

**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

129

Харків 2026

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.

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ

Головний редактор

Валерія П. КОЛОМАЦЬКА (Харків, Україна)

Заступник головного редактора

Юрій Є. КОЛУПАЄВ (Харків, Україна)

Відповідальний секретар

Ліана І. РЕЛІНА (Харків, Україна)

Борис В. ДЗЮБЕЦЬКИЙ (Дніпро, Україна)

Тетяна І. ГОПЦІЙ (Харків, Україна)

Кая ЯЛЧИН (Тракія, Туреччина)

Сергій І. КОНДРАТЕНКО (Мерефа, Україна)

Олег Ю. ЛЕОНОВ (Харків, Україна)

Владимир МИКЛИЧ (Нові Сад, Сербія)

Мір Рязул Рауф (Мердок, Австралія)

Лідія Т. Міщенко (Київ, Україна)

Сергій В. МИЩЕНКО (Глухів, Україна)

Наталія І. РЯБЧУН (Харків, Україна)

Микола В. ШЕВЧЕНКО (Харків, Україна)

Тетяна О. ЯСТРЕБ (Харків, Україна)

За достовірність інформації відповідають автори публікацій.

Видання представлено та індексується: Google Scholar, CrossRef, BASE, KOAR, Dimensions, Lens, OpenAIRE, OUCI, Scilit, Національна наукова бібліотека України ім. В.І. Вернадського.

Свідоцтво про реєстрацію KB № 21732-11632PR 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

<https://seleksiia-nasinnystvo.com.ua/pbsd/uk>

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.

EDITORIAL BOARD

Editor-in-Chief

Valeriia KOLOMATSKA (Kharkiv, Ukraine)

Deputy Editor-in-Chief

Yuriy KOLUPAEV (Kharkiv, Ukraine)

Executive Secretary

Liana RELINA (Kharkiv, Ukraine)

Borys DZIUBETSKYI (Dnipro, Ukraine)

Tetiana HOPTSII (Kharkiv, Ukraine)

Kaya YALCIN (Trakya, Türkiye),

Serhii KONDRATENKO (Merefa, Ukraine)

Oleh LEONOV (Kharkiv, Ukraine)

Vladimir MIKLIČ (Novi Sad, Serbia)

Mir Reyazul Rouf (Murdoch, Australia)

Lidiia MISHCHENKO (Kyiv, Ukraine)

Serhii MISHCHENKO (Hlukhiv, Ukraine)

Nataliya RYABCHUN (Kharkiv, Ukraine)

Mykola SHEVCHENKO (Kharkiv, Ukraine)

Tetiana YASTREB (Kharkiv, Ukraine)

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

The collection has been represented and is indexed: Google Scholar, CrossRef, BASE, KOAR, Dimensions, Lens, OpenAIRE, OUCI, Scilit, National Scientific Library named after V.I. Vernadsky.

Registration certificate KV No 21732-11632PR dated 11/24/2015.

Address of the Editorial Board: 142 Heroiv Kharkova Ave., Kharkiv, Ukraine, 61060, Yuriev Plant Production Institute of NAAS

Tel. +38(098) 9494524

E-mail: plant_biology@ukr.net

<https://seleksiia-nasinnystvo.com.ua/pbsd/en>

ЗМІСТ

Оригінальні статті

Чернобай С.В., Мельник В.С., Рябчун В.К., Капустіна Т.Б., Щипак Г.В., Щеченко О.Є., Чернобаб Р.А., Усова З.В. Створення селекційного матеріалу тритикале з легким обмолотом колоса.....	4
Щеченко Р.С. Адаптивність сортів тритикале озимого до абіотичних факторів середовища в умовах східного лісостепу України.....	18
Москалець В.В., Москалець Т.З., Москалець В.І., Буняк Н.М., Барат Ю.М. Селекційна та генетична характеристика сорту пшениці м'якої Володарка Носівщини.....	34
Горенський В.М., Бугайов В.Д. Продуктивність люцерни (Medicago L.) в екологічному сортовипробуванні.....	55
Радченко Л.О., Сергієнко О.В., Солодовник Л.Д., Немченко С.О., Гарбовська Т.М. Прояв гетерозису та ступеня домінування за цінними господарськими ознаками у гібридів f1 огірка в умовах захищеного ґрунту.....	65
Курилич Д.В., Макляк К.М., Супрун О.Г., Кузьмишена Н.В., Кираш Т.М. Мінливість цінних господарських ознак та стійкості до вовчка у високоолеїнових гібридів соняшнику.....	77
Білокобильська А.І., Огурцов Ю.Є. Вплив передпосівної обробки насіння регуляторами росту та мікродобривами на посівні якості і виживаність ліній соняшника.....	93
Думанецький В.В. Вплив десикації та регуляторів росту на рівень вірусної інфекції в насіннєвому матеріалі картоплі.....	108

CONTENTS

Original Articles

Chernobai S.V., Melnyk V.S., Riabchun V.K., Kapustina T.B., Shchypak H.V., Shchechenko O.Ye., Chernobab R.A., Usova Z.V. Development of Triticale Breeding Material with Easy Threshability.....	4
Shchechenko R. S. Adaptability of Winter Triticale Cultivars to Abiotic Environmental Factors in the Eastern Forest-Steppe of Ukraine.....	18
Moskalets V.V., Moskalets T.Z., Moskalets V.I., Bunyak N.M., Barat Yu.M. Breeding and Genetic Characterization of the Common Wheat Cultivar 'Volodarka Nosivshchyny'...	34
Gorensky V.M., Buhayov V.D. Productivity of Alfalfa (Medicago L.) in an Ecological Variety Trial.....	55
Radchenko L.O., Serhiienko O.V., Solodovnyk L.D., Nemchenko S.O., Harbovska T.M. Heterosis and dominance degree for valuable economic traits in f1 cucumber hybrids grown in a greenhouse.....	65
Kurylych D.V., Makliak K.M., Suprun O.H., Kuzmyshena N.V., Kyrash T.M. Variability of valuable economic traits and broomrape resistance in high-oleic sunflower hybrids.....	77
Bilokobylska A.I., Ohurtsov Yu.Ye. Effect of Presowing Seed Treatment with Growth Regulators and Microfertilizers on Sowing Quality and Survival of Sunflower Lines.....	93
Dumanetsky V.V. Impact of Desiccation and Growth Regulators on Viral Infection Seed Potatoes.....	108

УДК 633.11+633.14:631.527

С.В. Чернобай*, В.С. Мельник, В.К. Рябчун, Т.Б. Капустіна, Г.В. Щипак,
О.Є. Щеченко, Р.А. Чернобаб, З.В. Усова

Створення селекційного матеріалу тритикале з легким обмолотом колоса

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

*E-mail: chernobai257@gmail.com

UDC 633.11+633.14:631.527

S.V. Chernobai*, V.S. Melnyk, V.K. Riabchun, T.B. Kapustina, H.V. Shchypak,
O.Ye. Shchechenko, R.A. Chernobab, Z.V. Usova

Development of Triticale Breeding Material with Easy Threshability

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

*E-mail: chernobai257@gmail.com

Реферат: Викладено результати досліджень селекційного матеріалу озимого та ярого тритикале, створеного в Інституті рослинництва ім. В.Я. Юр'єва НААН України. Метою роботи було створення комплексно-цінних ліній ярого та озимого тритикале з легким обмолотом колосу, підвищеною врожайністю. У 2024–2025 рр. проведено дослідження селекційного матеріалу озимого та ярого тритикале, виділено господарсько цінні лінії з легким обмолотом колосу. Сім ліній ярого тритикале – ЯТХ 37-25, ЯТХ 92-25, ЯТХ 157-25, ЯТХ 159-25, ЯТХ 174-25, ЯТХ 179-25, ЯТХ 183-25 та чотири лінії озимого тритикале ТХЗ 168-25, ТХЗ 194-25, ТХЗ 215-25 та ТХЗ 216-25 з легким обмолотом колоса істотно перевершують стандарт Воля харківська та краші сорти-еталони Свобода харківська та ІР Легіт за врожайністю та окремими цінними господарськими ознаками – крупністю та виповненістю зерна, вмістом крохмалю та білку, твердозерністю та ін. За результатами технологічного аналізу ліній встановлено, що загальна хлібопекарська оцінка виділених ліній ярого та озимого тритикале досить висока (7,8–8,6 бала). Аналіз родоводів показав, що лінії були створені шляхом внутрішньовидової гібридизації із залученням батьківських компонентів з ознаками легкого обмолоту колоса та високої урожайності. Виділені лінії є перспективним вихідним матеріалом для селекції тритикале.

Ключові слова: × *Triticosecale*, легкий обмолот, селекція, гібридизація, урожайність

Abstract: The article presents results on winter and spring triticale breeding material developed at the Yuriev Plant Production Institute of NAAS of Ukraine. The purpose of the study was to develop complex-valuable lines of spring and winter triticale characterized by easy threshability and increased yield capacity. In 2024–2025, winter and spring triticale breeding material was investigated, and economically valuable, easily threshable lines were identified. Seven spring triticale lines – ‘YaTKh 37-25’, ‘YaTKh 92-25’, ‘YaTKh 157-25’, ‘YaTKh 159-25’, ‘YaTKh 174-25’, ‘YaTKh 179-25’, and ‘YaTKh 183-25’ – as well as four winter triticale lines – ‘TKhZ 168-25’, ‘TKhZ 194-25’, ‘TKhZ 215-25’, and ‘TKhZ 216-25’ – with easy threshability significantly outperform the chek cultivar, ‘Volia Kharkivska’, and the best reference cultivars, ‘Svoboda Kharkivska’ and ‘IR Lehiti’ in terms of yield and specific valuable economic traits, including grain size and plumpness, starch and protein contents, kernel hardness, etc. Technological analysis of the lines demonstrated that the overall bread-making scores of the selected spring and winter triticale lines were quite high (7.8–8.6 points). Pedigree analysis showed that the lines were developed through intraspecific hybridization involving parental components with the “easy threshability” and “high yield capacity” traits. These lines are promising source materials for triticale breeding.

Key words: × *Triticosecale*, easy threshing, breeding, hybridization, yield

ARTICLE HISTORY. Received March 05, 2026; revised March 18, 2026; accepted April 24, 2026

CITATION. Chernobai, S. V., Melnyk, V. S., Riabchun, V. K., Kapustina, T. B., Shchypak, H. V., Shchechenko, O. Ye., Chernobab, R. A., & Usova, Z. V. (2026). Development of triticale breeding material with easy threshability. *Plant Breeding and Seed Production*, (129), 4–17. <https://doi.org/10.30835/2413-7510.2026.129.01>

© Chernobai S. V., Melnyk V. S., Riabchun V. K., Kapustina T. B., Shchypak H. V., Shchechenko O. Ye., Chernobab R. A., Usova Z. V., 2026

Вступ

Використання тритикале (*× Triticosecale*) у сільськогосподарському виробництві становить важливе значення для продовольчої безпеки, оскільки ця культура характеризується високою адаптивністю до різних умов вирощування: невибагливістю до типу ґрунту, толерантністю до небажаних попередників, бур'янів, підвищеною стійкістю до хвороб, холодостійкістю. Потужна коренева система та її інтенсивний розвиток забезпечують вищу стійкість до ґрунтової посухи. Особливості будови колоса, які полягають у більш щільному приляганні зерна до квіткових лусок та великим габітусом і жорсткістю квіткових та колоскових лусок забезпечують високу стійкість до осипання. Але через ці властивості тритикале має тугіший обмолот колоса порівняно з м'якою пшеницею, що може ускладнювати процес збирання та очистки зерна та потребувати додаткових енергетичних витрат. Окремі сортотипи тритикале схильні до ламкості колосового стрижня, особливо верхньої третини колоса. Внаслідок цього серед загальної зібраної маси зерна певну частку складають необмолочені частинки колоса, які зменшують вихід кондиційного зерна після очистки (Tesfaye et al., 2015). Отже, створення сортів з легким обмолотом колоса критично важливе завдання в селекції тритикале.

Обмолот колоса – складна ознака і рівень її прояву в основному залежить від двох простих ознак: міцності утримання зернівки лусками колоса і ламкості колосового стрижня.

