A comparative genetic linkage map of eggplant (*Solanum melongena*) and its implications for genome evolution in the Solanaceae. *Genetics*. 2002. Vol. 161. P. 1697-1711.
2. State Register of Varieties Suitable for Dissemination in Ukraine. Ministry of Agrarian Policy

- and Food of Ukraine. 2024. URL: <https://minagro.gov.ua/file-storage/reyestr-sortiv-roslin>. (Retrieved on 04/23/04/2024) [in Ukrainian]
3. Medicinal plants: encyclopedic guide / Ed. by A. M. Hrodzinskyi. Kyiv: Ukrainska Entsyklopediia 1992. 544 p. [in Ukrainian]
 4. Knapp S., Vorontsova M., Prohens J. Wild Relatives of the Eggplant (*Solanum melongena* L.: Solanaceae): New Understanding of Species Names in a Complex Group. PLoS ONE. 2013. No 8 (2). P. 1–12. URL: <https://journals.plos.org/plosone/article/metrics?id=10.1371/journal.pone.0057039> (retrieved on 09/10/2021).
 5. Isakova T.I. Eggplant. Pharmaceutical encyclopedia / Ed. by V. P. Chernykh. 3rd revised and extended edition. Kyiv: Morion. 2016. 1952 p. URL: <https://www.pharmencyclopedia.com.ua/article/1827/baklazhan>. (Retrieved on 07/14/2022). [in Ukrainian]
 6. Scientific basics of adaptation of agricultural systems to climate changes in the Southern Steppe of Ukraine. Monograph. Dedicated to the 100th anniversary of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine / edited by R.A. Vozhehova. Kherson: OLDI-PLUS, 2018. 752 p. [in Ukrainian]
 7. Serhiienko O.V., Shabetia O.M., Linnik Z.P., Serhiienko M.B., Povlin I.Ye. Selection of watermelon starting material by adaptability for breeding for suitability for intensive and organic growing technologies. Plant Breeding and Seed Production. 2023. Vol. 124. P. 45-55. DOI: 10.30835/2413-7510.2023.293879.
 8. Kushnaryov A.A, Obruchkov P. Yu. Cormorant selection for greenhouses and open fields. Știința în Nordul Republicii Moldova: realizări, probleme, perspective (6, Bălți, Moldova, 20-21 mai 2022). P. 214-216. URL: https://ibn.idsi.md/ro/vizualizare_articol/157524 (Retrieved on 03/04/2024). [in Russian]
 9. Demidov Ye.S., Kushnaryov A.A., Bronich O.P. Mainstreams and results of eggplant hybrid breeding. World Plant Resources: State and Prospects of Development: Abstracts of the 2nd International Scientific and Practical Conference (Kyiv, November 3, 2016). Kyiv, 2016. P. 34-35. [in Russian]
 10. Poliovyi M., Bozhko L. Yu., Barsukova O.A., Kostiukievych T.K. Impact of climate warming on eggplant and sweet pepper productivity in the steppe zone of Ukraine. Visnyk Poltavskoi Derzhavnoi Ahrarnoi Akademii. Poltava, 2022. No 1. P. 29-37. [in Ukrainian]
 11. FAO. Agricultural production statistics 2000–2022. Rome. FAOSTAT Analytical Briefs, 2023. No. 79. DOI:10.4060/cc9205en.
 12. Oladosu Y, Rafii MY, Arolu F, Chukwu SC, Salisu MA, Olaniyan BA, Fagbohun IK, Muftaudeen TK. Genetic diversity and utilization of cultivated eggplant germplasm in varietal improvement. Plants. 2021. Vol. 10, No 8. P. 1714. DOI:10.3390/plants10081714.
 13. Nahar N., Islam M.R., Uddin M.M., de Jong P., Struik P.C., Stomph T.J. Disease management in eggplant (*Solanum melongena* L.) nurseries also reduces wilt and fruit rot in subsequent plantings: A participatory testing in Bangladesh. Crop Protection. 2019. Vol. 120. P. 113–124. DOI:10.1016/j.cropro.2019.02.018.
 14. Nadjiev J.N., Turaev D.S., Khodjaev P.N. Promising, early ripening new lines of eggplant which is resistant to bulging nematodes. JournalNX - A Multidisciplinary Peer Reviewed Journal. 2020. Vol. 6, No 12. P. 361–364.
 15. Mat Sulaiman N.N., Rafii M.Y., Duangjit J., Ramlee S.I., Phumichai C., Oladosu Y., Datta D.R., Musa I. Genetic variability of eggplant germplasm evaluated under open field and glasshouse cropping conditions. Agronomy. 2020. Vol. 10, № 3. P. 436. DOI:10.3390/agronomy10030436.
 16. Shihab Md. Abdul Zabbar, Parveen Shahanaz, Rahim Md Abdur, Huda Kazi, Arif Md, Sharif Md, Rashid Md. Morphological characterization and genetic diversity analysis of yield and yield contributing parameters in brinjal (*Solanum melongena* L.) Genotypes. 2023. DOI:10.21203/rs.3.rs-3744782/v1.

17. Pessaraki M.M., Dris R. Pollination and breeding of eggplants. *Food, Agric. Environ.* 2004. Vol. 2. No 1. P. 218-219.
18. Sidhu A.S., Bal S.S., Behera T.K. et al. An outlook in hybrid eggplant breeding. *J. New Seeds.* 2005. Vol. 6. No 2-3. P. 15-29.
19. Naeem M.Y., Ugur S. Nutritional content and health benefits of eggplant. *Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology.* 2019. Vol. 7. No 3. P. 31-36.
20. Akhtar R., Solankey S., Aakanksha S., Kumari S. Variation in the Eggplant (*Solanum melongena*) Genotypes for Health-Promoting Bioactive Compounds and Agro-Morphological Traits. *Agricultural Research.* 2023. Vol. 12. P. 143–153. DOI:10.1007/s40003-022-00643-6.
21. Shabetia O.M. Eggplant breeding for heterosis. Optimization of the Breeding Process Based on Genetic Methods: Abstracts of the international conference. Kharkiv. 1999. P. 151-153. [in Russian]
22. Nyadanu D., Adu Amoah R., Kwarteng A.O., Akromah R., Aboagye L.M., Adu-Dapaah H., Dagadu F.K., Kyirika D., Joti K.G., Oppong G. Combining ability and genetic analysis of fruit and leaf yield in gboma eggplant. *African Crop Science Journal.* 2017. Vol. 25. No 1. P. 97-107.
23. Al-Hubaity A.I., Teli J.A. Cobining ability and heterosis in eggplant Mesopotamia. *Journal of Agricultural.* 2013. Vol. 41. No. 1. P. 23-35. DOI:10.33899/MAGRJ.2013.76060. URL: https://magrj.mosuljournals.com/article_76060_18b23df92cbf90a536f9c90f0f2f610a.pdf.
24. Annepu S.K., Sharma H., Barh A., Dogra R., Sharma V., Thakur S., Verma V., Sharma K. Performance prediction of F1 crosses in eggplant (*Solanum melongena* L.) based on morphological and molecular divergence. *Genetika.* 2023. Vol. 55. No 1. P. 45–60. DOI:10.2298/gensr2301045a.
25. Samovol O.P., Kondratenko S.I., Serhiienko O.V., Khareba O.V. Vegetable solanaceous and melon species (cytogenetic basics of breeding) / Ed. by O.P. Samovol. Vinnytsia: Nilan-LTD, 2022. 320 p. [in Ukrainian]
26. Marusiak A.O., Krutko R.V. Expression of biochemical traits of fruits in reciprocal eggplant hybrids. *Vegetable and Melon Growing: Historical Aspects, Current State, Problems and Prospects for Development: Abstracts of the 9th International Scientific and Practical Conference (Kruty village, February 28 - March 1, 2023).* Kruty. 2023. Vol. 2. P. 65–69. <https://ovoch.com/assets/files/conference/tezu/tom2-28-02-2023.pdf>. (Reteieved on 07/25/2023). [in Ukrainian]
27. Datta D.R., Rafii M., Misran A., Jusoh M., Yusuff O., Sulaiman N. M., Momodu J. Genetic diversity, heritability and genetic advance of *Solanum melongena* L. from three secondary centers of diversity.. *Bangladesh Journal of Plant Taxonomy.* 2021. Vol. 28. No 1. P. 155–169. DOI:10.3329/bjpt.v28i1.54215.
28. Shabetia O.M., Zinchenko Ye.V. Composition and breeding value of the eggplant gene pool. *Ovochivnytstvo i Bashtannytstvo.* Kharkiv, 2014. Issue 60. P. 274-283. [in Ukrainian]
29. Hussain J.K., AL-bayatee K.S., Baktash F.Y. Combining ability and heterosis among pure lines of eggplant. *Iraqi Journal Science Of Agriculture.* 2004. Vol. 35. No 3. P. 77-86.
30. Poddashkin O.V., Rybalova O.V. Comprehensive assessment of the qualitative state of soils in the Kharkiv region. *Ecology and Human Health, Protection of Water and Air Basins, Waste Management: Abstracts of the 15th International Scientific and Practical Conference.* Kharkiv. 2007. Vol. 1. P. 309-322. [in Ukrainian]
31. Climatic zoning of Ukraine. *Maps of Ukraine.* URL: <http://geomap.land.kiev.ua/zoning-3.html> (Retrieved on 01/15/2019). [in Ukrainian]
32. Economically feasible methods of eggplant growing: methodological recommendations / Ed. by O.M. Shabetia. Kharkiv: Pleiada, 2015. 30 p. [in Ukrainian]
33. Vitanov O.D. Current systems of vegetable production: monograph / Ed. by O.D. Vitanov. Vinnytsia: TVORY. 2022. 214 p. [in Ukrainian]
34. Mazur V.A., Palamarchuk V.D., Polishchuk I.S., Palamarchuk O.D. The latest agricultural technologies in crop production: manual. Vinnytsia, 2017. 588 p. [in Ukrainian]

35. Current methods of vegetable and melon breeding / Ed. by T. K. Horova, K. I. Yakovenko. Kharkiv: Osnova, 2001. 432 p. [in Ukrainian]
36. Mytenko I.M., Marusiak A.O. Catalog of morphological characteristics of eggplant (*Solanum melongena* L.). Seleksiine: Instytut Ovochivnytstva i Bashtannytstva NAAN, 2022. 24 p. [in Ukrainian]
37. CMEA's extended harmonized classifier of the species *Solanum melongena* L. (genus *Solanum* (Tourn.) L.). L., 1979. 33 p. [in Russian]
38. Mytenko I. M., Shabetia O.M. Catalog of eggplant accessions by quantitative and qualitative characteristics. Seleksiine: IOB NAAN. 2023. 70 p. [in Ukrainian]
39. Systemic analysis in field crop breeding: tutorial / P.P. Litun, V.V. Kyrychenko, V.P. Petrenkova, V.P. Kolomatska / UAAS, Plant Production Institute named after V.Ya. Yuriev. Kharkiv, 2009. 351 p. [in Ukrainian]
40. Katskaya A.G. Variability of economically valuable traits in an eggplant collection in the Crimea. Tavriiskyi Naukovyi Visnyk. No 4 (16). 2018. P. 50-56. [in Russian]
41. Kushnaryov A.A., Obruchkov P. Yu., Kropivyanskaya I.V., Demydov Ye.S., Volkova M.N. Eggplant breeding in the Transnistrian Research Institute of Agriculture. Vegetable and Melon Growing: Historical Aspects, Current State, Problems and Prospects for Development: Abstracts of the 6th International Scientific and Practical Conference (within the framework of the 5th Scientific Forum "Science Week in Kruty - 2020" (Kruty village, March 10-11, 2020). Kruty, 2020. Vol. 1. P. 57-64. [in Russian]

Received 05.05.2024

УДК 633.11:631.5:633.854.78

Ю.В. Попов*, С.В. Авраменко

Вплив осіннього внесення різних доз та видів азотних добрив на урожайність пшениці озимої після попередника соняшник

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

*E-mail: yurii.ppp8@gmail.com

UDC 633.11:631.5:633.854.78

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

Effect of Autumn Application of Different Doses and Types of Nitrogen Fertilizers on Post-Sunflower-Sown Winter Wheat Yield