Важливими факторами, що впливають на ламкість колосового стрижня, є генетичні особливості сорту, фаза формування колосового стрижня (кількість члеників) та його щільність (кількість колосків на 10 см), які, в свою чергу, формуються під впливом умов навколишнього середовища, зокрема температури ґрунту під час фази кушіння. У тритикале існує широке морфологічне різноманіття за будовою колоса.

За придатністю до обмолоту зерна виділяють три основні морфотипи: легкий обмолот (ЛО), хороший обмолот (ХО) і тугий обмолот (ТО). Лінії з ТО характеризуються виразною архітектонікою колоса, луски жорсткі, міцно притиснені до зернівки; колос, в основному, видовжений, лицьова частина вужча за бічну. Зернівка добре виповнена, але важко вимолочується з колоса. Морфотипи з ХО відрізняються від наведеного вище типу крупним колосом; як і форми з ЛО, вони мають м'які колоскові і квіткові луски, але зернівка не проглядає між лусками колосся. Лінії з ХО мають

Introduction

Triticale (*× Triticosecale*) in agricultural production is of great importance for food security, as this crop is highly adaptable to various growing conditions: low requirements for soil type, tolerance to unfavorable forecrops and weeds, increased resistance to diseases, and cold resilience. A vigorous root system and its intensive development ensure higher resistance to soil droughts. Features of the spike structure, i.e. a tighter fit of the caryopsis to the palea and lemma as well as a large habitus and rigidity of the floral and spikelet glumes, confer high resistance to shattering. However, due to these properties, triticale is more difficult to thresh compared to bread wheat, which can complicate the grain harvesting and cleaning procedures and require additional energy costs. Certain triticale morphotypes have fragile rachises, especially in the upper third of the spike. Consequently, a certain proportion of the total harvested grain mass consists of unthreshed spike parts, which reduce the yield of conditioned grain after cleaning (Tesfaye et al., 2015). Therefore, the development of easily threshable cultivars is a critically important task in triticale breeding.

Spike threshability is a complex trait, and its expression level mainly depends on two simple traits: the strength of caryopsis retention by the glumes and rachis fragility.

Important factors influencing rachis fragility include the genetic characteristics of a cultivar, rachis formation phase (number of segments), and its density (number of spikelets per 10 cm), which, in turn, are formed under the influence of environmental conditions, particularly soil temperature during the tillering phase. Triticale exhibits a wide morphological diversity in spike structure.

Three main morphotypes are distinguished based on grain threshability: easy threshing (ET), good threshing (GT), and difficult threshing (DT). DT lines are characterized by a distinct spike architecture; glumes are rigid and firmly pressed against the caryopsis; the spike is generally elongated, with the frontal part narrower than the lateral part. The caryopsis is plump but difficult to thresh from the spike. GT morphotypes differ from the aforementioned type by large spikes; like ET forms, they have soft glumes and paleae, and lemmas, but the caryopsis is not visible between

виповнене крупне зерно, яке добре вимолочується з колоса. З точки зору господарської цінності лінії з ХО є найбільш привабливими. Форми з ЛО мають щільне, з м'якими колосковими і квітковими лусками колосся; ширина бічної частини колоса практично дорівнює лицьовій; у фазі збиральної стиглості на лицьовій частині колосу можна помітити зернівки, що проглядають між квітковими лусками. Зерно у таких форм легко вимолочується, але не обсипається при перестої, в той же час, лінії такого типу характеризуються досить щуплою або дрібною зернівкою, що знижує їх господарську цінність. Крім того, існує два різновиди морфотипів з ЛО: з дуже легким вимолотом зернівки (колосся вкорочене, зернівка дрібна і щупла, добре помітна між квітковими лусками, як у жита) і особливий ЛО тип (колос крупний, зернівка виповнена, луски нещільні, м'які). Перший різновид господарського значення не має і може бути використаний в схрещуваннях, як джерело ЛО; другий тип є більш перспективним для вирішення проблеми обмолоту у тритикале.

Для успішної селекції тритикале ярих на легкість обмолоту необхідно створювати форми з міцним колосовим стрижнем і середньої щільності колосковими лусками. У тритикале, як і у пшениці м'якої, міцність колосового стрижня і легкість обмолоту колоса зумовлюються різними системами генів і успадковуються незалежно (Lisnychyi et al., 2009; Bernard et al., 2025). Наявність у тритикале морфотипів з легким обмолотом колосу пов'язана з хромосомними заміщеннями D/R в геномі (Bernard et al., 2025).

З літературних джерел відомо, що перші сорти тритикале з легким обмолотом походять від заміщених 2D/2R ліній тритикале, створених у Мексиканському центрі покращення пшениці та кукурудзи CIMMYT. Ці сорти мали щупле та дуже деформоване зерно, низьку натуру та врожайність зерна (Maçãs, 2004). У 1988 р. харківськими селекціонерами була відібрана лінія з легким обмолотом колоса та добре виповненим зерном пшеничного типу з гібридної популяції ярого тритикале Харківський 41/D77/75 (Shchipak et al., 2018).

Селекція, спрямована на покращення якості зерна та легкість обмолоту, дозволила створити в Україні сучасні конкурентоспроможні сорти з легким обмолотом. Першим зареєстрованим сортом з легким обмолотом був ярий сорт Воля харківська у 2017 р. На сьогодні до Державного реєстру рослин занесено нові більш урожайні та адаптивні сорти ярого тритикале з легким обмолотом колоса та покращеними господарськими властивостями – Свобода

the glumes. GT lines have plump, large grain that is threshed well. From an economic perspective, GT lines are the most attractive. ET forms have dense spikes with soft glumes, paleae and lemmas; the width of the lateral part of the spike is nearly equal to the frontal part; in the harvest maturity phase, caryopses can be seen protruding between the paleae and lemmas on the frontal part of the spike. The grain in such forms is easily threshed but does not shatter during the dead-ripe stage; at the same time, lines of this type are characterized by rather shriveled or small caryopses, which reduces their economic value. Furthermore, there are two varieties of ET morphotypes: those with very easy grain threshing (spikes are shortened, caryopses are small and shriveled, clearly visible between the paleae and lemmas, as in rye) and a special ET type (spikes are large, caryopses are plump, glumes are loose and soft). The first variety has no economic significance and can be used in crosses as a source of ET; the second type is more promising for resolving threshing issues in triticales.

For successful breeding of spring triticales for easy threshing, it is necessary to develop forms with strong rachises and medium-dense glumes. In triticales, as in bread wheat, rachis strength and spike threshability are determined by different gene systems and are inherited independently (Lisnychyi et al., 2009; Bernard et al., 2025). ET in triticales is associated with D/R chromosomal substitutions in the genome (Bernard et al., 2025).

It is known from literature sources that the first ET triticales cultivars originated from substituted 2D/2R triticales lines developed at the International Maize and Wheat Improvement Center (CIMMYT) in Mexico. These cultivars had shriveled and highly deformed caryopses, low test weights, and low grain yields (Maçãs, 2004). In 1988, Kharkiv breeders selected an ET line with plump, wheat-type grain from a spring triticales hybrid population, 'Kharkivskiy 41/D77/75' (Shchipak et al., 2018).

Breeding aimed at improving grain quality and threshability has allowed for the development of modern, competitive ET cultivars in Ukraine. The first registered ET cultivar was the spring cultivar 'Volia Kharkivska' in 2017. Currently, new, more productive, and adaptable spring triticales ET cultivars with improved economic properties—

харківська (2024 р.) та IP Lerit (2025 р.) (<https://me.gov.ua/view/64d3121e-1fae-4913-a832-e5a3110191de>). Аналіз родоводів нових ліній ярого та озимого тритикале з легким обмолотом колоса показав, що міжлінійна гібридизація ліній з легким обмолотом як одного з батьківських компонентів та ліній з високим рівнем прояву врожайності та якості зерна як другого з батьківських компонентів, а також польова оцінка та спрямовані індивідуальні добори за ознакою легкості обмолоту та прояв цінних господарських ознак є результативним методом поєднання ознак легкості обмолоту, врожайності та якості зерна. Таким методом було створено новий селекційний матеріал ярого та озимого тритикале. Виділені лінії тритикале з оптимальним поєднанням ознак легкий обмолот колоса з іншими цінними господарськими ознаками – врожайністю зерна, довгим колосом, крупністю та виповненістю зерна перевершують існуючі сорти з легким обмолотом колоса.

Мета роботи – створення комплексно-цінних ліній ярого та озимого тритикале з легким обмолотом колоса, підвищеною врожайністю та адаптивністю.

Методика

У 2024–2025 рр. було проведено оцінку селекційного матеріалу ярого та озимого тритикале у розсаднику конкурсного сорто випробування (350 ліній) шляхом польових та лабораторних досліджень за комплексом цінних господарських ознак та за морфологією колоса для виділення ліній з легким обмолотом.

Польові дослідження виконували в селекційній сівозміні експериментальної бази IP НААН, яка розташована за 15 км від м. Харкова (східна частина лісостепу України). Харківська область належить до зони нестійкого зволоження з нерівномірними опадами, що періодично призводить до посух. Ґрунтовий покрив представлений потужним слабо вилуженим чорноземом на піловато-суглинистому лесі з товщиною гумусового шару 75 см і більше і вмістом гумусу 5,5–7,3%; характеризується агрономічно цінною зернисто-комкуватою структурою, оптимальними фізико-механічними властивостями, великими запасами доступних для рослин поживних речовин. Реакція ґрунтового розчину слабкисла (рН=5,7–6,0).

Сівбу ярого тритикале проводили у першій декаді квітня, озимого – першій декаді жовтня сівалкою ССФК-7 стандартним методом з нормою висіву 5 млн. схожих зерен на га.

'Svoboda Kharkivska' (2024) and 'IR Lehit' (2025)—have been included in the State Register of Plant Varieties (<https://me.gov.ua/view/64d3121e-1fae-4913-a832-e5a3110191de>). Pedigree analysis of new spring and winter ET triticale lines showed that interline hybridization of ET lines as one of the parental components and lines with high yield and grain quality as the second parental component, combined with field assessments and targeted individual selections for easy threshing and valuable economic traits, is an effective method to consolidate easy threshing, high yield, and top grain quality. New breeding materials of spring and winter triticale were developed using this method. The selected triticale lines with optimal combinations of ET with other valuable economic traits—high grain yield, long spike, large and plump kernels—outperform existing ET cultivars.

The purpose of this study was to develop complex-valuable lines of spring and winter triticale with easy threshing, increased yield capacity, and adaptability.

Methods

In 2024–2025, the spring and winter triticale breeding materials were evaluated in a competitive variety trial nursery (350 lines). The lines were screened through field trials and laboratory analyses across a suite of economically valuable traits and spike morphological features to identify ET lines.

The field assessments were carried out in the breeding crop rotation at the Yuriev Plant Production Institute of NAAS. The experimental field is located 15 km from Kharkiv (eastern part of the Forest-Steppe of Ukraine). The Kharkivska Oblast is in a zone of unstable wetting with uneven precipitation, which periodically leads to droughts. The soil is thick, slightly leached chernozem on silty-clay loess with a humus layer of 75 cm thick or thicker and a humus content of 5.5–7.3%. It has an agronomically valuable granular-crumb structure, optimal physical and mechanical properties, and large reserves of nutrients available to plants. The soil solution is slightly acidic (pH = 5.7–6.0).

Spring triticale was sown in within the first 10 days of April, and winter triticale – within the first 10 days of October by a standard method, using an SSFK-7 seeder, with at a seeding rate of

Облікова площа ділянок 10 м² у чотириразовому повторенні. Сортовипробування проводили за методикою кваліфікаційної експертизи сортів рослин (<https://sops.gov.ua/psp>). Протягом вегетації рослин визначали тривалість вегетаційного періоду, оцінювали густоту та вирівняність стеблестою, стійкість до вилягання та морфобіологічні ознаки: висоту рослин, довжину колоса. Наявність у селекційних ліній морфологічної ознаки легкий обмолот колоса визначали за методикою, розробленою в ІР НААН у фазі повної стиглості, шляхом окомірної ідентифікації морфотипів з використанням зразків-еталонів. Ламкість колосового стрижня визначали за 9-бальною шкалою, де 1 – дуже ламкий (< 25°); 3 – ламкий (25–45°); 5 – середньо ламкий (50–60°); 7 – міцний (65–90°); 9 – гнучкий (> 90°) (Lisnychyi et al., 2010). Щільність колоса визначали у балах за методикою визначення відповідності сортів тритикале (*Triticosecale* Witt.) критеріям відмінності, однорідності та стабільності (Kostenko, Vaskivska, 2015). За сукупністю показників щільності колоса, ламкістю колосового стрижня, відповідністю за морфотипом до зразків-еталонів усі досліджувані лінії розподіляли на морфотипи: тугий обмолот (ТО), хороший обмолот (ХО) та легкий обмолот (ЛО).

У зібраних ліній визначали урожайність та масу 1000 зерен ваговим методом, виповненість зерна шляхом окомірної оцінки за 9 бальною шкалою згідно методики проведення кваліфікаційної експертизи сортів рослин на придатність до поширення в Україні (<https://sops.gov.ua/uploads/page/5a5f413bb9be6.pdf>). Вміст білка та крохмалю в зерні визначали згідно з ДСТУ 4117:2007 (визначення показників якості методом інфрачервоної спектроскопії) на приладі ІнфраЛЮМ ФТ-10М 09495. Твердість зерна визначали на твердомірі прямої дії YPD-300D (Yarosh et al., 2014). Випічку та оцінку параметрів хліба виконували згідно з рецептурою і шкалою для тритикале (Tkachyk et al., 2016; <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0496609-09#Text>). Для порівняння прояву цінних господарських ознак у виділених ярих ліній ЛО використовували як стандарти сорт з легким обмолотом колоса Воля харківська та сорт з хорошим обмолотом колосу Боривітер харківський, у виділених озимих ліній ЛО – сорт з хорошим обмолотом колоса Підзимок харківський.

Погодні умови у 2024 р. під час вегетації тритикале характеризувалися тривалими повітряними та ґрунтовими посухами та високою

5 million germinable seeds per hectare. The plot area was 10 m² in four replications. The trials were conducted in compliance with methods for the qualifying examination of plant varieties (<https://sops.gov.ua/psp>). During the vegetation, the growing period length, plant density, uniformity of the haulm stand, lodging resistance, and morphobiological traits (plant height, spike length) were measured. The presence of the morphological ET trait in the breeding lines was determined by a method developed at the Yuriev Plant Production Institute of NAAS during the full maturity phase, through visual identification of morphotypes using reference accessions. Rachis fragility was determined on a 9-point scale, where: 1 – very fragile (< 25°); 3 – fragile (25–45°); 5 – medium fragile (50–60°); 7 – strong (65–90°); 9 – flexible (> 90°) (Lisnychyi et al., 2010). Spike density was determined in points in accordance with a technique for determining the conformity of triticale (*Triticosecale* Witt.) cultivars with the criteria for distinctness, uniformity, and stability (Kostenko, Vaskivska, 2015). Based on the aggregate parameters of spike density, rachis fragility, and morphotype similarity to reference accessions, all studied lines were classified into DT, GT, and ET morphotypes.

Yield and thousand-kernel weight were determined for the harvested lines; grain plumpness was assessed visually on a 9-point scale according to a method for the qualifying examination of plant varieties for suitability for dissemination in Ukraine (<https://sops.gov.ua/uploads/page/5a5f413bb9be6.pdf>). Protein and starch contents in grain were determined in compliance with DSTU 4117:2007 (determination of quality indicators by infrared spectroscopy) using an InfraLUM FT-10M 09495 device. Kernel hardness was determined using a YPD-300D direct-action hardness tester (Yarosh et al., 2014). Baking and evaluation of loaf parameters were performed using the recipe and scale for triticale (Tkachyk et al., 2016). To compare the expression of valuable economic traits in the identified spring ET lines, the ET cultivar 'Volia Kharkivska' and the GT cultivar 'Boryviter Kharkivskyi' were used as the check cultivars; for the identified winter ET lines, the GT cultivar 'Pidzymok Kharkivskyi' was used as the check cultivar.

The weather in 2024 during the triticale growing season was characterized by prolonged air and soil droughts and high air temperatures with a significant amplitude of fluctuations. For

температурою повітря зі значною амплітудою її коливань. Весь період вегетації тритикале супроводжувався жорсткою посухою та підвищеною температурою повітря. Це несприятливо вплинуло на розвиток рослин та формування урожайності, але дозволило оцінити селекційний матеріал за стійкістю до весняної та літньої посухи і виділити найбільш стійкі за посухо- та жаростійкістю зразки. Погодні умови 2025 р. були сприятливими для росту і розвитку озимого тритикале та задовільними для ярого тритикале. Спостерігалися посушливі періоди на початку червня та середині липня, що негативно вплинуло на формування врожаю ярого посіву. Роки досліджень значно різнились за погодними умовами під час вегетації ярого та озимого тритикале, що дозволило оцінити адаптивність та стабільність прояву досліджуваних ознак тритикале в різних умовах.

Результати та обговорення

За результатами польової оцінки тритикале за морфологічними ознаками колоса, які контролюють рівень ефективності обмолоту зерна, виділено 20 ліній ярого та вісім ліній озимого тритикале. Із них лінії ярого тритикале ЯТХ 37-25, ЯТХ 92-25, ЯТХ 157-25, ЯТХ 159-25, ЯТХ 174-25, ЯТХ 179-25, ЯТХ 183-25 та лінії озимого тритикале ТХЗ 168-25, ТХЗ 194-25, ТХЗ 215-25 та ТХЗ 216-25 перевищували стандарти Борівітер харківський (ХО) та Воля харківська (ЛО) за рівнем врожайності зерна (табл. 1).

Відібрані лінії ярого тритикале в середньому за роками досліджень мали врожайність зерна 2,60–3,21 т/га, що перевищує стандарт Воля харківська на 0,26–0,87 т/га. Вони також достовірно перевищували за врожайністю кращі зареєстровані сорти з легким обмолотом колоса Свобода харківська та ІР Легіт. За висотою рослин усі виділені лінії належать до середньорослих (висота рослин 90–93 см).

Лінія ЯТХ 159-25 мала високу врожайність – 3,21 т/га, що перевершує стандарт Воля харківська на 0,87 т/га. Вона має густий вирівняний стеблестій (9 балів), середньостигла, зерно крупне та добре виповнене (маса 1000 зерен 42,8 г), підвищений вміст крохмалю в зерні (68,8 %). Створена методом парної міжлінійної гібридизації лінії Х10ПГСвТ66/Прох//Х10ГАС2/С46ГХ8/3/С52ХГ ХЗ/МЛ21 та П11АлТ58//Х10ПГСвТ66/4/ЖЗРАС29ПІ2/3/ Х6ПСАС/ Х10ПГСвТ66 з наступним індивідуальним добором рослини з легким обмолотом колоса.

the entire vegetative period, triticale experienced severe drought and increased air temperature. This negatively affected the plant development and yield formation but allowed for the evaluation of the breeding materials for resistance to spring and summer droughts and the identification of the most drought- and heat-resistant accessions. The weather in 2025 was favorable for the growth and development of winter triticale and satisfactory for spring triticale. Dry periods were observed in early June and mid-July, which negatively impacted yield formation in spring crops. The study years differed considerably in meteorological factors during the growing season of spring and winter triticale, which allowed us to evaluate the adaptability and stability of the studied triticale traits under different conditions.

Results and Discussion

Based on the results of the field screening of triticale for spike morphological traits that control the grain threshing efficiency, 20 spring triticale lines and winter triticale eight lines were identified. Among these, the spring triticale lines 'YaTKh 37-25', 'YaTKh 92-25', 'YaTKh 157-25', 'YaTKh 159-25', 'YaTKh 174-25', 'YaTKh 179-25', and 'YaTKh 183-25' and the winter triticale lines 'TKhZ 168-25', 'TKhZ 194-25', 'TKhZ 215-25', and 'TKhZ 216-25' outyielded the check cultivars 'Boryviter Kharkivskyi' (GT) and 'Volia Kharkivska' (ET) (Table 1).

The selected spring triticale lines yielded on average 2.60–3.21 t/ha of grain across the study years, being superior to 'Volia Kharkivska' by 0.26–0.87 t/ha. They also significantly outperformed the best registered ET cultivars 'Svoboda Kharkivska' and 'IR Lehit' in terms of yield. Regarding plant height, all identified lines are classified as medium-tall (90–93 cm).

Line 'YaTKh 159-25' yielded 3.21 t/ha, outperforming 'Volia Kharkivska' by 0.87 t/ha. It features a dense, uniform stand (9 points), is medium-ripening, and possesses large, plump grain (the thousand-kernel weight is 42.8 g), with an increased starch content (68.8%). This line was developed via paired interline hybridization of the lines 'Kh10PGSvT6b/Prokh//Kh10HAS2/S46HKh8/3/S52KhHKh3/ML21' and 'BP11AIT58//Kh10PHSvT6b/4/ZhZRAS29HP2/3/Kh6PSAS/Kh10PHSvT6b', followed by individual selection of ET plants.

Таблиця 1. Урожайність та прояв цінних господарських ознак у ліній ярого тритикале, середнє за 2024–2025 рр.
Table 1. Yield and expression of the valuable economic traits in the spring triticale lines, mean for 2024–2025

Сорт, лінія / Cultivar, line	Урожайність зерна, т/га / Grain yield, t/ha	Перевищення стандарту Воля харківська, т/га / + to 'Volia Kharkivska', t/ha	Вегетаційний період, днів / Growing period, days	Висота рослин, см / Plant height, cm	Оцінка стеблестію, бал / Haulm stand score, points	Маса 1000 зерен, г / 1000 kernel weight, g	Виповненість зерна, бал / Grain plumpness score, points	Вміст білка в зерні, % / Grain protein content, %	Вміст крохмалю в зерні, % / Grain starch content, %	Твердість зерна, Н / Kernel hardness, N
Боривітер харківський, ст. (ХО) / Boryviter Kharkivskiy, check cultivar (GT)	2.51	0.17	89	93	8	40.5	8	12.3	64.8	138
Воля харківська, ст. (ЛО) / Volia Kharkivska, check cultivar (ET)	2.34	–	87	86	8	39.6	8	12.9	65.8	97
Свобода харківська / Svoboda Kharkivska	2.71	0.37	84	81	8	39.9	9	11.9	67.7	129
ІР Леріт / IR Lehit	2.62	0.28	77	81	9	40.2	9	12.2	66.9	106
ЯТХ 37-25 / YaTKh 37-25	2.97	0.63	89	92	9	38.5	9	10.4	69.1	119
ЯТХ 92-25 / YaTKh 92-25	2.60	0.26	89	93	9	37.8	8	11.4	67.9	116
ЯТХ 157-25 / YaTKh 157-25	3.17	0.83	89	96	8	38.0	8	12.1	67.5	97
ЯТХ 159-25 / YaTKh 159-25	3.21	0.87	84	94	9	42.8	9	10.9	68.8	126
ЯТХ 174-25 / YaTKh 174-25	2.97	0.63	89	93	9	43.7	9	13.0	66.6	102
ЯТХ 179-25 / YaTKh 179-25	3.10	0.76	89	90	9	39.7	9	11.0	68.5	114
ЯТХ 183-25 / YaTKh 183-25	3.03	0.69	90	90	9	41.8	9	12.4	67.6	121
Середнє / Mean	2.87	–	87	90	8.7	40.2	8	11.8	67.6	113
НІР _{0,05} / LSD _{0,05}	0.18	–	–	0.7	–	0.8	–	–	–	–

Лінія ЯТХ 157-25 мала підвищену врожайність – 3,17 т/га, що перевершує стандарт Воля харківська на 0,83 т/га. Відрізняється м'яким зерном. Створена методом складної міжлінійної гібридизації ярого та озимого тритикале з легким та хорошим обмолотом C52XGX3/ML21(ло)/3/Сл/X28//X10ГАС29 Пр70С58R/4/C52GX3/ML21/3/A/ЖЗРА11//C46X8PM/ X8InCJL23-25CJL4-3//X8 InBP12(ло) з наступним індивідуальним добором з гібридної популяції F2.