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

*E-mail: yurii.ppp8@gmail.com

Реферат: Нині попит на зернову продукцію стрімко зростає. Проте через різні обставини зменшуються площі оптимальних попередників озимих зернових культур, натомість зростають площі після таких попередників як соняшник. Через це не вдається підтримувати стабільну врожайність зерна. Одним з найбільш ефективних прийомів управління ростом і розвитком рослин та підвищення врожаю пшениці озимої є використання азотних добрив. Ряд досліджень свідчать про рівноцінність осіннього і весняного внесення азотних добрив на посівах пшениці. Проте питання внесення азотних добрив в осінній період вивчене не достатньо, особливо для східної частини Лісостепу України. Метою дослідження було визначення урожайності пшениці м'якої озимої після соняшника залежно від різних доз та видів азотних добрив при їх осінньому внесенні. Дизайн польового дослідження передбачав 13 варіантів з використанням трьох видів добрив (аміачна селітра, карбамід, сульфат амонію) в перерахунку на діючу речовину у дозах N_{30} , N_{60} , N_{90} , N_{120} після попередника соняшник. Осіннє внесення добрив на посівах пшениці забезпечувало істотні приростки врожайності. Найбільш ефективним було осіннє підживлення пшениці озимої аміачною селітрою та карбамідом у дозі N_{60} , а сульфатом амонію – у дозі N_{90} , де врожайність приростки до контролю становили відповідно 49, 46 та 46 %. За малої дози азоту (N_{30}) найбільші надбавки врожайності (31–34 %) одержано від внесення аміачної селітри та сульфату амонію, тоді як внесення карбаміду за цієї дози було менш ефективним. Застосування дози N_{120} не мало переваг порівняно з меншими дозами осіннього азотного підживлення незалежно від виду добрив.

Ключові слова: пшениця озима, азотні добрива, аміачна селітра, карбамід, сульфат амонію, осіннє внесення, урожайність, попередник соняшник.

Abstract: Currently, the demand for grain products is growing rapidly. However, due to different circumstances, the areas of optimal predecessors of winter cereals are decreasing, instead, the areas after such predecessors as sunflower grow. Because of this, farmers fail to harvest stable grain yields. Nitrogen fertilization is one of the most effective methods of managing the growth and development of winter wheat plants and increasing the crop yield. Several studies demonstrated the equivalence of autumn and spring application of nitrogen fertilizers on wheat. However, the issue of autumn nitrogen fertilization has not been sufficiently studied, especially for the eastern forest-steppe of Ukraine. Our purpose was to determine the yield of post-sunflower-sown winter bread wheat depending on different doses and types of nitrogen fertilizers applied in autumn. The design of the field experiments included 13 variants with three fertilizers (ammonium nitrate, urea, ammonium sulfate) applied at N_{30} , N_{60} , N_{90} , and N_{120} on primary nutrient basis after sunflower as a forecrop. Autumn fertilization of wheat crops significantly increased the yield. The application of ammonium nitrate and urea at N_{60} and ammonium sulfate at N_{90} was the most effective variant of autumn fertilization of winter wheat, as it yielded 49, 46, and 46% more, respectively, compared to the control. At a low dose of nitrogen (N_{30}), the largest gain in the yield (31–34%) was achieved with ammonium nitrate and ammonium sulfate, while urea at this dose was less effective. The application of N_{120} had no advantages compared to lower doses of autumn-applied nitrogen fertilizers, regardless of the fertilizer type.

Key words: winter wheat, nitrogen fertilizers, ammonium nitrate, urea, ammonium sulfate, autumn application, yield, sunflower forecrop.

Вступ

В умовах сучасної ринкової економіки попит на зернову продукцію стрімко зростає. Однак через різні обставини (економічні, соціальні та ін.) зменшуються площі оптимальних попередників озимих зернових культур. Водночас зростають площі після таких попередників як соняшник, в результаті чого не вдається одержувати стабільну врожайність зерна за роками вирощування.

Без добрив одержати достатньо великий врожай зерна високої якості неможливо. Застосування системи удобрення, яку розробили і рекомендували виробництву 15 – 20 років тому, нині не ефективне. Як правило, існуючі рекомендації із застосування добрив під пшеницю озиму спрямовані на отримання максимально високого урожаю без достатнього економічного обґрунтування. В умовах ринкової економіки параметри дози та виду добрив повинні визначатися необхідністю отримання від них найбільшого економічного ефекту [1–5].

Урожайність пшениці озимої значною мірою залежить від забезпечення рослин елементами мінерального живлення впродовж усього періоду вегетації [6–9]. На 1 т урожаю озима пшениця використовує 24–35 кг азоту, 10–15 кг фосфору, 20–26 кг калію, 5 кг кальцію, до 5 кг магнію, 4 кг сірки, 250 г заліза, 80 г марганцю, 55 г цинку, до 8 г міді та бору [7].

Найголовнішим елементом, який до певної міри визначає найбільші прирости урожайності і покращує біохімічні показники якості зерна, є азот, який в агрономічній практиці називають елементом росту [10]. Згідно з дослідженнями, сучасні сорти пшениці можуть давати високу врожайність зерна доброї якості лише на родючих ґрунтах і за внесення достатньої кількості добрив. Основною причиною низької якості зерна є дефіцит азоту в агроценозах пшениці, тому без достатнього його внесення одержати урожай високоякісного зерна здебільшого неможливо [8, 9].

Одним з найбільш ефективних прийомів управління ростом і розвитком рослин та підвищення врожаю пшениці озимої є весняне підживлення її посівів азотними добривами. Підживлення створює сприятливі умови для росту рослин, формування добре розвиненої надземної маси та забезпечує надбавку

Introduction

In the current market economy, the demand for grain products is growing rapidly. However, due to different circumstances (economic, social, etc.), the areas of optimal predecessors of winter cereals are decreasing. At the same time, the acreage after such predecessors as sunflower grows, as a result of which farmers cannot harvest stable yields of grain every year.

Without fertilizers, it is impossible to achieve sufficiently large yield of top-quality grain. Fertilization regimens, which were developed and recommended 15-20 years ago, are not effective today. Quite often, existing recommendations for fertilization of winter wheat are aimed at harvesting maximally possible yields without sufficient economic justification. In the market economy settings, doses and types of fertilizers should be grounded on the need to obtain the greatest economic effect from them [1–5].

Winter wheat yield largely depends on providing plants with mineral nutrients during the entire growing period [6–9]. For 1 ton of yield, winter wheat consumes 24–35 kg of nitrogen, 10–15 kg of phosphorus, 20–26 kg of potassium, 5 kg of calcium, up to 5 kg of magnesium, 4 kg of sulfur, 250 g of iron, 80 g of manganese, 55 g of zinc, and up to 8 g of copper and boron [7].

Nitrogen, which is called the growth element in agronomy, is the most important macronutrient, as it (to a certain extent) ensured the greatest gains in the yields and improves biochemical indicators of grain quality [10]. Researches reported that modern wheat cultivars could produce great yields of good-quality grain only on fertile soils, provided sufficient amounts of fertilizers. Nitrogen deficit in wheat agrocenoses is the main cause of low-quality of grain; therefore, without application of nitrogen at sufficient doses, it is hardly possible to harvest top-quality grain [8, 9].

Spring nitrogen fertilization is one of the most effective ways to manage the growth and development of winter wheat plants and to boost the crop yield. Fertilization creates favorable conditions for plant growth, good development of above-ground parts and ensures a gain in the grain yield of 0.3–0.9 t/ha and even more [8, 9].

врожайності зерна 0,3–0,9 т/га і більше [8, 9].

Збільшення вмісту азоту в рослинах підсилює інтенсивність фотосинтезу, уповільнює природне старіння листків, особливо верхніх, у тому числі і прапорцевого листка. На початку вегетації азотні добрива підвищують інтенсивність росту рослин, сприяють накопиченню азотних сполук у вегетативних органах [8,9].

Ряд дослідів свідчать про рівноцінність осіннього і весняного внесення азотних добрив на посівах пшениці [11]. За даними, отриманими на Ізмаїльській дослідній станції [11], підживлення пшениці краще проводити восени на початку кушіння, а не весною. Проте інші дані [12] свідчать, що внесення азотних добрив весною дає більш суттєвий ефект, ніж восени або при внесенні частини добрив восени, а решти весною. За даними Д. Харапяка [11] у вологих районах осіннє внесення азоту забезпечує врожайність на 15% меншу, ніж весняне, а в умовах сухої весни, навпаки, осіннє внесення азоту ефективніше, ніж весняне.

Ефективність удобрення озимих залежить також від типу ґрунту. На легких ґрунтах внесений пізно восени азот вимивається в зимовий період, тому проводити підживлення озимих культур осінню не рекомендується [13]. На важких ґрунтах в районах з обмеженою кількістю опадів в осінньо-зимовий період амонійні тверді, рідкі аміачні добрива і сечовину можна вносити восени [14].

Отже, питання внесення азотних добрив в осінній період вивчене не достатньо, особливо для східної частини Лісостепу України. Зокрема, відсутні дані про ефективність осіннього внесення азотних добрив на посівах озимої пшениці після соняшнику як попередника. Зважаючи на це, метою дослідження було визначення ефективності дії осіннього внесення різних доз та видів азотних добрив на посівах пшениці м'якої озимої після соняшнику.

Матеріали і методи

Роботу проводили в польовій зерно-паро-просапній сівозміні Інституту рослинництва ім. В.Я. Юр'єва у 2020–2022 рр. Об'єктом дослідження був сорт пшениці озимої Здобна. Сівбу проводили у II декаді жовтня. Досліди передбачали 13 варіантів осіннього підживлення трьома видами добрив після попередника соняшник: 1 – контроль (без добрив); 2 – аміачна селітра N₃₀; 3 – аміачна

An increase in the nitrogen content in plants intensifies photosynthesis and slows down the natural aging of leaves, especially the upper ones, including the flag leaf. At the beginning of the growing period, nitrogen fertilizers intensify plant growth, contributing to the accumulation of nitrogenous compounds in vegetative organs [8,9].

Several experiments demonstrated the equivalence of autumn and spring applications of nitrogen fertilizers on wheat [11]. According to the data obtained at Izmail Experimental Station [11], it is better to fertilize wheat in autumn at the tillering onset, but not in spring. However, other data [12] showed that spring application of nitrogen fertilizers was more efficient than autumn fertilization or when part of the fertilizers was applied in autumn and the rest - in spring. D. Kharapyak [11] reported that, in wet areas, autumn application of nitrogen resulted in a 15% reduction in the yield compared to spring fertilization, while under dry spring conditions, on the contrary, autumn application of nitrogen was more effective than spring fertilization.

The effectiveness of fertilization of winter crops also depends on the soil type. On light soils, nitrogen applied in late autumn is washed out during winter; therefore, it is not recommended to fertilize winter crops in autumn [13]. On heavy soils in areas with limited amounts of precipitation in autumn-winter, solid ammonium and liquid ammonia fertilizers as well as urea can be applied in autumn [14].

Hence, the issue of autumn nitrogen fertilization has not been sufficiently studied, especially for the eastern forest-steppe of Ukraine. In particular, there are no data on the effectiveness of autumn application of nitrogen fertilizers on winter wheat sown after sunflower as a forecrop. Considering this, we have set the purpose to determine the effectiveness of autumn application of different doses and types of nitrogen fertilizers on post-sunflower-sown winter bread wheat.

Materials and Methods

The study was carried out in the field cereal-fallow-intertilled crop rotation at the Yuriev Plant Production Institute in 2020–2022. Winter wheat cultivar 'Zdobna' was investigated. It was sown within the second 10 days of October. The experiments included 13 variants of autumn fertilization with three fertilizers after sunflower as a forecrop: 1 – control (no

селітра N₆₀; 4 – аміачна селітра N₉₀; 5 – аміачна селітра N₁₂₀; 6 – карбамід N₃₀; 7 – карбамід N₆₀; 8 – карбамід N₉₀; 9 – карбамід N₁₂₀; 10 – сульфат амонію N₃₀; 11 – сульфат амонію N₆₀; 12 – сульфат амонію N₉₀; 13 – сульфат амонію N₁₂₀.