Лінія ЯТХ 179-25 поєднує підвищену врожайність (3,10 т/га, що перевершує стандарт Воля харківська на 0,79 т/га) з підвищеним вмістом крохмалю в зерні (68,5 %). Зерно середньої крупності, середньом'якозерне. Лінія має вирівняний густий стеблестій (9 балів) та довгий колос (11 см). Створена методом парної гібридизації лінії ярого тритикале Надх3/C29BCGX8//C52XGX3/ML21/4/X8PM18-15//

Line 'YaTKh 157-25' exhibited an increased yield of 3.17 t/ha, surpassing 'Volia Kharkivska' by 0.83 t/ha. It has soft grain. This line was developed through complex interline hybridization of spring and winter triticale with the ET and GT traits: 'S52KhHKh3/ML21(lo)/3/Sl/Kh28//Kh10HAS29 Pr70S58R/4/S52GKhZ/ML21/3/A/ZhZRA11// 'S46Kh8RM/Kh8InSL23-25SL4-3//Kh8 InBP12(lo)', followed by individual selection from an F2 hybrid population.

Line 'YaTKh 179-25' combines increased productivity (3.10 t/ha, exceeding 'Volia kharkivska' by 0.79 t/ha) with an increased starch content in grain (68.5%). Its kernels are of medium size and medium-soft. The line features a uniform, dense stand (9 points) and long spikes (11 cm). It was developed by paired hybridization of the ET spring triticale line 'Nadkh3/S29VSHKh8//S52KhHKh3/ML21/4/K

ПрИМАС29ГЛ/СЛПр з легким обмолотом колоса з високоврожайною лінією ярого тритикале Сонцедар/3/Жайворонок/Селянка//Х10ГАС29/Пр70С58R та дворазовим індивідуальним добором в гібридних популяціях.

Лінія ЯТХ 174-25 мала найвищу серед виділених ліній масу 1000 зерен (43,7 г) та вищий вміст білка в зерні (13,0 %). Урожайність 2,97 т/га, що перевищує стандарт Воля харківська на 0,63 т/га. Створена методом парної гібридизації ярого тритикале з легким обмолотом колоса Х10ПГСвТ66/Х6Х8СЛ4-3(ло) та озимим тритикале Кар54 з наступним дворазовим індивідуальним добором.

Лінії ЯТХ 37-25 відрізняється підвищеним вмістом крохмалю (69,1%) та перевершує за врожайністю стандарт Воля харківська на 0,63 т/га. Створена методом парної міжлінійної гібридизації лінії з легким обмолотом колоса С46ВСПХ8РМ2/Х8ІнСЛ23//С46ВССв38-С1/3/Добропольская/4/Х6Х8СЛ4-3 (ло), одержаної внаслідок міжродової гібридизації тритикале з пшеницею, та високоврожайної лінії 38п/Бор5/3/5-3Ш23/Х2ГА11//Х10ГАС70/Жр4, отриманої внаслідок схрещування озимого та ярого тритикале.

Лінія ЯТХ 92-25 також поєднує підвищену врожайність з підвищеним вмістом крохмалю в зерні. Середня врожайність за роки досліджень становила 2,60 т/га, що перевищує стандарт Воля харківська на 0,26 т/га. Вміст крохмалю 67,9 %. Створена методом парної міжлінійної гібридизації ярого тритикале Х10ГАС21/С46ГХ8//Прох/3/Жайворонок (ло) та С46ВСП/Х8РМБкПСвХ5//Оберіг з наступним індивідуальним добором з гібридної популяції F2.

Лінія ЯТХ 183-25 поєднує підвищену врожайність (3,03 т/га, що на 0,69 т/га перевищує стандарт Воля харківська), підвищений вміст білка в зерні (12,4 %) та підвищену масу 1000 зерен (41,8 г). За твердістю зерна належить до групи середньом'якозерних. Має вирівняний та густий стеблестій (9 балів), довгий колос (9–10 см). Створена методом потрійної міжлінійної гібридизації ліній ярого тритикале Жайворонок/3/СЛ4-3+8р1/БП12//БПрСв22/Х10ГАС29 (ло), 473-4/д7/Хлібодар (хо) та Х2ПГАС29Пр4//СЛ4-3+8/Х8ИМС1 (ло) з наступним індивідуальним добором з гібридної популяції F2.

Серед селекційного матеріалу озимого тритикале виділено лінії з легким обмолотом колоса, які значно перевершували стандарт

h8RM18-15//PrIMAS29HL/SLPr' with the high-yielding spring triticale line 'Sontsedar/3/Zhaivoronok/Selianka//Kh10HAS29/Pr70S58R', followed by double individual selections from hybrid populations.

Line 'YaTKh 174-25' showed the highest thousand-kernel weight (43.7 g) among the selected lines and the highest protein content (13.0%). The yield reached 2.97 t/ha, exceeding 'Volia Kharkivska' by 0.63 t/ha. The line was developed through paired hybridization of the ET spring triticale 'Kh10PHSvT6b/Kh6Kh8SL4-3(lo)' and the winter triticale 'Kar54', followed by double individual selections.

Line 'YaTKh 37-25' is distinguished by an increased starch content (69.1%) and outperforms 'Volia Kharkivska' in yield by 0.63 t/ha. It was developed by paired interline hybridization of the ET line 'S46VSPKh8RM2/Kh8InSL23//S46VSSv38-S1/3/Dobropolskaya/4/Kh6Kh8SL4-3 (lo)', which was derived through intergeneric hybridization of triticale with wheat, and the high-yielding line '38p/Bor5/3/5-3Sh23/Kh2GA11//Kh10HAS70/Zhr4', derived from a winter and spring triticale cross.

Line 'YaTKh 92-25' also combines increased yield with high starch content. The mean yield across the study years was 2.60 t/ha, or by 0.26 t/ha more than that harvested from 'Volia Kharkivska'. The starch content is 67.9%. It was developed through paired interline hybridization of spring triticale 'Kh10HAS21/S46HKh8//Prokh/3/Zhaivoronok (lo)' and 'S46VSP/Kh8RMBkPSvKh5//Oberih', followed by individual selection from an F2 hybrid population.

Line 'YaTKh 183-25' combines increased yield (3.03 t/ha, which is 0.69 t/ha more than that from 'Volia Kharkivska'), increased protein content (12.4%), and an increased thousand-kernel weight (41.8 g). As to kernel hardness, it belongs to the medium-soft group. It has a uniform and dense stand (9 points) and long spikes (9–10 cm). It was developed by triple interline hybridization of the spring triticale lines 'Zhaivoronok/3/SL4-3+8p1/BP12//BPrSv22/Kh10GAS29 (lo)', '473-4/d7/Khlibodar (ho)', and 'Kh2PHAS29Pr4//SL4-3+8/Kh8IMS1 (lo)', followed by individual selection from an F2 hybrid population.

Among the winter triticale breeding material, ET lines were identified that significantly outperformed the check cultivar, 'Pidzymok Kharkivskiy', in terms of yield: 'TKhZ

Підзимок харківський за врожайністю – TX3 168-25, TX3 194-25, TX3 215-25 та TX3 216-25 (табл. 2).

168-25', 'TKhZ 194-25', 'TKhZ 215-25', and 'TKhZ 216-25' (Table 2).

Таблиця 2. Урожайність та прояв цінних господарських ознак у ліній озимого тритикале, середнє за 2024–2025 рр.

Table 2. Yield and expression of the valuable economic traits in the winter triticale lines, mean for 2024–2025.

Сорт, лінія / Cultivar, line	Урожайність зерна, т/га / Grain yield, t/ha	Перевищення стандарту, т/га / + to the check cultivar, t/ha	Вегетаційний період, діб / Growing period, days	Висота рослин, см / Plant height, cm	Оцінка стеблестою, бал / Haulm stand score, points	Зимостійкість, бал / Winter hardiness score, points	Стійкість до вилягання, бал / Lodging resistance score, points	Маса 1000 зерен, г / 1000 kernel weight, g	Виповненість зерна, бал / Grain plumpness score, points	Твердість зерна, Н / Kernel hardness, N
Підзимок харківський, ст. / Pidzymok Kharkivskyi, check cultivar	5.83	–	276	113	8	7	8	48.2	8	150
TX3 168-25 / TKhZ 168-25	6.88	1.05	274	110	9	8	9	42.1	9	138
TX3 194-25 / TKhZ 194-25	6.86	1.03	276	110	9	8	9	46.2	9	178
TX3 215-25 / TKhZ 215-25	7.86	2.03	276	112	9	9	9	45.3	9	120
TX3 216-25 / TKhZ 216-25	6.50	0.67	273	110	9	9	9	45.0	9	117
Середнє / Mean	6.79	–	275	111	9	8	9	45.4	9	141
HIP _{0.05} / LSD _{0.05}	0.32	–	–	1.2	–	–	–	–	–	–

У середньому за роками досліджень виділені лінії озимого тритикале формували врожайність 6,50–6,88 т/га, що перевищує стандарт Підзимок харківський на 0,67–2,03 т/га. Вищу врожайність мала лінія TX3 215-25. Усі лінії проявили високу стійкість до вилягання (9 балів) та оцінку стеблестою за густотою та вирівняністю (9 балів). За висотою рослин відносяться до групи середньорослих (110–112 см), за вегетаційним періодом середньостиглі (273–276 діб) та за рівнем прояву цих ознак близькі до стандарту. Лінії формували крупне та добре виповнене зерно (маса 1000 зерен 42,1–46,2 г) але при цьому поступались стандарту за рівнем цієї ознаки. Кращу зимостійкість мали лінії TX3 215-25 та TX3 216-25 (9 балів). Лінія TX3 194-25 відрізнялась високою твердістю зерна (178 Н), що відповідає групі напівтвердозерних.

Лінії TX3 215-25 та TX3 216-25 створені шляхом індивідуального добору за озимим типом розвитку, продуктивністю колоса, легким обмолотом та короткостеблїстю з гібридної популяції потрійних гібридів ярого та озимого тритикале Хлібодар/3/3X8PM7//C46BCП/X8PM18 (ло)/4/Дархліба (хо) /5/

On average, across the study years, the selected winter triticale lines yielded 6.50–6.88 t/ha, being superior to the check cultivar, 'Pidzymok Kharkivskyi', by 0.67–2.03 t/ha. Line 'TKhZ 215-25' exhibited the highest yield capacity. All lines showed high lodging resistance scores (9 points) and high haulm stand scores in terms of density and uniformity (9 points). As to plant height, they belong to the medium-tall group (110–112 cm); in terms of the growing period, they are medium-ripening (273–276 days) and are close to the check cultivar in these traits. The lines formed large and plump grain (the thousand-kernel weight was 42.1–46.2 g) but were inferior to the check cultivar in this trait. The lines 'TKhZ 215-25' and 'TKhZ 216-25' showed the best winter hardiness scores (9 points). The line 'TKhZ 194-25' was distinguished by high kernel hardness (178 N), which corresponds to the semi-hard group.

The lines 'TKhZ 215-25' and 'TKhZ 216-25' were developed through individual selections for winter growth habit, spike productivity, easy threshing, and short stems from a hybrid population of triple spring and winter triticale hybrids: 'Khlibodar/3/3Kh8RM7//

Кар54/Ніканор (хо). Лінії TX3 168-25 (родовід Л5/Воля р12-7) та TX3 194-25 (родовід Воля/Амос р24-8) створені шляхом парної гібридизації озимого тритикале з ярим сортом Воля харківська, який характеризується морфотипом «легкий обмолот колоса», та наступним дворазовим індивідуальним добором озимих рослин з гібридних популяцій за продуктивністю колоса та легкістю обмолоту.

Усі виділені лінії ярого та озимого мали вміст клейковини нижчий порівняно з пшеницею – 16,0–22,0 % (табл. 3).

S46VSP/Kh8RM18 (lo)/4/Darkhliba (ho) /5/ Kar54/Nikanor (ho)'. Lines 'TKhZ 168-25' (pedigree 'L5/Volia r12-7') and 'TKhZ 194-25' (pedigree 'Volia/Amos r24-8') were developed through paired hybridization of winter triticale with the spring cultivar 'Volia Kharkivska', which has an ET spike morphotype, followed by double individual selections of winter plants from hybrid populations for spike productivity and easy threshing.

All selected spring and winter lines had a gluten content lower than that of wheat – 16.0–22.0% (Table 3).

Таблиця 3. Технологічні властивості борошна та якість хліба виділених ліній тритикале, середнє за 2024–2025 рр.