Варіанти розміщували за багатофакторною схемою методом розщеплених ділянок. Площа облікової ділянки становила 25 м², повторність – 4-разова. Ґрунт дослідної ділянки – чорнозем типовий потужний середньогумусний, в якому вміст гумусу (за Тюріним) становив близько 6%, ґрунтовий розчин мав слаболужну або нейтральну реакцію (рН – 5,8-7,0). Ґрунт добре насичений магнієм, кальцієм та іншими необхідними для рослин елементами живлення, валовий вміст азоту в межах 0,2-0,5 %, фосфору – 0,15-0,30 % та калію 2,0-2,5 %.

Після збирання соняшнику, згідно зі схемою досліду, проводили дискування у два сліди БДТ-7. Передпосівний обробіток передбачав культивування КПС-4 на глибину 5–6 см. Оброблене комплексним протруйником Паскаль (Тіаметоксам, 250 г/л + тебуконазол, 30 г/л + азоксистробін, 20 г/л + флудиоксоніл, 50 г/л) – 1 л/т, насіння висівали сівалкою СН-16М за норми 4,5 млн схожих насінин на 1 га. Після сівби поле прикочували кільчасто-шпоровими котками. Навесні 2021 р. у фазі кушіння проти бур'янів посіви обприскували гербіцидом Агент (2,4-Д 2-етилгексилловий ефір, 452 г/л + флорасулам, 6,25 г/л) – 0,5 л/га + Мастак (клопіралід, 300 г/л) – 0,3 л/га. Для захисту посівів від хвороб і шкідників застосовували відповідно фунгіцид Дезарал Екстра (карбендазім, 250 г/л + флутриафол, 125 г/л) та інсектицид Антикolorад Макс (імідаклопрід, 300 г/л + лямбда-цигалотрин, 100 г/л). Через інтенсивні бойові дії на території проведення досліджень навесні 2022 р. засоби захисту рослин не застосовували, що призвело до суттєвого зниження врожайності пшениці озимої порівняно з 2021 р. Зниження врожайності у 2022 р. зумовлювалося насамперед наявністю піренофорозу у пізній фазі росту й розвитку рослин.

Урожай збирали прямим способом комбайном «Сампо-130». Під час проведення досліджень облік врожаю здійснювали шляхом обмолоту рослин у повній стиглості зерна. Урожайність з ділянки приводили до стандартної вологості, 100 % чистоти та розраховували у тонах на гектар [15, 16]. Статистичну обробку експериментальних даних досліджень проводили дисперсійним методом за

fertilizers); 2 – ammonium nitrate N₃₀; 3 – ammonium nitrate N₆₀; 4 – ammonium nitrate N₉₀; 5 – ammonium nitrate N₁₂₀; 6 – urea N₃₀; 7 – urea N₆₀; 8 – urea N₉₀; 9 – urea N₁₂₀; 10 – ammonium sulfate N₃₀; 11 – ammonium sulfate N₆₀; 12 – ammonium sulfate N₉₀; and 13 – ammonium sulfate N₁₂₀.

The variants were arranged by split-plot method according to a multiple-factor scheme. The record plot area was 25 m², in 4 replications. The soil of the experimental site is a typical heavy medium-humus chernozem, in which the humus content (determined by Tyurin's method) was about 6%. The soil solution had a slightly alkaline or neutral reaction (pH - 5.8-7.0). The soil is well saturated with magnesium, calcium and other nutrients necessary for plants. The gross content of nitrogen was 0.2-0.5%; the gross content of phosphorus was 0.15-0.30%; and gross content of potassium was 2.0-2.5%.

After harvesting the sunflower, according to the experiment design, two-track disking was carried out with a BDT-7 disk harrow. Pre-sowing treatment involved tilling to a depth of 5–6 cm with a KPS-4 cultivator.

The seeds treated with Pascal fungicide (1 L/t) were sown with a SN-16M planter at a seeding rate of 4.5 million germinable seeds per 1 ha. After sowing, the field was rolled with crosskill rollers. In the spring of 2021, the field was sprayed with Agent herbicide 0.5 L/ha (2,4-D 2-ethylhexyl ether, 452 g/L + florasulam, 6.25 g/L) + Mastak 0.3 L/ha (clopyralid, 300 g/L) against weeds in the tillering phase. To protect the field against diseases and pests, Desaral Extra fungicide (carbendazim, 250 g/L + flutriafol, 125 g/L) and Anticolorad Max insecticide (imidacloprid, 300 g/L + lambda-cyhalothrin, 100 g/L) were used, respectively. Due to intense hostilities in the research location in the spring of 2022, plant protection was impossible, leading to a significant decline in the winter wheat yield compared to 2021. The decline in the 2022 yield was caused primarily by tan spot in the late phases of plant growth and development.

The grain was harvested by straight-cutting with a Sampo-130 combine harvester. The yield was measured by threshing plants when caryopses were completely ripe. The yield per plot was adjusted to standard moisture, 100% purity and was calculated in tons per hectare [15, 16]. The experimental data were statistically processed by ANOVA in Microsoft Office Excel 2007 and Statistica-6 [15, 17, 18].

The agrometeorological conditions varied

допомогою пакету комп'ютерних програм Microsoft Office Excel 2007, «Statistica-6» [15, 17, 18].

Агрометеорологічні умови в роки проведення досліджень різнилися. Осінь 2020 р. видалася теплою і посушливою. Так, у серпні опадів випало на 40 мм менше від норми, а дощі пройшли лише в II декаді жовтня (30,4 мм). Температура повітря у вересні (+4,3 °C) і жовтні (+5,2 °C) була вищою за багаторічні показники. Осіння вегетація рослин озимих припинилася у I декаді листопада. У 2021 р. її відновлення відбулося у I декаді квітня. Весна і літо були помірно теплими, на рівні багаторічних показників. Травень та червень були вологими, а липень та серпень аномально посушливими. Осінній період 2021 р. загалом був менш вологим порівняно з багаторічними даними, а температурний режим – на рівні багаторічних показників. Припинилася осіння вегетація рослин у I декаді листопада. Перезимівля посівів відбувалася за сприятливих гідротермічних умов.

in the study years. The autumn of 2020 turned out to be warm and dry. In August, there was 40 mm less of precipitation than the long-term average and it rained only during the second 10 days of October (30.4 mm). The air temperature in September (+4.3°C) and October (+5.2°C) was higher than the long-term average values. The autumn vegetation of winter crops stopped within the first 10 days of November. In 2021, the plant vegetation restored within the first 10 days of April. The spring and summer were moderately warm, at the level of the long-term average values. May and June were wet; July and August were abnormally dry. The autumn of 2021 was generally less wet compared to the long-term average and the temperature profile was similar to long-term average data. The autumn vegetation of plants stopped within the first 10 days of November. The plants overwintered under favorable hydrothermal conditions.

Урожайність пшениці озимої після соняшника залежно від виду і дози добрив та року вирощування, т/га, 2021–2022 рр.

Post-sunflower sown winter wheat yield, depending on the type and dose of fertilizers and cultivation year, t/ha, 2021–2022

Добриво (A) [Fertilizer (A)]	Доза (B) [Dose (B)]	Урожайність (C) [Yield (C)]		
		2021	2022	Середня [Mean]
без добрив [No fertilizers]	Контроль [Control]	4,97	1,92	3,45
Аміачна селітра [Ammonium nitrate]	N ₃₀	6,50	2,73	4,62
	N ₆₀	6,71	3,58	5,14
	N ₉₀	6,56	3,23	4,89
	N ₁₂₀	6,91	3,05	4,98
	Середня [Mean]	6,67	3,15	4,91
Карбамід [Urea]	N ₃₀	4,97	2,93	3,95
	N ₆₀	6,67	3,40	5,03
	N ₉₀	6,60	3,12	4,86
	N ₁₂₀	6,78	3,33	5,06
	Середня [Mean]	6,26	3,20	4,73
Сульфат амонію [Ammonium sulfate]	N ₃₀	5,82	3,18	4,50
	N ₆₀	6,70	2,72	4,71
	N ₉₀	6,50	3,56	5,03
	N ₁₂₀	6,48	3,44	4,96
	Середня [Mean]	6,37	3,23	4,80
Середня [Mean]	N ₃₀	5,76	2,95	4,36
	N ₆₀	6,69	3,23	4,96
	N ₉₀	6,55	3,30	4,93
	N ₁₂₀	6,72	3,27	5,00
	Середня [Mean]	6,43	3,19	4,81
HP _{0,05} [LSD _{0,05}]	A – 0,11; B – 0,11; C – 0,13; AB – 0,23; AC – 0,23; BC – 0,26; ABC – 0,48			

Відновлення вегетації рослин почалося у I декаді квітня. Весна і літо були теплі, на рівні багаторічних показників та дуже вологі. У середньому за 2 роки сходи з'явилися на 8–9-й день. Оскільки гідротермічні умови протягом вегетаційного періоду пшениці озимої за роками були різними, це дало змогу всебічно оцінити досліджувані варіанти технології вирощування досліджуваної культури.

Результати та обговорення

Прикореневе внесення азоту у фазі 3 листків – початку кушіння забезпечило істотне підвищення урожайності (таблиця).

Як свідчать отримані дані, збільшення дози азоту не завжди призводило до підвищення врожайності порівняно із меншими дозами. Так, в середньому за роки досліджень, за осіннього внесення аміачної селітри найбільшу врожайність пшениці озимої було одержано за використання дози N_{60} – 5,14 т/га, при цьому прибавка врожайності порівняно з контролем (без добрив) становила 49 %. Ефективним також було внесення аміачної селітри в дозі N_{30} , за якої врожайність пшениці становила в середньому 4,62 т/га, що відповідно на 34% більше порівняно з контролем. Натомість збільшення дози удобрення до N_{90} та N_{120} було неефективним, оскільки прибавки врожайності за цих варіантів були на 4–7 % меншими порівняно з дозою N_{60} (таблиця).

За осіннього внесення карбаміду найбільшу врожайність пшениці озимої було одержано за дози N_{60} – 5,03 т/га, при цьому прибавка врожайності порівняно з контролем (без добрив) становила 46 %. Майже таку ж врожайність було одержано і за максимальної дози карбаміду – N_{120} , але внесення такої дози було економічно недоцільним. Внесення карбаміду у дозі N_{30} також було ефективним, хоча прибавка врожайності у цьому варіанті була найменшою у досліді: за середньої врожайності 3,95 т/га вона становила 15 % до контролю (таблиця).

На відміну від аміачної селітри та карбаміду, за осіннього внесення на посіви пшениці озимої сульфату амонію найбільшу врожайність одержано за дози N_{90} – у середньому 4,93 т/га, при цьому прибавка врожайності порівняно з контролем (без

The plant vegetation restored within the first 10 days of April. The spring and summer were warm, with temperatures similar to the long-term average values, and very humid. On average in the 2 years, seedlings emerged on day 8-9 after sowing. Since the hydrothermal conditions during the of winter wheat growing period differed from year to year, we were able to comprehensively evaluate the tested variants of the crop technology cultivation.

Results and Discussion

Root application of nitrogen during the "phase of 3 leaves - tillering onset" period significantly increased the yield (Table).

As evidenced by the obtained data, an increase in the nitrogen dose was not always associated with an increase in the yield compared to lower doses. Thus, on average across the study years in the ammonium nitrate experiments, the highest yield of winter wheat grain was harvested after the autumn application of ammonium nitrate at N_{60} : 5.14 t/ha or 49% more compared to the control (without fertilizers). The application of ammonium nitrate at N_{30} was also effective: the mean yield of wheat was 4.62 t/ha or 34% more compared to the control. On the other hand, increasing the fertilizer dose to N_{90} and N_{120} was ineffective, as the yield was increased, but not so greatly (4–7% less) as with N_{60} (Table).

In the urea experiments, the highest yield of winter wheat grain was harvested after the autumn application of urea at N_{60} : 5.03 t/ha or 46% more compared to the control (without fertilizers). Almost the same yield was harvested with the maximum dose of urea (N_{120}), but this dose was economically impractical. The application of urea at N_{30} was also effective, although the gain in the yield in this variant was the smallest one: with the mean yield of 3.95 t/ha, wheat yielded 15% more in this experiment compared to the control (Table).