Table 3. Flour technological properties and bread quality of the selected triticale lines, mean for 2024–2025

Сорт / Cultivar	Клейковина / Gluten		Сила борошна, о.а. / Flour strength (W).	Тісто / Dough			Хліб / Bread	
	вміст у борошні, % / Content in flour, %	ІДК, од. / GDI		пружність (P), мм / Elasticity (P), mm	розтяжність (L), мм / Extensibility (L), mm	Збалансованість (P/L) / Configuration ratio (P/L)	об'єм, см³ / Loaf volume, cm³	загальна хлібопекарська оцінка, бал / Overall bread- ball
Яре тритикале / Spring triticale								
Борівітер харківський, ст. (ХО) / Boryviter Kharkivskiy, check cultivar (GT)	24.0	75	95	52	64	0.8	458	8.0
Воля харківська, ст. (ЛО) / Volia Kharkivska, check cultivar (ET)	22.0	82	98	44	64	0.7	457	8.3
ЯТХ 37-25 / YaTKh 37-25	19.3	78	112	48	72	0.7	438	8.3
ЯТХ 92-25 / YaTKh 92-25	20.2	75	116	51	69	0.7	410	7.8
ЯТХ 157-25 / YaTKh 157-25	19.6	71	110	62	60	1.0	452	8.0
ЯТХ 159-25 / YaTKh 159-25	17.5	64	108	56	62	0.9	468	8.2
ЯТХ 174-25 / YaTKh 174-25	17.7	70	92	50	48	1.0	480	8.4
ЯТХ 179-25 / YaTKh 179-25	17.9	75	95	54	63	0.9	420	7.9
ЯТХ 183-25 / YaTKh 183-25	18.8	72	110	68	56	1.2	465	8.1
HIP _{0,05} / LSD _{0,05}	1.1	4	16	7	5	0.2	24	0.3
Озиме тритикале / Winter triticale								
Підзимок харківський, ст. (ХО) / Pidzymok Kharkivskiy, check cultivar (GT)	17.0	60	59	46	44	1.0	480	7.9
TX3 168-25 / TKhZ 168-25	17.5	70	79	40	42	1.0	540	8.5
TX3 194-25 / TKhZ 194-25	19.6	75	73	41	46	0.9	520	8.0
TX3 215-25 / TKhZ 215-25	16.0	70	76	37	44	0.8	510	8.6
TX3 216-25 / TKhZ 216-25	19.0	75	85	40	53	0.8	520	8.2
HIP _{0,05} / LSD _{0,05}	0.8	5	12	4	5	0.1	20	0.2

Було встановлено, що за підвищеного вмісту клейковини в борошні її якість частіше відповідала нижчій групі. Найбільший вміст клейковини у борошні мав сорт стандарт Воля харківська – 22,0 %, показник індекс деформації клейковини (ІДК) становив 82 од. (клейковина задовільно слабка), що відповідало II групі якості. Дещо нижчий вміст клейковини мали лінії ярого тритикале ЯТХ 92-25, ЯТХ 157-25 та ЯТХ 183-25 – 20,2, 19,6 та 18,8 % відповідно, показник ІДК становив 75, 71 та 72 од. відповідно, що відповідало I групі якості, клейковина добра. У озимих ліній тритикале вміст клейковини в борошні був на рівні 17,0–19,6%, причому найменшим даний показник був у сорту стандарту Підзимок харківський і становив 17,0%. Найбільший вміст клейковини мали лінії ТХЗ 194-25 та ТХЗ 216-25 – 19,6 та 19,0 % відповідно, показник ІДК обох ліній становив 75 од., що відповідало I групі якості, клейковина добра.

Вимірювання фізичних властивостей тіста на альвеографі показало, що лінії ярого тритикале відрізнялися за силою борошна. Даний показник у виділених ліній варіював від 92 до 116 о.а. Найбільшою силою борошна була у ліній ЯТХ 92-25 та ЯТХ 37-25 – 116 та 112 о.а. відповідно. Лінії ярого тритикале ЯТХ 157-25, ЯТХ 183-25 мали силу борошна 110 о.а., лінії ЯТХ 179-25 та ЯТХ 159-25 – на рівні 95–108 о.а. Найменшим даний показник був у лінії ЯТХ 174-25 і становив 92 о.а. (див. табл. 3). Лінії озимого тритикале мали меншу силу борошна порівняно з ярим тритикале і даний показник становив 73–85 о.а. Найбільшу силу борошна мала виділена лінія ТХЗ 216-25 – 85 о.а., найменшу – сорт стандарт Підзимок харківський (59 о.а.).

Збалансованість пружності й розтяжності тіста (P/L) є одним із найважливіших показників, який визначає хлібопекарські якості тритикале. За пружністю та розтяжністю досліджувані лінії ярого та озимого тритикале різноманітні. Зокрема, пружність ліній ярого тритикале варіювали від 44 до 68 мм, розтяжність – від 48 до 72 мм. Найбільшим співвідношення P/L було у лінії ЯТХ 183-25 – 1,2 (P = 68 мм, L = 56 мм). Лінії ярого тритикале ЯТХ 157-25 та ЯТХ 174-25 мали показник збалансованості P/L на рівні 1,0 (P = 62 та 50 мм, L = 60 та 48 мм відповідно). Дещо нижчим показник збалансованості P/L (0,9) був у ліній ЯТХ 159-25 та ЯТХ 179-25 (P = 56 та 54 мм, L = 62 та 63 мм відповідно). Співвідношення P/L найменшим було у ліній ярого тритикале ЯТХ 37-25, ЯТХ 92-25 та сорту стандарту Воля харківська і становило 0,7. Пружність ліній озимого тритикале варіювала від 37 до 46 мм, розтяжність – від 44 до 53 мм. Найбільшим співвідношення P/L було у лінії ТХЗ 168-25 та сорту стандарту

It was found that frequently the more gluten flour contained, the worse quality the gluten had. 'Volia Kharkivska' had the highest flour gluten content – 22.0%; the gluten deformation index (GDI) was 82 (satisfactorily weak gluten), which corresponded to quality group II. Slightly lower gluten content was observed in the spring triticale lines 'YaTKh 92-25', 'YaTKh 157-25', and 'YaTKh 183-25' – 20.2, 19.6, and 18.8% respectively; the GDI values were 75, 71, and 72, respectively, corresponding to quality group I (good gluten). In the winter triticale lines, the flour gluten content ranged from 17.0% to 19.6%, with the lowest value recorded in 'Pidzymok Kharkivskyi' (17.0%). The highest gluten content was detected in the lines 'TKhZ 194-25' and 'TKhZ 216-25' – 19.6% and 19.0%, respectively; the GDI for both lines was 75, corresponding to quality group I (good gluten).

Measurements of the physical properties of dough on an alveograph showed that the spring triticale lines differed in flour strength (W). This indicator in the selected lines varied from 92 to 116. The highest flour strength was observed in the lines 'YaTKh 92-25' and 'YaTKh 37-25' – 116 and 112, respectively. The spring triticale lines 'YaTKh 157-25' and 'YaTKh 183-25' had a flour strength of 110, while the lines 'YaTKh 159-25' and 'YaTKh 179-25' had W of 95–108. The lowest flour strength (92) was recorded for the line 'YaTKh 174-25' (Table 3). The winter triticale lines had lower flour strength compared to spring triticale, with values ranging within 73–85. The highest flour strength among the winter lines was observed in 'TKhZ 216-25' (85), and the lowest – in 'Pidzymok Kharkivskyi' (59).

The balance between dough elasticity and extensibility (P/L) is one of the most important indicators determining the bread-making quality of triticale. The studied spring and winter triticale lines were diverse in terms of elasticity and extensibility. Specifically, the elasticity (P) of the spring triticale lines varied from 44 to 68 mm, and the extensibility (L) – from 48 to 72 mm. The highest P/L ratio was observed in the line 'YaTKh 183-25' – 1.2 (P = 68 mm, L = 56 mm). The spring triticale lines 'YaTKh 157-25' and 'YaTKh 174-25' had a P/L ratio of 1.0 (P = 62 and 50 mm, L = 60 and 48 mm, respectively). A slightly lower P/L ratio (0.9) was recorded for the lines 'YaTKh 159-25' and 'YaTKh 179-25' (P = 56 and 54 mm, L = 62 and 63 mm, respectively). The P/L ratio was lowest (0.7) in the spring triticale lines 'YaTKh 37-25' and 'YaTKh 92-25', as well as in 'Volia Kharkivska'. The elasticity of in the winter triticale lines varied from 37 to 46 mm, and the extensibility – from 44 to 53 mm. The highest P/L ratio was observed in the line 'TKhZ 168-25'

Підзимок харківський – 1,0 (P = 40 та 46 мм, L = 42 та 44 мм відповідно). Лінія озимого тритикале TX3 194-25 мала показник збалансованості P/L на рівні 0,9 (P = 41 мм, L = 46 мм). Дещо нижчим показник збалансованості P/L (0,8) був у ліній TX3 215-25 та TX3 216-25 (P = 37 та 40 мм, L = 44 та 53 мм відповідно).

Об'єм хліба ліній ярого тритикале був різноманітним і варіював від 410 до 480 см³. Кращий об'ємний вихід хліба був у виділених ліній ЯТХ 174-25 (480 см³), ЯТХ 159-25 (468 см³) та ЯТХ 183-25 (465 см³). Нижчим даний показник був у ліній ЯТХ 157-25 та ЯТХ 37-25 – 452 та 438 см³ відповідно. Найменшим об'ємний вихід хліба був у лінії ЯТХ 92-25 і становив 410 см³. Об'єм хліба озимих тритикале був більшим, ніж у ярого тритикале, і становив 480–540 см³. Кращий об'ємний вихід хліба серед озимих тритикале був у лінії TX3 168-25 – 540 мл. Дещо меншим даний показник був у ліній TX3 194-25, TX3 216-25 та TX3 215-25 і становив 520, 520 та 510 см³ відповідно. Найменшим об'єм хліба був у сорту стандарту Підзимок харківський і становив 480 см³.

У проведених дослідженнях загальна хлібопекарська оцінка ліній ярого та озимого тритикале була досить високою і становила 7,8–8,6 бала. У ярого тритикале найвищий рівень загальної хлібопекарської оцінки був у ліній ЯТХ 174-25, ЯТХ 37-25, ЯТХ 159-25 та ЯТХ 183-25 – 8,4, 8,3, 8,2 та 8,1 балів відповідно. Даний показник на рівні 7,8–8,0 балів був у ліній ЯТХ 92-25, ЯТХ 157-25 та ЯТХ 157-25. Загальна хлібопекарська оцінка сорту стандарту Воля харківська становила 8,3 балів. У озимих ліній тритикале загальна хлібопекарська оцінка сорту стандарту була нижчою, ніж у виділених ліній і становила 7,9 балів. Найвищий рівень даного показника мали лінії TX3 215-25 (8,6 балів), TX3 168-25 (8,5 балів) та TX3 216-25 (8,2 балів) (табл. 3).

З літературних джерел відомо, що у тритикале спостерігається диференціація генотипів за здатністю до легкого обмолоту колоса. При цьому, перспективні за господарською цінністю лінії тритикале поступаються сортам м'якої пшениці за цією властивістю. Порівняння семи генотипів тритикале з двома контрольними сортами м'якої пшениці в різних за зволоженням умовах Індії показало суттєву перевагу тритикале за врожайністю, масою 1000 зерен та стійкістю до хвороб, але зразки тритикале мали тугіший обмолот колосу порівняно з пшеницею. Повідомляється про необхідність покращення обмолоту колосу тритикале шляхом пошуку та залучення до гібридизації нового селекційного матеріалу з легким обмолотом (Samadashvili et al.,

and 'Pidzymok Kharkivskiy' – 1.0 (P = 40 and 46 mm, L = 42 and 44 mm, respectively). The winter triticale line 'TKhZ 194-25' had a P/L ratio of 0.9 (P = 41 mm, L = 46 mm). A slightly lower P/L ratio (0.8) was documented for the lines 'TKhZ 215-25' and 'TKhZ 216-25' (P = 37 and 40 mm, L = 44 and 53 mm, respectively).

The loaf volume in the spring triticale lines varied from 410 to 480 cm³. The best loaf volume was recorded for the lines 'YaTKh 174-25' (480 cm³), 'YaTKh 159-25' (468 cm³), and 'YaTKh 183-25' (465 cm³). This parameter was lower in the lines 'YaTKh 157-25' and 'YaTKh: 37-25' – 452 and 438 cm³ respectively. The lowest loaf volume (410 cm³) was recorded in line 'YaTKh 92-25'. The loaf volume in winter triticale was higher than that of spring triticale, ranging 480 to 540 cm³. The best loaf volume among the winter triticale lines was documented for the line 'TKhZ 168-25' – 540 cm³. This parameter was slightly lower in the lines 'TKhZ 194-25', 'TKhZ 216-25', and 'TKhZ 215-25': 520, 520, and 510 cm³, respectively. The lowest loaf volume (480 cm³) was observed in 'Pidzymok Kharkivskiy'.

The overall bread-making scores of the spring and winter triticale lines were quite high, ranging 7.8 to 8.6 points. Among the spring triticale lines, the highest overall bread-making scores were observed in the lines 'YaTKh 174-25', 'YaTKh 37-25', 'YaTKh 159-25', and 'YaTKh 183-25': 8.4, 8.3, 8.2, and 8.1 points, respectively. This indicator amounted to 7.8–8.0 points in the lines 'YaTKh 92-25' and 'YaTKh 157-25'. The overall bread-making score of 'Volia Kharkivska' was 8.3 points. In winter triticale, the overall bread-making score of the check cultivar was lower (7.9 points) than those of the selected lines. The highest values of this indicator were recorded for the lines 'TKhZ 215-25' (8.6 points), 'TKhZ 168-25' (8.5 points), and 'TKhZ 216-25' (8.2 points) (Table 3).

Published data indicate that triticale exhibits differentiation of genotypes in terms of spike threshing. Nevertheless, triticale lines with promising economic characteristics are inferior to bread wheat cultivars in this property. A comparison of seven triticale genotypes with two control bread wheat cultivars under various wetting conditions in India showed a significant advantage of triticale in terms of yield, thousand-kernel weight, and disease resistance; however, the triticale accessions were more difficult to thresh compared to wheat. The need to improve triticale spike threshing by searching for and involving new breeding materials with easy threshing in hybridization has been reported (Samadashvili et al., 2016). An analysis

2016). Аналіз можливостей оптимізації виробництва тритикале в Австралії шляхом селекційних та агрономічних заходів показав, що проблема тугого обмолоту переважно залишається не вирішеною (Roake et al., 2009). Значним досягненням в селекції тритикале на покращення обмолоту колоса було створення сортів Bobcat (Канада), Endeavour, Tobruk, Kokoda, Waratah (Австралія), Indian, Kortego, Tricolor, Galtjo, Trimaran, Ampiac (Франція) з покращеною здатністю до обмолоту (Roake et al., 2009; Baron et al., 2015). З огляду на це, виділені в наших дослідженнях лінії можуть становити селекційну цінність як вихідний матеріал для покращення здатності до обмолоту тритикале.

Висновки

Шляхом внутрішньовидової гібридизації із залученням батьківських компонентів з ознакою легкий обмолот колоса та високої урожайності створено новий селекційний матеріал. Виділено сім ліній ярого тритикале – ЯТХ 37-25, ЯТХ 92-25, ЯТХ 157-25, ЯТХ 159-25, ЯТХ 174-25, ЯТХ 179-25, ЯТХ 183-25 та чотири лінії озимого тритикале ТХЗ 168-25, ТХЗ 194-25, ТХЗ 215-25 та ТХЗ 216-25 з морфотипом легкий обмолот колоса, які істотно перевершують стандарт Воля харківська та кращі сорти-еталони Свобода харківська та ІР Легіт за врожайністю та окремими цінними господарськими ознаками – крупність та виповненість зерна, вміст крохмалю, вміст білка, твердозерність та ін. Ці лінії є перспективним вихідним матеріалом для селекції тритикале.

Заява про доступність даних: Дані включені безпосередньо в статтю.

Використання штучного інтелекту (ШІ): При виконанні роботи генеративний штучний інтелект не використовувався.

Відповідність етичним стандартам: Стаття не містить будь-яких досліджень з використанням людей і тварин як об'єктів.

Конфлікт інтересів: Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів.

Фінансування: Ця робота є частиною проекту «Комплексне наукове дослідження механізмів стійкості сільськогосподарських культур до біо-, абіотичного та антропогенного стресу, використання генетичного різноманіття та створення стресостійких сортів і гібридів», що фінансується Міністерством освіти і науки України (реєстраційний номер 0125U003530).

of possibilities for optimizing triticale production in Australia through breeding and agronomic measures showed that the difficult threshing challenge remains largely unresolved (Roake et al., 2009). Significant achievements in triticale breeding for improved spike threshing included the development of cultivars such as 'Bobcat' (Canada), 'Endeavour', 'Tobruk', 'Kokoda', 'Waratah' (Australia), 'Indian', 'Kortego', 'Tricolor', 'Galtjo', 'Trimaran', and 'Ampiac' (France) with improved threshing (Roake et al., 2009; Baron et al., 2015). Given this, the lines identified in our study may hold breeding value as sources for improving triticale threshing.

Conclusions

New breeding material has been developed through intraspecific hybridization involving high-yielding and easily threshed parental components. Seven spring triticale lines—'YaTKh 37-25', 'YaTKh 92-25', 'YaTKh 157-25', 'YaTKh 159-25', 'YaTKh 174-25', 'YaTKh 179-25', and 'YaTKh 183-25'—and four winter triticale lines—'TKhZ 168-25', 'TKhZ 194-25', 'TKhZ 215-25', and 'TKhZ 216-25'—with easily threshed spikes were identified. These lines significantly outperform 'Volia Kharkivska' (check cultivar) and the best reference cultivars, 'Svoboda kharkivska' and 'IR Lehit', in terms of yield and specific valuable economic traits, including grain size and plumpness, starch and protein contents, kernel hardness, etc. These lines can serve as promising sources for triticale breeding.

Data Availability Statement: Data included directly in the article.

Use of Artificial Intelligence (AI): The generative AI was not used in the research execution.

Compliance with Ethical Standards: The study does not involve research on human participants or animals.

Conflict of Interest: Authors declare state that no conflicts exist.

Funding: This work is part of the project “Comprehensive scientific study of mechanisms of resistance of crop plants to biotic, abiotic, and anthropogenic stress, use of genetic diversity, and creation of stress-resistant cultivars and hybrids,” funded by the Ministry of Education and Science of Ukraine (registration number 0125U003530).

References

- Baron, V. S., Juskiw, P. E., & Aljarrah, M. (2015). Triticale as a forage. In M. Mergoum & H. Gómez-Macpherson (Eds.), *Triticale* (pp. 119–137). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-22551-7_8
- Bernard, M., Bernard, S., Badaeva, E., & Schlegel, R. (2025). Creating new forms of hexaploid triticale associating complete R and D genomes. *Biology (Basel)*, 14(11), 1632. <https://doi.org/10.3390/biology14111632>
- Bishnoi, O. P., Suresh, & Behl, R. K. (2019). Comparative performance of triticale genotypes in North Western Plain Zone of India for grain yield and its attributes. *Ekin Journal*, 5(1), 1–6.
- DSTU 4117:2007. (2007). Grain and products of its processing: Determination of quality indicators by infrared spectroscopy. *Derzhspozhyvstandart Ukrainy*. [in Ukrainian]
- DSTU 4960:2008. (2009). Triticale grain flour: Technical specifications. *Derzhspozhyvstandart Ukrainy*. [in Ukrainian]
- Kostenko, N. P., & Vaskivska, S. V. (2025). Methods for determining conformity of triticale varieties (*Triticosecale* Witt.) with the criteria of distinctness, uniformity and stability. *Tsyfrove vydavnytstvo Ukrainskoho instytutu ekspertyzy sortiv roslin*. <https://doi.org/10.21498/978-617-8743-16-1> [in Ukrainian]
- Lisnychyi, V. A., Riabchun, V. K., & Shatokhin, V. I. (2010). Expression and inheritance of spike threshing traits in spring triticale. *Selektsiia i Nasinnytstvo*, 98, 97–105. <https://doi.org/10.30835/2413-7510.2010.70237> [in Ukrainian]
- Lisnychyi, V. A., Riabchun, V. K., & Shatokhin, V. I. (2009). Methodological approaches to solving the spring triticale spike threshing problem through breeding. In *State and prospects of plant production development under climate change: Proceedings of the international conference* (pp. 47–49). Kharkiv. [in Ukrainian]
- Maças, B. (2004). Triticale in Portugal. In M. Mergoum & H. Gómez-Macpherson (Eds.), *Triticale improvement and production* (pp. 139–144). FAO. <https://www.fao.org/4/y5553e/y5553e.pdf>
- Ministry of Agrarian Policy and Food of Ukraine. (2016). Methods for qualifying examination of plant varieties for suitability for dissemination in Ukraine: General part (4th ed.). Ukrainian Institute for Plant Variety Examination. <https://sops.gov.ua/psp> [in Ukrainian]
- Ministry of Agrarian Policy and Food of Ukraine. (2016). Methods for qualifying examination of plant varieties for suitability for dissemination in Ukraine: Methods for determining crop quality indicators. Ukrainian Institute for Plant Variety Examination. <https://sops.gov.ua/uploads/page/5a5f413bb9be6.pdf> [in Ukrainian]
- Roake, J., Trethowan, R., Jessop, R., & Fittler, M. (2009). Improved triticale production through breeding and agronomy: Final research report. https://www.porkerc.com.au/1A-102_Final_Research_Report_.pdf
- Samadashvili, T. (2023). Triticale breeding in Georgia and the prospects for its use. *Journal of Biotechnology and Its Applications*, 2(1), 1–5. <https://doi.org/10.58489/2836-2322/010>
- Shchipak, G., Svyatchenko, S., Shchipak, V., Nychyporuk, O., Woś, H., Brzeziński, W., & Boguslavskyi, R. (2018). Breeding hexaploid triticale ($\times$ *Triticosecale* Wittmack) with high bread making quality. *Modern Concepts & Developments in Agronomy*, 3(1), 276–283. <https://doi.org/10.31031/MCDA.2018.03.000555>
- Ministry of Agrarian Policy and Food of Ukraine. (2026). State register of plant varieties suitable for dissemination in Ukraine for 2026. <https://me.gov.ua/view/64d3121e-1fae-4913-a832-e5a3110191de> [in Ukrainian]
- Tesfaye, T., & Dibaba, T. (2015). Evaluation of existing threshers for threshing triticale crop. *Journal of Multidisciplinary Engineering Science and Technology (JMEST)*, 2(7), 1847–1850.
- Tkachyk, S. O., Kyienko, Z. B., Prysiazniuk, L. M., et al. (2016). Methods for qualifying examination of plant varieties for suitability for dissemination in Ukraine: Methods for determining crop quality indicators (4th ed.). Vinnytsia. [in Ukrainian]
- Bouguennec, A., Bernard, M., Jestin, L., et al. (2004). Triticale in France. In M. Mergoum & H. Gómez-Macpherson (Eds.), *Triticale improvement and production* (pp. 109–114). FAO. <https://www.fao.org/4/y5553e/y5553e00.pdf>
- Waratah Seed Company. (2021). Triticale: Variety guide. <https://www.waratahseeds.com.au/Portals/0/ThemePluginPro/uploads/2024/1/30/Triticale-guide-varieties.pdf>
- Yarosh, A. V., Riabchun, V. K., & Leonov, O. Yu. (2014). Method for assessing grain hardness in winter common wheat. *Genetic Resources of Plants*, 15, 120–131. <https://genres.com.ua/ua/arxiv-vidan/vipusk-15/metodologiya-ocznki-tverdost-zerna-u-pshenicz-myako-ozimo> [in Ukrainian]

УДК 633.11+633.14:631.527:581.16

Р.С. Щеченко

Адаптивність сортів тритикале озимого до абіотичних факторів середовища в умовах східного лісостепу України

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

**E-mail: rus212rus@gmail.com*

UDC 633.11+633.14:631.527:581.16

R. S. Shchechenko

Adaptability of Winter Triticale Cultivars to Abiotic Environmental Factors in the Eastern Forest-Steppe of Ukraine