In contrast to ammonium nitrate and urea, the highest yield of winter wheat grain was harvested after the autumn application of ammonium sulfate at N_{90} : the mean yield was

добрив) становила 46 %. Збільшення дози удобрення до N_{120} не призводило до подальшого зростання урожайності. Ефективним було внесення сульфату амонію в дозах N_{30} та N_{60} , де прибавки врожайності пшениці становили відповідно 31 % та 37 % порівняно з контролем (таблиця).

Отже, осіннє удобрення пшениці озимої після попередника соняшник в роки проведення досліджень забезпечувало істотні прибавки врожайності, величини яких слабо залежали від виду добрив та дози їх внесення. Найбільші прибавки врожайності було одержано від застосування аміачної селітри – у середньому 43 %, а найменші – за внесення карбаміду – відповідно 37 % порівняно з контролем (таблиця).

Висновки

Результатами проведених у 2020–2022 рр. досліджень встановлено, що найбільш ефективним було осіннє удобрення пшениці озимої аміачною селітрою та карбамідом у дозі N_{60} , а сульфатом амонію – у дозі N_{90} . При цьому врожайність становила у середньому відповідно 5,14, 5,03 та 5,03 т/га, а прибавки до контролю – відповідно 1,70, 1,59 та 1,59 т/га. За малої дози азоту (N_{30}) найбільші надбавки врожайності (1,06–1,17 т/га, або 31–34 %) одержано від внесення аміачної селітри та сульфату амонію, тоді як внесення карбаміду за цієї дози було менш ефективним. Застосування дози N_{120} не мало переваг порівняно з меншими дозами осіннього азотного підживлення незалежно від виду добрив.

4.93 t/ha or 46% more compared to the control (without fertilizers). Increasing the dose of this fertilizer to N_{120} did not lead to a significant increase in the yield. The application of ammonium sulfate at N_{30} and N_{60} was effective, as wheat in these experiments yielded 31% and 37% more, respectively, compared to the control (Table).

Therefore, autumn fertilization of winter wheat sown after sunflower as a forecrop in the study years significantly increased the yield. The gain in the yield slightly depended on the types and doses of fertilizers. The greatest gain in the yield was achieved with ammonium nitrate (on average plus 43% to the control), while the smallest gain was recorded for urea (plus 37%) (Table).

Conclusions

The results of the study conducted in 2020–2022 demonstrated that the autumn fertilization of winter wheat with ammonium nitrate and urea at N_{60} and ammonium sulfate at N_{90} was the most effective application of these fertilizers on winter wheat. The mean yield was 5.14, 5.03, and 5.03 t/ha, respectively, and the increase to the control amounted to 1.70, 1.59, and 1.59 t/ha, respectively. At the low dose of nitrogen (N_{30}), the largest gain in the yield (1.06–1.17 t/ha, or 31–34%) was recorded in the ammonium nitrate and ammonium sulfate experiments, while the application of urea at this dose was less effective. The application of N_{120} had no advantages compared to lower doses of autumn-applied nitrogen fertilizers, regardless of the fertilizer types.

References

1. Cherenkov A. V., Zheliazkov O. I., Kostyria I. V. Peculiarities of growth and development of winter wheat plants depending on predecessors, sowing time and seeding rates in the Prysyvashshia. *Biul. In-tu Zern. Hospodarstva*. 2008; 33/34: 11–14. [in Ukrainian]
2. Popov S. I., Avramenko S. V. Winter wheat grain yield and quality depending on the technology of growing after silage corn. *Biul. In-tu Zern. Hospodarstva*. 2008; 35: 39–44. [in Ukrainian]
3. Nesterets V. H., Kuleshov O. O., Hasanova I. I. Effects of weather conditions, predecessors and mineral fertilizers on the grain yield and quality of different winter wheat cultivars. *Khraneniye i Pererabotka Zerna*. 2007; 8 (98): 24–28. [in Ukrainian]

4. Kuleshov O. O. Grain yield and quality of winter wheat cultivars depending on predecessors and sowing time in the southeastern steppe. *Biul. In-tu Zern. Hospodarstva*. 2008; 33/34: 92–95. [in Ukrainian]
5. Chumak V.S., Yevtushenko V.V., Tsiliuryk O.I. Effects of weather conditions, predecessors and fertilizers on the productivity of winter wheat. *Biul. In-tu Zern. Hospodarstva*. 2002; 18/19: 78–81. [in Ukrainian]
6. Masclaux-Daubresse G., Daniel-Vedele F., Dechorgnat J. Nitrogen uptake, assimilation and remobilization in plants: challenges for sustainable and productive agriculture. *Annals of Botany*. 2010; 105: 1141–1157.
7. Ovcharuk O.V., Ovcharuk V.I., Ovcharuk O.V., Khomina V.Ya., Mostipan M.I., Kulyk H.A. *Methods of analysis in agronomy and agroecology: study guide*. Kamianets-Podilskyi; 2019. 361 p. [in Ukrainian]
8. Barabolia O.V., Barat Yu.M., Kulyk M.I., Onopriienko O.V. Winter wheat yield depending on fertilization regimens and weather conditions during the growing period. *Visnyk Umanskoho Natsionalnoho Universytetu Sadivnytstva*. 2018; 2: 3–9. [in Ukrainian]
9. Popov S.I., Avramenko S.V., Shevchenko T.V. Effectiveness of root nitrogen fertilization of winter wheat under dry autumn conditions in the eastern forest-steppe of Ukraine. *Visnyk Ahrarnoi Nauky*. 2019; 5(794): 22–30. [in Ukrainian]
10. Ovcharuk O.V., Ovcharuk O.V., Fedoruk I.V. Peculiarities of nitrogen fertilization of winter wheat. *The current state of science in agriculture and nature management: theory and practice*. 2019: 163–165. [in Ukrainian]
11. Netis I.T. Effects of periods and doses of fertilization of winter wheat on grain yield and quality. *Zroshuvalne Zemlerobstvo*. 2010; 53: 63–67. [in Ukrainian]
12. Vaughan B., Westfall D., Barbarick K. Nitrogen rate and timing effects on winter wheat grain yield, grain protein, and economics. *J. Product. Agr.* 1990; 3: 324–328.
13. Muler S., Moritz D. Einflub einer Stickstoffdungung im Spatherst auf die Dynamik des anorganischen Stickstoffs im Winter sowie die Kornertrage von Wintergetreide. *Arch. Acker- und Pflanzenbau und Bodenk.* 1983; 11: 707–714. [in German]
14. Vard R. Major methods of fertilization. *Zerno*. 2009; 8: 80–84. [in Russian]
15. Dospekhov B.A. *Methods of field experimentation*. Moscow: Kolos; 1979. 376 p. [in Russian]
16. Yeshchenko V. O., Kopytko P. H., Opryshko V. P., Kostohryz P. V. *Fundamentals of scientific research in agronomy*. Kyiv; 2005. 288 p. [in Ukrainian]

Received 23.05.2024

УДК 633.15:631.5:581.19

Н.М. Музафаров*, С.Г. Понуренко, І.П. Барсуков,
О.В. Сікалова, М.В. Капустян

Проблеми селекції кукурудзи на фоні кліматичних змін

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

*E-mail: yuriev1908maize@gmail.com

UDC 633.15:631.5:581.19

N.M. Muzafarov, S.H. Ponurenko, I.P. Barsukov, O.V. Sikalova, M.V. Kapustian
Challenges in Corn Breeding Under Climatic Changes

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

Реферат: Погодні аномалії, зумовлені кліматичними змінами, негативно впливають на процеси росту та розвитку сільськогосподарських культур і, таким чином, знижують продуктивність сільського господарства в цілому. Такі процеси являють загрозу продовольству та національній безпеці. У зв'язку з перспективою розширення посівних площ під кукурудзою, зумовленою зміною кліматичних умов в світі та в країні, слід звернути особливу увагу на розробку різних напрямків селекції з урахуванням екологічної адаптації сортів та гібридів до природних чинників. Скринінг дикорослих зразків, місцевих сортів і популяцій мутантних рослин для виявлення перспективних ознак і донорів може мати вирішальне значення для селекційних підходів підвищення стійкості культур до теплового стресу. Крім того, ідентифікацію і картографування QTL(ів) за допомогою молекулярних маркерів можна використовувати для виявлення основного/мінорного гена(ів), що сприяє стійкості до теплового стресу.

Ключові слова: кліматичні умови, сільське господарство, кукурудза, сорт, гібрид.

Abstract: Weather anomalies caused by climatic changes negatively affect the growth and development of agricultural crops and, thus, reduce the productivity of agriculture as a whole. Such processes pose a threat to food and national security. Through the lens of the prospect of expanding the corn acreage because of global and national climatic changes, special attention should be paid to the development of different trends in breeding, with due account for ecological adaptation of cultivars and hybrids to natural factors. Screening of wild accessions, landraces, and mutant populations to identify promising traits and donors can be crucial for breeding approaches to increase crop tolerance to heat stress. In addition, QTL(s) can be identified and mapped using molecular markers to detect major/minor gene(s) contributing to heat stress tolerance.

Key words: climatic conditions, agriculture, corn, cultivar, hybrid.

Згідно з дослідженнями кліматологів, з середини XVIII ст. клімат Землі потеплішав, а з XX ст. цей процес посилюється, особливо із середини 1970-х рр., а наприкінці XX ст. глобальна температурна аномалія збільшилася на 0,87 °C (щодо середньої глобальної температури середини XIX ст.) [1]. Часто повідомлялося, що таке потепління клімату прискорює танення льодовиків на полюсах та підвищення рівня моря, призводить до зменшення кількості продуктивних опадів, тим самим збільшуючи частоту посух, посилюючи їх інтенсивність та зумовлюючи прояв інших несприятливих явищ, що закономірно спричиняє зміни у біологічних системах [2, 3].

Темпи потепління з 1981 року зросли більш ніж удвічі. За даними NOAA (Національне управління океанічних та атмосферних досліджень) одним з найтепліших за всю історію спостережень за температурою виявився 2022 рік. Температура поверхні в 2022 році була на 0,86 °C вищою від середньої багаторічної [4, 5].

Останнім часом кліматичні умови на більшості територій сільськогосподарського призначення були несприятливими переважно внаслідок посухи [6-8]. Майже кожен другий рік XXI ст. супроводжувався масштабними втратами врожаю через негоду. У цьому

контексті важливо знайти засоби пом'якшення впливу зміни клімату та антропогенного тиску на сільське господарство [9-12].

Зміна клімату впливає на виробництво сільськогосподарських культур прямо та опосередковано [13-17], а також позначається на глобальній продовольчій безпеці [18-20].

Дослідженнями в різних країнах світу відзначається, що прогнозовані зміни температури, кількості опадів, а також частоти екстремальних явищ матимуть глибокий вплив на наявність вологи в ґрунті і врожайність [21-23].

Якщо сільське господарство зможе адаптуватися до нових кліматичних умов, то в деяких місцях продуктивність культур може зростати [24, 25], але при цьому необхідно розуміти вплив особливостей фізико-хімічних характеристик ґрунтів та режиму опадів [26, 27] на мінливість врожайності основних культур, таких як кукурудза, соя та пшениця [28-31]. Великого значення набувають особливості взаємодії між рельєфом, властивостями ґрунту, кліматичними умовами та технологіями виробництва продукції рослинництва [32-35].

Серед різних видів продукції сільського господарства зерно є основним джерелом виробництва продуктів харчування. Кількість зерна, яка виробляється в світі, залежить насамперед від урожайності та посівної площі. У той час як посівна площа практично не змінюється і є більш-менш стабільною, врожайність значною мірою варіює залежно від погодних умов року. Однією з основних причин втрат урожаю будь якої культури є посуха [36, 37].

Імітаційні прогностичні моделі клімату для більшості регіонів світу передбачають [38], суттєвий вплив кліматичних змін на виробництво сільськогосподарської продукції [39], тому питання продовольчої безпеки набуває глобального значення.