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

**E-mail: rus212rus@gmail.com*

Реферат: Тритикале озиме відіграє значну роль у зерновому виробництві України. Ця культура поєднує високу врожайність та якість зерна з невибагливістю до умов вирощування. Для стабільного формування високих врожаїв тритикале озимого актуальним є використання сортів з високою адаптивністю до різних умов вирощування. Метою досліджень було визначити адаптивні властивості 12 сортів тритикале озимого та виділити сорти з оптимальним поєднанням підвищеної урожайності з її стабільністю залежно від погодних умов та дози азотних добрив. За результатами дисперсійного аналізу встановлено, що на мінливість урожайності істотно впливали усі досліджувані фактори: генотип, умови навколишнього середовища, доза азоту, а також взаємодія цих факторів. Найбільший вплив мали умови середовища (63 %) та генотип (11 %), взаємодія генотип/умови середовища та взаємодія усіх трьох факторів (8 %). Сорти ХАД 650, Златоуст та Тимофій мають високу загальну адаптивну здатність. Вони формували вищу врожайність у середньому у дослідях (відповідно 5,79 т/га, 5,71 т/га та 5,45 т/га). Найбільш стабільними за формуванням урожайності в різних умовах вирощування та азотного живлення за варіансою специфічної адаптивної здатності та відносною стабільністю генотипу були сорти ХАД 45, Трифон, Ратне та Леонтій. Найбільш пластичними за показником коефіцієнта регресії були сорти Златоуст, Адам та Раритет. Ці сорти мають високий потенціал урожайності та здатні максимально реалізовувати його у сприятливих умовах. За поєднанням стабільності, пластичності та врожайності найвищі показники селекційної цінності генотипу мали сорти ХАД 45, Златоуст, Трифон та ХАД 650. Ці сорти відрізняються високим потенціалом урожайності, який проявляють за сприятливих умов і мають здатність протистояти несприятливим умовам року, тому можуть забезпечувати високу стабільність формування врожаю за різних умов вирощування.

Ключові слова: тритикале озиме, сорт, врожайність, адаптивність, стабільність, азотні добрива.

Abstract: Winter triticale plays a significant role in grain production in Ukraine, combining high yield and grain quality with high resilience to adverse growing conditions. To ensure stable high yields, it is crucial to grow winter triticale cultivars with high adaptability to various environments. The purpose of this study was to evaluate the adaptability of 12 winter triticale cultivars and to identify genotypes with an optimal combination of high yield and yield stability across different weather conditions and nitrogen fertilizer doses. Analysis of variance revealed that yield variability was significantly influenced by all studied factors: genotype, environmental conditions, nitrogen dose, and their interactions. The greatest contributions were made by environment (63%) and genotype (11%), followed by genotype-environment interaction and genotype-environment-fertilization interaction (8%). 'KhAD 650', 'Zlatoust', and 'Tymofii' exhibited high

general adaptability, producing higher average yields (5.79 t/ha, 5.71 t/ha, and 5.45 t/ha, respectively). Based on the variance of specific adaptability and relative stability, 'KhAD 45', 'Tryfon', 'Ratne', and 'Leontii' were identified as the most stable across different growing environments and nitrogen fertilization levels. According to the regression coefficient, 'Zlatoust', 'Adam', and 'Rarytet' were the most plastic cultivars, demonstrating high yield potential and the ability to maximize it under favorable conditions. Considering the combination of stability, plasticity, and yield, the highest breeding value was recorded for 'KhAD 45', 'Zlatoust', 'Tryfon', and 'KhAD 650'. These cultivars are noticeable for high yield potential, which is manifested under favorable conditions, and the ability to withstand adverse environmental factors, ensuring stable crop performance across diverse growing systems.

Key words: winter triticale, cultivar, yield, adaptability, stability, nitrogen fertilizers.

Вступ

Тритикале озиме відіграє значну роль у зерновому виробництві України. Ця культура поєднує високу врожайність та якість зерна з невибагливістю до умов вирощування. Зокрема, вирізняється високою зимостійкістю, стійкістю до посухи, хвороб та адаптивністю до бідних, кислих ґрунтів, що дозволяє вирощувати її в різних кліматичних зонах. В Україні та світі тритикале озиме має стратегічне значення як високобілковий кормовий ресурс, а також перспективна харчова та технічна культура, здатна давати стабільні врожаї на бідних ґрунтах.

На даний час Державний реєстр сортів рослин, придатних до поширення в Україні, включає 40 сортів озимого тритикале, з яких 23 % створені в Інституті рослинництва ім. В. Я. Юр'єва, м. Харків (ІР НААН) (<https://me.gov.ua/view/2957b803-f25b-4abf-8f0c-892e8754f3ad>). В Україні впроваджено у сільськогосподарське виробництво спеціалізовані за призначенням кормові та продовольчі сорти тритикале призначення, які істотно різняться за господарсько-цінними ознаками. Кормові сорти тритикале АД 256, Гарне, Букет, Шаланда набули поширення в усіх агроекологічних зонах України. За сприятливих умов вирощування потенціал урожайності цих сортів може досягати понад 10 т/га (Kurychenko et al., 2022). Сучасна селекція спрямована на створення високоврожайних сортів, які відповідають змінам кліматичних умов. У посушливих умовах урожайність сортів Тимофій, Пудік і Єлань досягала 9,94–10,36 т/га (Yakymchuk et al., 2022).

На стабільність врожайності впливає багато факторів, основними з яких є генетичні особливості сорту, погодні умови та технологічні заходи. Але, у більшості випадків, у виробничих умовах сорти тритикале не проявляють в повному обсязі свій потенціал урожайності. Це пов'язано з тим, що більша частина посівів розташована у зонах ризикованого землеробства і часто посіви

Introduction

Winter triticale plays a significant role in grain production in Ukraine. This crop combines high yield and grain quality with high resilience to growing conditions. Notably, it stands out for its high winter hardiness, drought tolerance, resistance to diseases, and adaptability to poor, acidic soils, allowing for its cultivation across various climatic zones. In Ukraine and globally, winter triticale holds strategic importance as a high-protein fodder resource, as well as a promising food-grade and industrial crop capable of providing stable yields on marginal lands.

Currently, the State Register of Plant Varieties Suitable for Dissemination in Ukraine includes 40 winter triticale cultivars, 23% of which were developed at the Yuriev Plant Production Institute of NAAS, Kharkiv (YPPI NAAS) (<https://me.gov.ua/view/2957b803-f25b-4abf-8f0c-892e8754f3ad>). Specialized fodder and food-grade triticale cultivars have been implemented in Ukrainian agricultural production, differing significantly in their economically valuable traits. Fodder cultivars such as 'AD 256', 'Harne', 'Buket', and 'Shalanda' have become widespread across all agro-ecological zones of Ukraine. Under favorable growing conditions, these cultivars can yield over 10 t/ha. Current breeding is focused on creating high-yielding cultivars that can meet changing climatic conditions. In arid environments, 'Tymofii', 'Pudik', and 'Yelan' yielded up to 9.94–10.36 t/ha.

Yield stability is influenced by many factors, with the genetic characteristics of a cultivar, weather conditions, and technological measures being the primary ones. However, in most cases, triticale cultivars do not fulfill their yield potentials. This is attributed to the fact that

зазнають негативного впливу абіотичних чинників. Крім того, з урахуванням підвищеної стійкості тритикале до несприятливих умов середовища, посіви часто розташовують на менш придатних для вирощування інших зернових культур землях. Для зниження ризиків недобору врожаїв від негативного впливу абіотичних стресів перевага віддається локально-адаптованим сортам (Riabchun et al., 2017).

Одним з найважливіших агротехнічних заходів, що впливають на врожайність тритикале озимого є внесення мінеральних добрив, особливо азоту (Ostapchuk, Liubych, 2015). З літературних джерел відомо, що оптимальна норма азотного живлення для тритикале озимого зазвичай становить N60-120 кг д.р./га, що забезпечує стабільну врожайність. Найвища ефективність азоту досягається при достатньому зволоженні та поєднанні з фосфорно-калійними добривами. Білітюк А. П., Новицька Н. В. (Bilitiuk, Novytska, 2025) повідомляють, що на дерново-підзолистому супіщаному ґрунті західного Полісся оптимальною дозою для сорту тритикале озимого Поліський 7 є N120 у поєднанні з фосфорними та калійними добривами. Дослідження Любича В. В., Остапчука В. В. щодо впливу азотного живлення на врожайність тритикале озимого в умовах правобережного Лісостепу показали, що серед варіантів N30, N60, N90 та N120 на фоні P60K60 оптимальними є дози N60 – N90 (Liubych, Ostapchuk, 2025). Дробітько А. В., Качанова Т. В. зазначають, що в умовах південного Степу України внесення мінеральних добрив у дозі N45P45K45 суттєво збільшувало врожайність сортів тритикале озимого Тимофій, Донець та Пластун волинський (Drobitko, Kachanova, 2023). В дослідженнях Г.В. Щипака показано, що при використанні максимальної дози азоту N240 за сприятливих умов року врожайність сорту Тимофій підвищувалась до 11,74 т/га, коли у варіанті без добрив вона становила 9,40 т/га (Shchypak, 2021). При цьому в Україні відзначається низький обсяг використання мінеральних добрив. Аналіз структури внесених мінеральних елементів живлення дозволив виявити суттєву невідповідність науково обґрунтованим нормам удобрення через зміщення у бік азотовмісних речовин. Така тенденція не відповідає умовам інтенсивного землеробства та не забезпечує повноцінної потреби рослин в елементах живлення (Bereziuk, Zubar, 2019). Тому актуальним є дослідження впливу лише азотного живлення на мінливість урожайності тритикале для наближення прогнозів цього показника у

a large portion of the winter triticale acreage is located in risky farming zones, where crops are frequently exposed to abiotic stressors. Furthermore, given triticale's increased resilience to unfavorable environments, it is often sown on lands less suitable for other cereals. To reduce the risk of yield losses from abiotic stresses, preference is given to locally adapted cultivars.

One of the most critical agrotechnical measures affecting winter triticale yield is the application of mineral fertilizers, particularly nitrogen. Published data indicate that the optimal nitrogen fertilizer dose for winter triticale typically ranges from N60-120 kg a.i./ha, ensuring stable performance. The highest nitrogen efficiency is achieved with sufficient moisture and in combination with phosphorus-potassium fertilizers. Bilitiuk and Novytska (2025) reported that on sod-podzolic sandy loam soil in the Western Polissia (mixed forest zone), the optimal dose for the winter triticale cultivar 'Poliskyi 7' was N120 combined with P and K fertilizers. Liubych and Ostapchuk (2025) studied the effect of nitrogen fertilization (N30, N60, N90, and N120 on P60K60 background) on winter triticale yield in the Right-Bank Forest-Steppe and showed that N60–N90 were the optimal doses. Drobitko and Kachanova (2023) noted that in the Southern Steppe of Ukraine, mineral fertilization at N45P45K45 significantly increased the yields of 'Tymofii', 'Donets', and 'Plastun Volynskiy'. A study by H.V. Shchypak (2021) demonstrated that using a maximum nitrogen dose of N240 in a favorable year increased the yield of 'Tymofii' to 11.74 t/ha, compared to 9.40 t/ha in the unfertilized variant. At the same time, mineral fertilization is little used in Ukraine. An analysis of the mineral fertilization structure revealed a significant discrepancy with scientifically grounded fertilizer doses due to a shift toward nitrogen-containing substances. This trend does not meet the requirements of intensive farming and does not provide plants with necessary nutrients (Bereziuk, Zubar, 2019). Therefore, it is relevant to study the impact of nitrogen fertilization alone on triticale yield variability to align yield forecasts with real production conditions. Organic and ecological production requires limited use of chemicals and fertilizers. In such cases,

реальних умовах виробництва. Органічне та екологічне виробництво потребують обмеженого використання хімічних препаратів та добрив. У цьому випадку перевага надається сортам, здатним формувати підвищену врожайність на низькому агрофоні (Muhova, Kirchev, 2020).