Численні дослідження кліматичного моделювання свідчать про те, що в майбутньому явища теплового стресу траплятимуться частіше, що може стати серйозним обмеженням для продуктивності сільськогосподарських культур і глобальної продовольчої безпеки [40-42]. Зі зміною клімату пов'язана низка екологічних і едафічних факторів, таких як підвищення

середньої температури, регіональні та екстремальні хвилі спеки, періоди посухи, збільшення солоності ґрунту, дисбаланс поживних речовин і накопичення токсичних важких металів у ґрунті [43, 44].

Нещодавні розробки Micro LEIS дозволяють використовувати деякі з інтегрованих моделей за різних гіпотетичних сценаріїв управління кліматом і сільським господарством [45-47].

В Українському науково-дослідному гідрометеорологічному інституті (УкрНДГМІ) опрацьовано нову методику мезомасштабного агрокліматичного районування, що базується на принципах визначення функціональних зв'язків між фізико-географічними властивостями території та показниками агрокліматичних ресурсів із використанням математико-картографічного методу [48].

Особливості фізико-географічного розташування України зумовлюють значне різноманіття умов для ведення сільського господарства. Територію України поділяють на 4 основні агрокліматичні зони, які поступово переходять одна в одну: 1) Полісся – волога, помірно тепла зона. ГТК 2,0–1,3 та сума ефективних температур 2400–3100 °С; 2) Лісостеп – недостатньо волога, тепла зона. ГТК 1,3–1,0 та сума ефективних температур 2400–2900 °С; 3) Північний Степ – посушлива, дуже тепла зона. ГТК 1,0–0,7 та сума ефективних температур 2900–3300 °С; 4) Південний Степ – дуже посушлива, помірно жарка зона з м'якою зимою. ГТК 0,7–0,5 та сума ефективних температур 3300–3400 °С. [48]. Виділяють також дві зони вертикальної зональності: Кримських і Карпатських гір.

Останніми роками на території України відбуваються часткові зміни атмосферної циркуляції, вологий кліматичний цикл змінився на сухий, внаслідок чого підвищилися значення місцевих циклонів, зокрема чорноморських, середземноморських повітряних мас за рахунок зменшення впливу атлантичних повітряних мас. Збільшується нерівномірність та інтенсивність опадів, тривалість бездошових періодів, зростає ймовірність агрономічно несприятливих атмосферних явищ – посух, суховіїв, ураганів, пилових бур, тощо. Ймовірність весняних посух, з урахуванням локальних, складає 84 %, літніх – 98 %, осінніх

– 71 %, зокрема надзвичайно посушливих і катастрофічних – відповідно 8,3 і 5,0 % [49].

Індикатором зміни клімату на території України ще з кінця 80-х років ХХ ст. виступає зміна льодового режиму річок басейну Дніпра. Відзначається, що замерзання річок басейну відбувається на шість діб пізніше, а скресання — на 13 діб раніше. Тривалість періоду з льодовими явищами зменшилася на 25 діб, а товщина льоду – на вісім сантиметрів, що є досить вагомим доказом істотного потепління клімату [49].

Існує декілька сценаріїв розвитку впливу змін клімату на врожайність зернових культур. При оптимістичному сценарії розвитку можна припустити, що в подальшому температура підвищуватиметься в середньому у зонах: Полісся до 14,7–15,4 °С, Лісостепу – 16,2–19,0°С, Степу – 19,2–22,1 °С, що за вегетаційний період відповідно вище за середньобогаторічний показник на 1,2–1,9 °С, 1,5–2,0 °С та 2,0–2,5 °С. До 2050 р. за трендом прогнозується подальше підвищення температури в зоні Полісся ще на 1,2 – 1,9 °С, Лісостепу – 1,5–2,0 °С, Степу – більш ніж на 2,0–2,8 °С, а прогнозовані значення середньої за вегетаційний період температури становитимуть відповідно 15,3–16,0 °С, 17,0–19,8 °С, 19,8–22,9 °С. До 2100 р. температурний фон ще додатково підвищиться і становитиме у зоні Полісся 15,8–17,0 °С, Лісостепу – 18,0–20,5 °С, Степу – 20,5–24,2 °С, що вище порівняно з історичним періодом відповідно на 2,3–3,0 °С, 3,0–3,5 °С і 3,0–4,4 °С. Такі сценарії змін клімату можуть бути лише за умови збереження сучасного темпу підвищення температури і є, малоймовірними [48-50].

У мінливих кліматичних умовах очевидно є комерційна необхідність посилення селекційної роботи зі створення сортів, адаптованих до регіональних агроекологічних особливостей та технологічних вимог [51].

При розробці конкретної генетичної моделі сорту або гібрида доцільно знати: технічні вимоги до сорту, висунуті споживачем; передбачені умови середовища вирощування, а саме: точну характеристику ґрунтово-кліматичних ресурсів регіону, ступінь варіювання окремих факторів середовища та їх амплітуду; поширеність шкідників і хвороб у

конкретному регіоні та динаміку їх чисельності; передбачуваний рівень агротехнічних прийомів, наявність добрив, пестицидів та ін.; біологію культури, зокрема спеціальну генетику ознак, закономірності і структуру модифікаційної мінливості, генетичні та фізіологічні механізми індивідуальної та популяційної буферності (гомеостазу), принципи конструювання агроценозів, що мають високу адаптивність до конкретних екологічних умов [52-58].

Для зниження ризику впливу негативних явищ у кожній конкретній зоні рекомендуються до вирощування сорти та гібриди з різними біологічними та агроекологічними властивостями. При створенні посухостійких сортів та гібридів необхідно виділення вихідного матеріалу, адаптованого до водного стресу.

Стійкість до посухи досягається завдяки комплексу фізіологічних механізмів: фенологічній вирівняності сорту та гібрида, підвищеній водоутримувальній здатності, стабільності дихання і фотосинтезу, здатності до швидкого переходу на різні за інтенсивністю рівні транспірації [58].

У багатьох країнах світу, особливо тих, де дуже високий рівень інтенсифікації землеробства, домінуючим фактором у збільшенні врожайності будь якої сільськогосподарської культури є підбір гібрида чи сорту.

Підвищення врожайності за участю нових високоврожайних гібридів або сортів у Європі складає 25%. За оцінками врожайності в світі щороку через посуху втрачається 15–20% урожаю зерна кукурудзи. Втрата врожаю може стати більш суттєвою, оскільки періоди посухи можуть стати частішими та сильнішими через зміну клімату [59].

Для багатьох культур тепловий стрес також став одним із найбільш поширених абіотичних стресів, які значно обмежують виробництво сільськогосподарської продукції у всьому світі [61-66]. Рослини кукурудзи можуть перебувати досить тривалий час у стані пригнічення, при цьому зберігається їх життєздатність і може відновлюватися нормальне функціонування за наявності опадів [60].

У сучасному сільському господарстві кукурудзу вирощують у широкому діапазоні

кліматичних умов: від тропіків до регіонів із помірним кліматом, з високими вимогами до вологозабезпеченості [67, 68]. Зокрема, відзначається, що надмірно високі температури несуть основну загрозу для майбутнього виробництва кукурудзи [69].

Температура, що перевищує оптимальний рівень впродовж певного періоду часу, може завдати шкоди росту та розвитку рослин [70, 71]. Для кукурудзи верхній пороговий рівень температури для всіх фаз розвитку становить 39,2 °C [72]. При тривалому впливі температури 32,0 °C та вище знижується здатність пилку кукурудзи до проростання [73-74], а при постійному впливі температури 38,0°C пилки кукурудзи не проростає взагалі [75].

Інтенсивність і тривалість дії високої температури в період цвітіння та раннього наливу зерна мають несприятливий вплив на низку термолабільних фізіологічних процесів [76-77].

Вплив високих температур негативно впливає на ріст та розвиток рослини і може прискорити утворення волоті, подовжити інтервал між цвітінням генеративних органів та знизити кількість і життєздатність пилку, що негативно впливає на процес запилення [78].

Всі ці результати додатково підтвердили, що висока температура під час цвітіння знижує врожайність кукурудзи більшою мірою, ніж інші абіотичні стреси, головним чином за рахунок зменшення кількості зерен [79-80]. Число зерен на качані та маса зерен є визначальними факторами врожайності кукурудзи, що формуються впродовж критичного періоду, який триває приблизно 30 днів [81-82].

Фенотипування в специфічних умовах навколишнього середовища було запропоновано як найкращий спосіб визначити стійкість до теплового стресу у рослин [83]. Повідомлялося про кілька властивостей кукурудзи, які можна використовувати для діагностики теплового стресу та/або толерантності. Проте відбір ознак, особливо на етапі цвітіння та наливу зерна, може бути найефективнішим, оскільки це найбільш чутливі стадії кукурудзи до теплового стресу [84-86]. Площа листків, швидкість їх подовження та швидкість фотосинтезу були запропоновані як потенційні маркери впливу

теплового стресу на ранній вегетаційній стадії або на стадії сходів [85].

Chen et al. [87] провели фенотиповий аналіз 11 інбредних ліній кукурудзи за умов теплового стресу (~36 °C). Цільовими фенотиповими ознаками для дослідження були опік листків, плямистість листків та в'янення волоті. Автори помітили, що опік листків та їх плямистість були найбільш чутливими до тепла ознаками протягом вегетативної стадії. Старіння, кількість зерен в ряду, стерильність волоті, життєздатність пилку та сприйнятливність приймочок також були зазначені як потенційні ознаки, які можна використовувати для характеристики терmostійкості кукурудзи [88, 89].

Ідентифікація ознак з використанням природного генетичного різноманіття або популяції мутантів є перспективною. Однак точне фенотипування різноманітної популяції є головним вузьким місцем для програм покращення врожаю [90]. Нещодавні досягнення в галузі феноміки та розробка високопродуктивних платформ фенотипування зробили можливим скринінг і характеристику великої кількості зародкової плазми за дуже короткий проміжок часу, що надзвичайно прискорило створення сортів [91].

Реакція рослин на тепловий стрес є складним процесом, що включає багато компонентів на клітинному рівні та полігенні ознаки на рівні всієї рослини. Встановлено, що вплив теплового стресу індукує більше 5000 генів у рослинах кукурудзи [92]. Ознаки, що сприяють стійкості до теплового стресу, такі як життєздатність пилку та інші, регулюються кількома локусами [93, 94]. Таким чином, встановлення QTL/генів, пов'язаних зі стійкістю до теплового стресу, має вирішальне значення для розробки терmostійких високоврожайних сортів [95, 96]. Нещодавні досягнення в геноміці, селекції за допомогою маркерів і феноміці дозволили ідентифікувати QTL і гени за допомогою широкогеномних досліджень асоціацій (GWAS) і розширеного картографування популяцій. Було повідомлено про численні QTL у кукурудзи, які пов'язані зі стійкістю до теплового стресу; низку генів і факторів транскрипції, індукованих тепловим стресом, можна використовувати в генній інженерії та селекції на стійкість до теплового стресу [97, 98].

Елітні лінії кукурудзи мають обмежене генетичне різноманіття, особливо щодо стійкості до теплового стресу [99]. Таким чином, використання наявних природних ресурсів місцевих сортів і диких співродичів кукурудзи є перспективним для виявлення потенційних ознак, що реагують на тепло [99]. Однак включення місцевих сортів до селекційних програм з теплостійкості для кукурудзи вимагатиме деяких проміжних кроків, таких як цілеспрямований відбір старовинних сортів, адекватна варіація бажаної ознаки та створення базової колекції зразків [100]. Крім того, стародавні сорти потрібно схрещувати, щоб перевірити комбінаційну здатність з контрастним генофондом, і залежно від кількості цільових ознак і присутніх варіацій один або кілька стародавніх сортів можна вибрати для програм підвищення врожайності [100].

Іншим методом створення генетичної варіації в популяції є мутаційна селекція, особливо коли наявні ресурси мають вузьку генетичну основу [101, 102]. Вузький генетичний фон можна розширити штучно, викликавши мутацію за допомогою фізичних і хімічних мутагенів. Окрім випадкової мутації, мутація, спрямована на специфічний ген, також ефективна для розвитку термостійкості у кукурудзи. Наприклад, точкова мутація в гені *Shrunken2* (*Sh2*) покращила рівень взаємодії між субодинами специфічного до ендосперму кукурудзи ферменту АДФ-глюкозофосфорилази за умов теплового стресу. АДФ-глюкозофосфорилаза необхідна для синтезу крохмалю та його накопичення в зерні кукурудзи, і на її активність впливає тепловий стрес [103]. Гени, що кодуєть фактори теплового шоку (HSF), вважаються важливими для розробки генетично модифікованих теплостійких культур. У кукурудзи було виявлено 31 HSF, включаючи HSF1, HSF3, HSF4, HSF5, HSF6, HSF23 і HSF25, які регулюють експресію різних білків теплового шоку (HSP) і сприяють стійкості до теплового стресу [104]. Трансгенна кукурудза з потенційними HSF показує високу стійкість в умовах теплового стресу. Наприклад, надекспресія *OsMYB55* забезпечила вище накопичення біомаси та зменшення пошкодження листків в трансгенній кукурудзі

під час і після впливу теплового стресу порівняно з диким типом [105]. Крім того, рослини з надмірною експресією *OsMYB55* також показали стійкість до посухи [105].

Висновки

Стійкість до теплового стресу є важливою ознакою для підвищення та підтримання врожайності в поточних і майбутніх кліматичних умовах. Скринінг дикорослих зразків, місцевих сортів і популяцій мутантних рослин для виявлення перспективних ознак і донорів може мати вирішальне значення для селекційних підходів підвищення стійкості культур до теплового стресу. Крім того, ідентифікацію і картографування QTL(ів) за допомогою молекулярних маркерів можна використовувати для ідентифікації основного/мінорного гена(ів), що сприяє стійкості до теплового стресу. Існують численні проблеми, включаючи відсутність експериментальних установок для проведення досліджень теплового стресу в природному середовищі. І навпаки, невизначеність виникнення теплового стресу на певній стадії вимагає точного експериментального планування. Існує потреба в недорогих засобах фенотипування, які можуть допомогти охарактеризувати генотипи в широкому діапазоні субоптимальних температур повітря в природних умовах. Тим не менш, складна взаємодія між високою температурою та іншими кліматичними факторами, зокрема посухою потребує глибокого вивчення. Поєднання стресів стало більш поширеним через зміну клімату. Ідентифікація нових ознак має бути пріоритетною для комбінацій стресів, де реакції рослин за комбінованих стресів можуть бути унікальними та різними порівняно з одним стресом в ізольованих середовищах. Крім того, традиційні та нові генетичні інструменти, надійні та ефективні засоби оцінок фенотипу для отримання масових і відтворюваних фенотипічних даних слід використовувати в цільових програмах поліпшення селекційних розробок для підвищення стійкості кукурудзи та інших зернових культур до теплового стресу.

References

1. Kogan, F. (2022). Global Warming Impacts on Earth Systems. In: Remote Sensing Land Surface Changes. Springer, Cham. doi.org/10.1007/978-3-030-96810-6_2
2. Beniston, M., & Tol, R. S. (1998). The potential impacts of climate change on Europe. *Energy & environment*, 9(4), 365-381. Beniston, M., & Tol, R. S. (1998). The potential impacts of climate change on Europe. *Energy & environment*, 9(4), 365-381. doi.org/10.1177/0958305X9800900403
3. Parry, M. L., Carter, T. R., & Konijn, N. T. (Eds.). (2013). The impact of climatic variations on agriculture: assessment in cool temperate and cold regions. V. 1. Springer Science & Business Media.
4. NOAA 2020. Climate. Global Temperature. <https://www.climate.gov/>
5. Anstalt, S. V. (2013). Food and agriculture organization of the United Nations.
6. Abbas, G., Ahmed, M., Fatima, Z., Hussain, S., Kheir, A. M., Ercişli, S., & Ahmad, S. (2023). Modeling the potential impact of climate change on maize-maize cropping system in semi-arid environment and designing of adaptation options. *Agricultural and Forest Meteorology*, 341, 109674. doi.org/10.1016/j.agrformet.2023.109674
7. Ahmad, I., Ahmad, B., Boote, K., & Hoogenboom, G. (2020). Adaptation strategies for maize production under climate change for semi-arid environments. *European Journal of Agronomy*, 115, 126040. doi.org/10.1016/j.eja.2020.126040
8. Abendroth, L. J., Miguez, F. E., Castellano, M. J., Carter, P. R., Messina, C. D., Dixon, P. M., & Hatfield, J. L. (2021). Lengthening of maize maturity time is not a widespread climate change adaptation strategy in the US Midwest. *Global Change Biology*, 27(11), 2426-2440. doi.org/10.1111/gcb.15565
9. DeFries, R., Mondal, P., Singh, D., Agrawal, I., Fanzo, J., Remans, R., & Wood, S. (2016). Synergies and trade-offs for sustainable agriculture: Nutritional yields and climate-resilience for cereal crops in Central India. *Global Food Security*, 11, 44-53., doi.org/10.1016/j.gfs.2016.07.001
10. Untenecker, J., Tiemeyer, B., Freibauer, A., Laggner, A., & Luterbacher, J. (2017). Tracking changes in the land use, management and drainage status of organic soils as indicators of the effectiveness of mitigation strategies for climate change. *Ecological indicators*, 72, 459-472. doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.08.004
11. Pereira, L., & Posen, I. D. (2020). Lifecycle greenhouse gas emissions from electricity in the province of Ontario at different temporal resolutions. *Journal of cleaner production*, 270, 122514. doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122514
12. Aggarwal, P., Vyas, S., Thornton, P., & Campbell, B. M. (2019). How much does climate change add to the challenge of feeding the planet this century. *Environmental Research Letters*, 14(4), 043001. [doi:10.1088/1748-9326/aafa3e](https://doi.org/10.1088/1748-9326/aafa3e)
13. Yang, B., He, M., Shishov, V., Tychkov, I., Vaganov, E., Rossi, S., ... & Griebinger, J. (2017). New perspective on spring vegetation phenology and global climate change based on Tibetan Plateau tree-ring data. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 114(27), 6966-6971. doi.org/10.1073/pnas.1616608114
14. Zampieri, M., Ceglar, A., Dentener, F., Dosio, A., Naumann, G., Van Den Berg, M., & Toreti, A. (2019). When will current climate extremes affecting maize production become the norm?. *Earth's Future*, 7(2), 113-122. doi.org/10.1029/2018EF000995
15. Zampieri, M., Toreti, A., Ceglar, A., Naumann, G., Turco, M., & Tebaldi, C. (2020). Climate resilience of the top ten wheat producers in the Mediterranean and the Middle East. *Regional Environmental Change*, 20, 1-9. doi.org/10.1007/s10113-020-01622-9
16. Neset, T. S., Wiréhn, L., Opach, T., Glaas, E., & Linnér, B. O. (2019). Evaluation of indicators for agricultural vulnerability to climate change: The case of Swedish

- agriculture. *Ecological Indicators*, 105, 571-580. [doi:10.1016/j.ecolind.2018.05.042](https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.05.042)
17. Dong, Y., Armour, K. C., Zelinka, M. D., Proistosescu, C., Battisti, D. S., Zhou, C., & Andrews, T. (2020). Intermodel spread in the pattern effect and its contribution to climate sensitivity in CMIP5 and CMIP6 models. *Journal of Climate*, 33(18), 7755-7775. [doi:10.1175/JCLI-D-19-1011.1](https://doi.org/10.1175/JCLI-D-19-1011.1)
 18. Hanjra, MA, & Qureshi, ME (2010). Global water crisis and future food security в нынешнем сезоне. *Food policy* , 35 (5), 365-377.
 19. Poppy, G. M., Jepson, P. C., Pickett, J. A., & Birkett, M. A. (2014). Achieving food and environmental security: new approaches to close the gap. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 369(1639), 20120272. doi.org/10.1098/rstb.2012.0272
 20. Fanzo, J., Davis, C., McLaren, R., & Choufani, J. (2018). The effect of climate change across food systems: Implications for nutrition outcomes. *Global food security*, 18, 12-19 [doi:10.1016/j.gfs.2018.06.001](https://doi.org/10.1016/j.gfs.2018.06.001)
 21. Cox, P. M., Huntingford, C., & Williamson, M. S. (2018). Emergent constraint on equilibrium climate sensitivity from global temperature variability. *Nature*, 553(7688), 319-322. [doi:10.1038/nature25450](https://doi.org/10.1038/nature25450)
 22. Smith, D. M., Scaife, A. A., Eade, R., Athanasiadis, P., Bellucci, A., Bethke, I., ... & Zhang, L. (2020). North Atlantic climate far more predictable than models imply. *Nature*, 583(7818), 796-800. doi.org/10.1038/s41586-020-2525-0
 23. Abd-Elmabod, S. K., Muñoz-Rojas, M., Jordán, A., Anaya-Romero, M., Phillips, J. D., Jones, L., ... & de la Rosa, D. (2020). Climate change impacts on agricultural suitability and yield reduction in a Mediterranean region. *Geoderma*, 374, 114453. [doi:10.1016/j.geoderma.2020.114453](https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2020.114453)
 24. Moore, F. C., & Lobell, D. B. (2014). Adaptation potential of European agriculture in response to climate change. *Nature Climate Change*, 4(7), 610-614.
 25. Rahimi-Moghaddam, S., Kambouzia, J., & Deihimfard, R. (2018). Adaptation strategies to lessen negative impact of climate change on grain maize under hot climatic conditions: A model-based assessment. *Agricultural and Forest Meteorology*, 253, 1-14. doi.org/10.1016/j.agrformet.2018.01.032
 26. Kang, Y., Khan, S., & Ma, X. (2009). Climate change impacts on crop yield, crop water productivity and food security—A review. *Progress in natural Science*, 19(12), 1665-1674. doi.org/10.1016/j.pnsc.2009.08.001
 27. Hondebrink, M. A., Cammeraat, L. H., & Cerdà, A. (2017). The impact of agricultural management on selected soil properties in citrus orchards in Eastern Spain: A comparison between conventional and organic citrus orchards with drip and flood irrigation. *Science of the total environment*, 581, 153-160. doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.12.087
 28. Bekele, D., Alamirew, T., Kebede, A., Zeleke, G., & Melesse, A. M. (2019). Land use and land cover dynamics in the Keleta watershed, Awash River basin, Ethiopia. *Environmental Hazards*, 18(3), 246-265. doi.org/10.1080/17477891.2018.1561407
 29. Jarecki, M., Grant, B., Smith, W., Deen, B., Drury, C., VanderZaag, A., ... & Wagner-Riddle, C. (2018). Long-term trends in corn yields and soil carbon under diversified crop rotations. *Journal of environmental quality*, 47(4), 635-643. [doi: 10.2134/jeq2017.08.0317](https://doi.org/10.2134/jeq2017.08.0317)
 30. Jourgholami, M., Ghassemi, T., & Labelle, E. R. (2019). Soil physio-chemical and biological indicators to evaluate the restoration of compacted soil following reforestation. *Ecological indicators*, 101, 102-110. doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.01.009
 31. Meyer, R. S., Cullen, B. R., Whetton, P. H., Robertson, F. A., & Eckard, R. J. (2018). Potential impacts of climate change on soil organic carbon and productivity in pastures of south eastern Australia. *Agricultural Systems*, 167, 34-46. doi.org/10.1016/j.agsy.2018.08.010
 32. Gent, P. R., Danabasoglu, G., Donner, L. J., Holland, M. M., Hunke, E. C., Jayne, S. R., ... & Zhang, M. (2011). The community climate system model version 4. *Journal of*

- climate*, 24(19), 4973-4991. doi.org/10.1175/2011JCLI4083.1
33. Abd-Elmabod, S. K., Muñoz-Rojas, M., Jordán, A., Anaya-Romero, M., Phillips, J. D., Jones, L., ... & de la Rosa, D. (2020). Climate change impacts on agricultural suitability and yield reduction in a Mediterranean region. *Geoderma*, 374, 114453. doi.org/10.1016/j.geoderma.2020.114453
 34. Juhos, K., Czigány, S., Madarász, B., & Ladányi, M. (2019). Interpretation of soil quality indicators for land suitability assessment—A multivariate approach for Central European arable soils. *Ecological Indicators*, 99, 261-272. doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.11.063
 35. Akbari, M., Alamdarlo, H. N., & Mosavi, S. H. (2020). The effects of climate change and groundwater salinity on farmers' income risk. *Ecological Indicators*, 110, 105893. doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105893
 36. Estrella, N., Sparks, T. H., & Menzel, A. (2007). Trends and temperature response in the phenology of crops in Germany. *Global Change Biology*, 13(8), 1737-1747. doi.org/10.1111/j.1365-2486.2007.01374.x
 37. Fahad, S., Hussain, S., Saud, S., Khan, F., Hassan, S., Amanullah, ... & Huang, J. (2016). Exogenously applied plant growth regulators affect heat-stressed rice pollens. *Journal of agronomy and crop science*, 202(2), 139-150. doi.org/10.1111/jac.12148
 38. Hou, P., Liu, Y., Liu, W., Yang, H., Xie, R., Wang, K., ... & Li, S. (2021). Quantifying maize grain yield losses caused by climate change based on extensive field data across China. *Resources, Conservation and Recycling*, 174, 105811. doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105811
 39. Parry, M., Rosenzweig, C., Iglesias, A., Fischer, G., & Livermore, M. (1999). Climate change and world food security: a new assessment. *Global environmental change*, 9, S51-S67. [doi.org/10.1016/S0959-3780\(99\)00018-7](https://doi.org/10.1016/S0959-3780(99)00018-7)
 40. Rivero R. M., Mittler R., Blumwald E. та ін. Developing climate-resilient crops: improving plant tolerance to stress combination. *The Plant Journal*. Issue 109, No 2. P. 373–389. [doi:10.1111/tbj.15483](https://doi.org/10.1111/tbj.15483).
 41. Senguttuvel P., Jaldhani V., Raju N. S. et al. Breeding rice for heat tolerance and climate change scenario; possibilities and way forward. A review. *Archives of Agronomy and Soil Science*. Vol. 68, Issue 1. P. 115–132. [doi:10.1080/03650340.2020.1826041](https://doi.org/10.1080/03650340.2020.1826041).
 42. Stocker, T. F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P. M. Midgley (eds.]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 1447–1466, [doi:10.1017/CBO9781107415324.031](https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.031).
 43. Dhankher O. P., Foyer C. H. Climate resilient crops for improving global food security and safety. *Plant, Cell & Environment*. Issue 41, No 5. P. 877–884. [doi:10.1111/pce.13207](https://doi.org/10.1111/pce.13207)
 44. Rivero R. M., Mittler R., Blumwald E. та ін. Developing climate-resilient crops: improving plant tolerance to stress combination. *The Plant Journal*. Issue 109, No 2. P. 373–389. [doi:10.1111/tbj.15483](https://doi.org/10.1111/tbj.15483)
 45. Molina-Romero, D., Baez, A., Quintero-Hernández, V., Castañeda-Lucio, M., Fuentes-Ramírez, L. E., Bustillos-Cristales, M. D. R., ... & Muñoz-Rojas, J. (2017). Compatible bacterial mixture, tolerant to desiccation, improves maize plant growth. *PloS one*, 12(11), e0187913. [doi: 10.1371/journal.pone.0187913](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0187913)
 46. Lozano-García, B., Muñoz-Rojas, M., & Parras-Alcántara, L. (2017). Climate and land use changes effects on soil organic carbon stocks in a Mediterranean semi-natural area. *Science of the Total Environment*, 579, 1249-1259. doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.11.111
 47. Muñoz-Rojas, M., Abd-Elmabod, S. K., Zavala, L. M., De la Rosa, D., & Jordán, A. (2017). Climate change impacts on soil organic carbon stocks of Mediterranean agricultural areas: a case study in Northern Egypt. *Agriculture, ecosystems & environment*, 238, 142-152. doi.org/10.1016/j.agee.2016.09.001
 48. Dmytrenko, V. P. Weather, climate and harvest of field crops. Kyiv: Nika-Tsenter (2010). [in Ukrainian]
 49. Hrebin V.V. Current water regime of rivers in Ukraine (landscape and hydrological analysis)

- / V.V. Grebin. - K.: Nika-Tsenter, 2010. [in Ukrainian]
50. Climate of Ukraine / Ed. by V. M. Lipinskyi, V. A. Diachuk, V. M. Babichenko. — K.: Vydavnytstvo Raievskoho, 2003. — 343 p. [in Ukrainian]
 51. Tararyko O. H., Syrotenko O. V., Iliencko T. V., Kuchma T. L., Voskresenska O. M. Assessment of the impact of climate changes on the productivity of grain crops and their forecasting based on satellite data. *Visnyk Ahrarnoi Nauky*. 2013. – No. 10. – P. 10 – 16. [in Ukrainian]
 52. Kapustian M. V., Chernobai L. N., Kuzmishina N. V. Genetic value of self-pollinated corn lines depending on the pedigree. *Life sciences in the dialogue of generations: connections between universities, academia and business community: abstract book, the National Conference with International Participation*. Chisinau, Republic of Moldova, 2019. P. 35–36.
 53. M. El.M. El-Badawy, (2013). Heterosis and Combining Ability in Maize using Diallel Crosses among Seven New Inbred Lines. *Asian Journal of Crop Science*, 5: P. 1-13. [doi: 10.3923/ajcs.2013.1.13](https://doi.org/10.3923/ajcs.2013.1.13).
 54. Abbas, G., Ahmad, S., Ahmad, A., Nasim, W., Fatima, Z., Hussain, S., & Hoogenboom, G. (2017). Quantification the impacts of climate change and crop management on phenology of maize-based cropping system in Punjab, *Pakistan. Agricultural and Forest Meteorology*, 247, 42-55. doi.org/10.1016/j.agrformet.2017.07.012
 55. Adeagbo, O. A., Ojo, T. O., & Adetoro, A. A. (2021). Understanding the determinants of climate change adaptation strategies among smallholder maize farmers in South-west, Nigeria. *Heliyon*, 7(2). doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e06231
 56. Ahmad, I., Ahmad, B., Boote, K., & Hoogenboom, G. (2020). Adaptation strategies for maize production under climate change for semi-arid environments. *European Journal of Agronomy*, 115, 126040. doi.org/10.1016/j.eja.2020.126040
 57. Alam, M. A., Seetharam, K., Zaidi, P. H., Dinesh, A., Vinayan, M. T., & Nath, U. K. (2017). Dissecting heat stress tolerance in tropical maize (*Zea mays* L.). *Field Crops Research*, 204, 110-119. doi.org/10.1016/j.fcr.2017.01.006
 58. Fonseca, A. E., & Westgate, M. E. (2005). Relationship between desiccation and viability of maize pollen. *Field crops research*, 94(2-3), 114-125. doi.org/10.1016/j.fcr.2004.12.001
 59. Slingo, J. M., Challinor, A. J., Hoskins, B. J., & Wheeler, T. R. (2005). Introduction: food crops in a changing climate. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 360(1463), 1983-1989. [doi:10.1098/rstb.2005.1755](https://doi.org/10.1098/rstb.2005.1755)
 60. Nahid, N., Lashgarara, F., Farajolah Hosseini, S. J., Mirdamadi, S. M., & Rezaei-Moghaddam, K. (2021). Determining the resilience of rural households to food insecurity during drought conditions in Fars province, Iran. *Sustainability*, 13(15), 8384. [doi:10.3390/su13158384](https://doi.org/10.3390/su13158384)
 61. Dong, X., Guan, L., Zhang, P., Liu, X., Li, S., Fu, Z., ... & Yang, H. (2021). Responses of maize with different growth periods to heat stress around flowering and early grain filling. *Agricultural and Forest Meteorology*, 303, 108378. doi.org/10.1016/j.agrformet.2021.108378
 62. Schauburger, B., Archontoulis, S., Arneth, A., Balkovic, J., Ciais, P., Deryng, D., ... & Frieler, K. (2017). Consistent negative response of US crops to high temperatures in observations and crop models. *Nature communications*, 8(1), 13931. [doi: 10.1038/ncomms13931](https://doi.org/10.1038/ncomms13931)
 63. Deryng, D., Conway, D., Ramankutty, N., Price, J., & Warren, R. (2014). Global crop yield response to extreme heat stress under multiple climate change futures. *Environmental Research Letters*, 9(3), 034011. [doi: 10.1088/1748-9326/9/3/034011](https://doi.org/10.1088/1748-9326/9/3/034011)
 64. Zhao, C., Liu, B., Piao, S., Wang, X., Lobell, D. B., Huang, Y., ... & Asseng, S. (2017). Temperature increase reduces global yields of major crops in four independent estimates. *Proceedings of the National Academy of sciences*, 114(35), 9326-9331. doi.org/10.1073/pnas.1701762114

65. Wang, C. (2019). Three-ocean interactions and climate variability: A review and perspective. *Climate Dynamics*, 53(7), 5119-5136.
66. Lohani, N., Singh, M. B., & Bhalla, P. L. (2022). Short-term heat stress during flowering results in a decline in Canola seed productivity. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 208(4), 486-496. doi.org/10.1111/jac.12534
67. Gliessman, S., & Tittonell, P. (2015). Agroecology for food security and nutrition. *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 39(2), 131-133.
68. Murray, V., & Ebi, K. L. (2012). IPCC special report on managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation (SREX). *J Epidemiol Community Health*, 66(9), 759-760
69. Gourdji, S. M., Sibley, A. M., & Lobell, D. B. (2013). Global crop exposure to critical high temperatures in the reproductive period: historical trends and future projections. *Environmental Research Letters*, 8(2), 024041. [doi 10.1088/1748-9326/8/2/024041](https://doi.org/10.1088/1748-9326/8/2/024041)
70. Stone, D. A., Allen, M. R., Stott, P. A., Pall, P., Min, S. K., Nozawa, T., & Yukimoto, S. (2009). The detection and attribution of human influence on climate. *Annual Review of Environment and Resources*, 34, 1-16.
71. Ordonez, A., Williams, J. W., & Svenning, J. C. (2016). Mapping climatic mechanisms likely to favour the emergence of novel communities. *Nature Climate Change*, 6(12), 1104-1109.
72. Sanchez Gómez, R. (2014). Gestión y psicología en empresas y organizaciones. [doi:10.1038/nclimate3127](https://doi.org/10.1038/nclimate3127)
73. Schoper, J. B., Lambert, R. J., Vasilas, B. L., & Westgate, M. E. (1987). Plant factors controlling seed set in maize: the influence of silk, pollen, and ear-leaf water status and tassel heat treatment at pollination. *Plant physiology*, 83(1), 121-125. [doi: 10.1104/pp.83.1.121](https://doi.org/10.1104/pp.83.1.121)
74. Edreira, J. R., Carpici, E. B., Sammarro, D., & Otegui, M. E. (2011). Heat stress effects around flowering on kernel set of temperate and tropical maize hybrids. *Field Crops Research*, 123(2), 62-73. [doi:10.1016/j.fcr.2011.04.015](https://doi.org/10.1016/j.fcr.2011.04.015)
75. Lizaso, J. I., Ruiz-Ramos, M., Rodríguez, L., Gabaldon-Leal, C., Oliveira, J. A., Lorite, I. J., ... & Rodríguez, A. (2018). Impact of high temperatures in maize: Phenology and yield components. *Field Crops Research*, 216, 129-140. doi.org/10.1016/j.fcr.2017.11.013
76. Maire, V., Wright, I. J., Prentice, I. C., Batjes, N. H., Bhaskar, R., van Bodegom, P. M., ... & Santiago, L. S. (2015). Global effects of soil and climate on leaf photosynthetic traits and rates. *Global Ecology and Biogeography*, 24(6), 706-717. doi.org/10.1111/geb.12296
77. Gourdji, SM, Sibley, AM, & Lobell, DB (2013). Global crop exposure to critical high temperatures in reproductive period: historical trends and future projections. *Environmental Research Letters* , 8 (2),024041. [doi 10.1088/1748-9326/8/2/024041](https://doi.org/10.1088/1748-9326/8/2/024041)
78. Lohani, N., Singh, M. B., & Bhalla, P. L. (2020). High temperature susceptibility of sexual reproduction in crop plants. *Journal of Experimental Botany*, 71(2), 555-568. doi.org/10.1093/jxb/erz426
79. Cicchino, M., Edreira, J. R., Uribelarrea, M., & Otegui, M. E. (2010). Heat stress in field-grown maize: Response of physiological determinants of grain yield. *Crop science*, 50(4), 1438-1448. doi.org/10.2135/cropsci2009.10.0574
80. Boyer, J. S., & Westgate, M. E. (2004). Grain yields with limited water. *Journal of experimental botany*, 55(407), 2385-2394. doi.org/10.1093/jxb/erh219
81. Lewis, R. S., & Goodman, M. M. (2003). Incorporation of tropical maize germplasm into inbred lines derived from temperate× temperate-adapted tropical line crosses: agronomic and molecular assessment. *Theoretical and Applied Genetics*, 107, 798-805. [doi:10.1007/s00122-003-1341-x](https://doi.org/10.1007/s00122-003-1341-x)
82. Gifford, R. M., Thorne, J. H., Hitz, W. D., & Giaquinta, R. T. (1984). Crop productivity and photoassimilate partitioning. *Science*, 225(4664), 801-808.

- [doi: 10.1126/science.225.4664.801](https://doi.org/10.1126/science.225.4664.801)
83. Hall A. E. Breeding Cowpea for Future Climates. *Crop Adaptation to Climate Change*. John Wiley & Sons, Ltd, 2011. P. 340–355. [doi:10.1002/9780470960929.ch24](https://doi.org/10.1002/9780470960929.ch24).
 84. Commuri P. D., Jones R. J. High Temperatures during Endosperm Cell Division in Maize: A Genotypic Comparison under In Vitro and Field Conditions. *Crop Science*. Issue 41, No 4. P. 1122–1130. [doi:10.2135/cropsci2001.4141122x](https://doi.org/10.2135/cropsci2001.4141122x).
 85. Karim MD. A., Fracheboud Y., Stamp P. Photosynthetic activity of developing leaves of *Zea mays* is less affected by heat stress than that of developed leaves. *Physiologia Plantarum*. Issue 105, No 4. P. 685–693. [doi:10.1034/j.1399-3054.1999.105413.x](https://doi.org/10.1034/j.1399-3054.1999.105413.x).
 86. Madhumal Thayil V., Zaidi P. H., Seetharam K. et al. Genotype-by-Environment Interaction Effects under Heat Stress in Tropical Maize. *Agronomy*. Issue 10, No 12. P. 1998. [doi:10.3390/agronomy10121998](https://doi.org/10.3390/agronomy10121998).
 87. Chen J., Xu W., Velten J. et al. Characterization of maize inbred lines for drought and heat tolerance. *Journal of Soil and Water Conservation*. Issue 67, No 5. P. 354–364. [doi:10.2489/jswc.67.5.354](https://doi.org/10.2489/jswc.67.5.354).
 88. Alam M. A., Seetharam K., Zaidi P. H. et al. Dissecting heat stress tolerance in tropical maize (*Zea mays* L.). *Field Crops Research*. Issue 204, 03.2017. P. 110–119. [doi:10.1016/j.fcr.2017.01.006](https://doi.org/10.1016/j.fcr.2017.01.006).
 89. Noor J. J., Vinayan M. T., Umar S. et al. Morpho-physiological traits associated with heat stress tolerance in tropical maize (*Zea mays* L.) at reproductive stage. *Australian Journal of Crop Science*. Vol. 13, Issue (04) 2019. P. 536–545. [doi:10.21475/ajcs.19.13.04.p1448](https://doi.org/10.21475/ajcs.19.13.04.p1448).
 90. Feng H., Guo Z., Yang W. et al. An integrated hyperspectral imaging and genome-wide association analysis platform provides spectral and genetic insights into the natural variation in rice. *Scientific Reports*. Issue 7, No 1. P. 4401. [doi:10.1038/s41598-017-04668-8](https://doi.org/10.1038/s41598-017-04668-8).
 91. Song P., Wang J., Guo X. et al. High-throughput phenotyping: Breaking through the bottleneck in future crop breeding. *The Crop Journal*. Vol. 9, Issue 3. P. 633–645. [doi:10.1016/j.cj.2021.03.015](https://doi.org/10.1016/j.cj.2021.03.015).
 92. Joshi J., Hasnain G., Logue T. et al. A Core Metabolome Response of Maize Leaves Subjected to Long-Duration Abiotic Stresses. *Metabolites*. Issue 11, No 11. P. 797. [doi:10.3390/metabo11110797](https://doi.org/10.3390/metabo11110797).
 93. Frova C., Sari-Gorla M. Quantitative trait loci (QTLs) for pollen thermotolerance detected in maize. *Molecular and General Genetics*. Issue 245, No 4. P. 424–430. [doi:10.1007/BF00302254](https://doi.org/10.1007/BF00302254).
 94. Parrado, J. D., Canteros, F. H., & Lorea, R. (2021). Heat stress in maize: Characterization and phenotypic plasticity. *Maydica*, 65(3), 11–16.
 95. Inghelandt D. V., Frey F. P., Ries D. et al. QTL mapping and genome-wide prediction of heat tolerance in multiple connected populations of temperate maize. *Scientific Reports*. Issue 9, No 1. P. 14418. [doi:10.1038/s41598-019-50853-2](https://doi.org/10.1038/s41598-019-50853-2).
 96. McNellie J. P., Chen J., Li X. et al. Genetic Mapping of Foliar and Tassel Heat Stress Tolerance in Maize. *Crop Science*. Issue 58, No 6. P. 2484–2493. [doi:10.2135/cropsci2018.05.0291](https://doi.org/10.2135/cropsci2018.05.0291).
 97. Lutsyk A.P., Kozhuhova N.E., Syvolap Yu.M. (2008) Genes encoding corn heat shock proteins: structure and polymorphism. *Fakty i Eksperymentalnoi Evoliutsii Orhanizmiv*: Collection of scientific papers. Vol. 4. P. 138-142. [in Ukrainian]
 98. El-Sappah A. H., Rather S. A., Wani S. H. et al. Heat Stress-Mediated Constraints in Maize (*Zea mays*) Production: Challenges and Solutions. *Frontiers in Plant Science*. Vol. 13, 2022.
 99. Nelimor C., Badu-Apraku B., Tetteh A. Y. et al. Assessment of Genetic Diversity for Drought, Heat and Combined Drought and Heat Stress Tolerance in Early Maturing Maize Landraces. *Plants*. Issue 8, No 11. P. 518. [doi:10.3390/plants8110518](https://doi.org/10.3390/plants8110518).
 100. Würschum T., Weiß T. M., Renner J. et al. High-resolution association mapping with libraries of immortalized lines from ancestral landraces. *Theoretical and Applied Genetics*. Issue 135, No 1. P. 243–256. [doi:10.1007/s00122-021-03963-3](https://doi.org/10.1007/s00122-021-03963-3).

101. Begna T. Effects of crop evolution under domestication and narrowing genetic bases of crop species. *Open Journal of Plant Science*. Issue 6, No 1. P. 049–054. [doi:10.17352/ojps.000032](https://doi.org/10.17352/ojps.000032).
102. Ruswandi D., Anggia E. P., Canama A. O. et al. Mutation breeding of maize for anticipating global climate change in Indonesia. *Asian Journal of Agricultural Research*. Vol. 8, Issue 5. P. 234–247.
103. Greene T. W., Hannah L. C. Enhanced stability of maize endosperm ADP-glucose pyrophosphorylase is gained through mutants that alter subunit interactions. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. Vol. 95, Issue 22. P. 13342–13347. [doi:10.1073/pnas.95.22.13342](https://doi.org/10.1073/pnas.95.22.13342).
104. Lin Y.-X., Jiang H.-Y., Chu Z.-X. et al. Genome-wide identification, classification and analysis of heat shock transcription factor family in maize. *BMC Genomics*. Vol. 12, Issue 1. P. 76. [doi:10.1186/1471-2164-12-76](https://doi.org/10.1186/1471-2164-12-76).
105. Casaretto J. A., El-Kereamy A., Zeng B. et al. Expression of OsMYB55 in maize activates stress-responsive genes and enhances heat and drought tolerance. *BMC Genomics*. Vol. 17, Issue 1. P. 312. [doi:10.1186/s12864-016-2659-5](https://doi.org/10.1186/s12864-016-2659-5).

Received 15.05.2024

CONTENTS

ORIGINAL ARTICLES

- Morgun V.V., Stasik O.O., Tarasiuk M.V., Kiriziy D.A.***
Storage Capacity of Different Stem Parts and its Role for Grain Productivity of Short-Term Drought-Exposed Winter Wheat Genotypes Contrasting in Drought Tolerance 6
- Melnyk V.S., Chernobai S.V., Riabchun V.K.***
Selection of Triticale Sources of High Kernel Hardness 32
- Moskalets V.I., Moskalets T.Z., Moskalets V.V., Bunyak N.M., Bunyak O.I.***
A New Winter Bread Wheat Cultivar 'Nosivochka' for the Forest-Step and Woodlands of Ukraine 46
- Leonov O.Yu., Skrypnyk O.O., Usova Z.V., Suvorova K.Yu., Khukhrianska M.M.***
Inheritance of Large Seed Fraction Output by Winter Bread Wheat Hybrids 63
- Marusiak A.O., Serhiienko O.V.***
Screening of Collection Eggplant Accessions for Performance and its Constituents 74

BRIEF COMMUNICATION

- Popov Yu.V., Avramenko S.V.***
Effect of Autumn Application of Different Doses and Types of Nitrogen Fertilizers on Post-Sunflower-Sown Winter Wheat Yield 94

MINI REVIEW

- Muzafarov N.M., Ponurenko S.H., Barsukov I.P., Sikalova O.V., Kapustian M.V.***
Challenges in Corn Breeding Under Climatic Changes 102

ЗМІСТ

ОРИГІНАЛЬНІ СТАТТІ

<i>Моргун В.В., Стасик О.О., Тарасюк М.В., Кірізій Д.А.</i> Депонувальна здатність окремих частин стебла та її роль у формуванні зернової продуктивності контрастних за посухостійкістю генотипів озимої пшениці за дії короткотривалої посухи	6
<i>Мельник В.С., Чернобай С.В., Рябчун В.К.</i> Виділення джерел високої твердості зерна тритикале	32
<i>Москалець В.І., Москалець Т.З., Москалець В.В., Буняк Н.М., Буняк О.І.</i> Новий сорт пшениці м'якої озимої Носівочка для умов Лісостепу і Полісся України	46
<i>Леонов О.Ю., Скрипник О.О., Усова З.В., Суворова К.Ю., Хухрянська М.М.</i> Успадкування виходу насіння крупної фракції гібридами пшениці м'якої озимої	63
<i>Марусяк А.О., Сергієнко О.В.</i> Скринінг колекційних зразків баклажана за продуктивністю та її складовими	74

КОРОТКЕ ПОВІДОМЛЕННЯ

<i>Попов Ю.В., Авраменко С.В.</i> Вплив осіннього внесення різних доз та видів азотних добрив на урожайність пшениці озимої після попередника соняшник	94
---	----

МІНЮГЛЯД

<i>Музафаров Н.М., Понуренко С.Г., Барсуков І.П., Сікалова О.В., Капустян М.В.</i> Проблеми селекції кукурудзи на фоні кліматичних змін	102
--	-----

Наукове видання

Селекція і насінництво

Міжвідомчий тематичний науковий збірник

Заснований у 1964 році

Випуск 125

Публікуються результати досліджень у галузі селекції, генетики, рослинництва, фізіології, якості зерна, рослинних ресурсів, насінництва, насіннезнавства та сортознавства.

Відповідальний за випуск Колупаєв Ю.Є.

Англійський переклад Реліна Л. І.

Комп'ютерна верстка: Кокорєв О.І.

Формат 60×84 $\frac{1}{8}$

Тираж 50

Ціна договірна