У селекційній практиці відомі сорти з дуже високою адаптивністю, підтвердженою виробництвом у широкому географічному та часовому діапазоні. У 1982 р. у Польщі на генетичній основі Амфідиплоїду 206 було створено озимий сорт тритикале Lasko, який характеризувався дуже високими показниками адаптивності до несприятливих біотичних і абіотичних чинників. Він був зареєстрований у Польщі, Німеччині, Австрії, Швейцарії, США та став найбільш розповсюдженим сортом у світі (Wolski, Tymieniecka, 1983). Сорт тритикале ярого Аїст харківський, який поєднував високі господарсько-біологічні ознаки з відмінною харчовою якістю зерна, вирощувався на всій території України понад 20 років та увійшов до родоходів багатьох сучасних високоадаптивних сортів (Riabchun et al., 2012). Сорт BG Goran, зареєстрований у Хорватії у 2004 р., має відмінні господарсько-біологічні властивості. Цей сорт дотепер залишається у виробництві. Завдяки високій адаптивності він поширився у Словенії та Боснії та Герцеговині (<https://bc-institut.hr/en/tritikale-2/>). У Нідерландах селекційна станція Lantmännen SW Seed BV застосовує ефективну схему селекції тритикале озимого у поєднанні із загальноєвропейською системою екологічних випробувань. Завдяки цій системі більшість нідерландських сортів придатні до вирощування на всій території Європи. Найбільшого поширення у Європі набули сорти Lombardo, Agostino, Barolo та Kaulos (<https://www.lantmannenseed.nl/tritikale-breeding>).

Таким чином, для стабільного формування високих врожаїв тритикале озимого актуальним є підбір сортів з високою адаптивністю до різних умов вирощування.

Метою досліджень було визначити адаптивні властивості сортів тритикале озимого селекції IP НААН в умовах східного Лісостепу України та виділити сорти з оптимальним поєднанням підвищеної урожайності з її стабільністю залежно від погодних умов та норми азотних добрив.

preference is given to cultivars capable of yielding a lot under low-input conditions (Muhova, Kirchev, 2020).

In breeding practice, cultivars with very high adaptability, confirmed by production across a wide geographical and temporal range, are well-known. In 1982, the winter triticale cultivar 'Lasko' was developed from 'Amphidiploid 206' in Poland; it was noticeable for very high adaptability to unfavorable biotic and abiotic factors. It was registered in Poland, Germany, Austria, Switzerland, and the USA, becoming the most widespread cultivar in the world (Wolski, Tymieniecka, 1983). The spring triticale cultivar 'Aist Kharkivskyi', which combined high economic and biological traits with excellent food-grade grain quality, was cultivated throughout Ukraine for over 20 years and has been included in the pedigrees of many modern highly adaptable cultivars (Riabchun et al., 2012). 'BG Goran', registered in Croatia in 2004, possesses excellent economic and biological characteristics. This cultivar remains in production to this day. Due to its high adaptability, it has spread to Slovenia and Bosnia and Herzegovina (<https://bc-institut.hr/en/tritikale-2/>). In the Netherlands, a breeding station of Lantmännen SW Seed BV employs an effective winter triticale breeding scheme in combination with a pan-European system of environmental trials. Owing to this system, most Dutch cultivars are suitable for cultivation throughout Europe. The most widespread cultivars in Europe are 'Lombardo', 'Agostino', 'Barolo', and 'Kaulos' (<https://www.lantmannenseed.nl/tritikale-breeding>).

Thus, to consistently harvest high yields of winter triticale, the selection of cultivars with high adaptability to various growing conditions remains relevant.

The purpose of this study was to evaluate the adaptability of winter triticale cultivars bred at the YPPI NAAS in the Eastern Forest-Steppe of Ukraine and to identify cultivars with an optimal combination of increased yield and its stability depending on weather conditions and nitrogen fertilizer doses.

Методика

Дослідження проводились у сезонах 2022–2023, 2023–2024 та 2024–2025 рр. на полях селекційної сівозміни експериментальної бази ІР НААН, яка розташована в 15 кілометрах від м. Харків (східна частина Лісостепу України). Ґрунтовий покрив представлений потужним слабо вилуженим чорноземом на пилювато-суглинистому лесі з товщиною гумусового шару 75 см. Клімат у зоні проведення досліджень помірно-континентальний. Нерівномірний розподіл опадів протягом вегетаційного періоду в сукупності з високими температурами повітря часто призводять до весняно-літніх посух. Сівбу тритикале озимого проводили у третій декаді вересня сівалкою ССФК-7 на ділянках площею 25 м² у триразовому повторенні. Норма висіву 5 млн. зерен на гектар. Попередник – пар.

Вивчали шість фонів живлення азотом: без добрив (контроль), N₆₀, N₉₀, N₁₂₀ – як оптимальні за методичними рекомендаціями Інституту землеробства НААН для тритикале озимого (Kostenko et al., 2012), N₁₈₀ та N₂₄₀ – для визначення можливого впливу на потенціал урожайності. Добрива вносили шляхом підживлення рослин у стадії кущення аміачною селітрою (N₃₄). Матеріал досліджень – 12 сортів озимого тритикале, створених в ІР НААН: короткостеблові – Тимофій, ХАД 45, ХАД 650; середньостеблові – Адам, Златоуст, Раритет, Ратне, Трифон; високостеблові – Букет, Леонтій; альтернативні – Олександр, Єлань. За кожним варіантом досліду визначали урожайність ваговим методом. Для визначення суттєвості та достовірності різниць урожайності, а також ефектів впливу факторів та їх взаємодії на формування врожайності використовували багатофакторний дисперсійний аналіз за факторами генотип, умови року, доза азоту (Rozhkov et al., 2016).

Визначали загальну адаптивну здатність (ЗАЗ), як середню реакцію генотипу на зміну умов року та доз добрив. ЗАЗ сорту, розраховується як відхилення середнього значення ознаки конкретного генотипу в певних умовах середовища від загального середнього показника по всій групі досліджуваних зразків за формулою:

$$ЗАЗ_i = \bar{X}_i - \mu,$$

де: $\bar{X}_i$ – середня врожайність i -го сорту за всіма роками та варіантами,

μ – загальна середня врожайність усіх досліджуваних сортів у даному досліді.

Methods

The study was conducted in the breeding crop rotation experimental fields of the YPPI NAAS, which are located 15 kilometers from Kharkiv (Eastern Forest-Steppe of Ukraine), in 2021–2022, 2022–2023, and 2023–2024 seasons. The soil is deep, slightly leached chernozem on silty-clay loess with a humus layer of 75 cm thick. The climate in the study location is moderate continental. Uneven precipitation during the growing season combined with high air temperatures often leads to spring-summer droughts. Winter triticale was sown between September 21 and September 30 using an SSFK-7 seeder on 25 m² plots in three replications. The seeding rate was 5 million germinable seeds per hectare. The predecessor was black fallow.

Six nitrogen fertilizer doses were tested: no fertilizers (control), N₆₀, N₉₀, N₁₂₀ — as optimal doses in compliance with the methodological guidelines of the Institute of Agriculture of NAAS for winter triticale (Kostenko et al., 2012), and N₁₈₀ and N₂₄₀ — to assess the possible impact on yield. Fertilizers were applied as top-dressing at the tillering stage using ammonium nitrate (N₃₄). Twelve winter triticale cultivars developed at the YPPI NAAS were investigated: short-stemmed — 'Tymofii', 'KhAD 45', and 'KhAD 650'; medium-stemmed — 'Adam', 'Zlatoust', 'Rarytet', 'Ratne', and 'Tryfon'; tall-stemmed — 'Buket' and 'Leontiy'; with alternate growth habit — 'Oleksandr', 'Yelan'. Yield was determined by weighing in each experiment. To determine the significance of differences in yield and the effects of factors and their interactions on yield, a multi-factor analysis of variance (ANOVA) was used. The evaluated factors were genotype, year conditions, and nitrogen dose (Rozhkov et al., 2016).

General adaptability (GA) was determined as the average response of a genotype to changes in environmental conditions and fertilizer doses. The GA of a cultivar was calculated as the deviation of the mean value of a trait for a specific genotype under certain environmental conditions from the overall mean value for the entire sample of studied accessions using the following formula:

$$GA_i = \bar{X}_i - \mu$$

where: $\bar{X}_i$ – mean yield of the i^{th} cultivar across all years and experiments; μ – overall mean yield of all studied cultivars in the given experiment.

Specific adaptability (SA), which reflects the deviation of the observed value in a specific

Специфічну адаптивну здатність (CAЗ), яка відображає відхилення фактичного значення в конкретному середовищі від теоретично очікуваного (суми загального середнього та ефектів ЗАЗ і середовища), розраховували за формулою:

$$CAZ_{ij} = X_{ij} - (\bar{X} + ZAZ_i + di),$$

де: X_{ij} – фактична врожайність i -го сорту в i -му середовищі,

$\bar{X}$ – загальна середня врожайність по досліді,

ZAZ_i – ефект загальної адаптивної здатності i -го генотипу,

di – ефект j -го середовища (наскільки умови певного року краші або гірші за середні).

Відносну стабільність генотипу (Sgi), як відношення середньої врожайності сорту в окремому варіанті до середньої врожайності всіх сортів у цьому ж варіанті, визначене у відсотках, розраховували за формулою:

$$Sgi = \frac{\delta CAZ_i}{\bar{X}_i} \cdot 100 \%,$$

де: δCAZ_i – середньоквадратичне відхилення специфічної адаптивної здатності i -го генотипу, $\bar{X}_i$ – середня врожайність i -го сорту за всіма роками та варіантами досліджень.

Пластичність сорту (bi) визначали як реакцію генотипу на варіювання умов середовища, шляхом регресійного аналізу.

Селекційну цінність генотипу (СЦГі) – параметр, який характеризує поєднання високої продуктивності та стабільності в одному генотипі, розраховували за формулою:

$$СЦГі = \bar{X}_i - t \cdot \delta CAZ_i,$$

де t – табличне значення критерію Стюдента для 95 % ймовірності (Bazalii et al., 2007).

Для математичних розрахунків використовували програмне забезпечення MS Excel.

Результати та обговорення

Погодні умови значно різнилися за роками досліджень, що дозволило оцінити їх вплив на формування врожайності сортів озимого тритикале. Умови 2023 р. характеризувалися надмірним зволоженням у квітні у період відновлення вегетації та кушіння (ГТК 2,15), дуже сильною посухою у травні, на яку припали фази виходу в трубку – колосіння (ГТК 0,11), сильною посухою у червні під час цвітіння, зав'язування насіння та наливу зерна (ГТК 0,62) та вологою погодою у липні під час достигання

середовища від теоретично очікуваного (суми загального середнього та ефектів ЗАЗ і середовища), розраховували за формулою:

$$SA_{ij} = X_{ij} - (\bar{X} + G_{Ai} + di)$$

where: X_{ij} – harvested yield of the i^{th} cultivar in the j^{th} environment;

$\bar{X}$ – overall mean yield across all experiments;

G_{Ai} – general adaptability effect in the i^{th} genotype;

di – effect of the j^{th} environment (how much the conditions of a particular year are better or worse than the average conditions).

The relative stability of a genotype (Sgi), as the ratio of the mean yield of a cultivar in an experiment to the mean yield of all cultivars in the same experiment, was calculated using the following formula and expressed as a percentage:

$$Sgi = \frac{\delta SA_i}{\bar{X}_i} \cdot 100 \%,$$

where: δSA_i – standard deviation of the specific adaptability of the i^{th} genotype;

$\bar{X}_i$ – mean yield of the i^{th} cultivar across all years and experiments.

The plasticity of a cultivar (bi) was determined as the response of a genotype to environmental variations using regression analysis.

The breeding value of the genotype (BVG) – a parameter characterizing the combination of high performance and stability in a single genotype – was calculated using the following formula:

$$BVG_i = \bar{X}_i - t \cdot \delta SA_i,$$

where t = tabular Student's t-test value for the 95% significance level (Bazalii et al., 2007).

Mathematical calculations were performed in MS Excel.

Results and Discussion

The weather varied significantly across the study years, allowing for an assessment of its impact on the winter triticale cultivars' yields. 2023 was characterized by excessive wetting in April – during spring regrowth and tillering (HTC = 2.15), a very severe drought in May – during the period from stem elongation to heading (HTC = 0.11), a severe drought in June – during anthesis, seed setting, and grain filling (HTC = 0.62), and wet weather in July – during grain maturation (HTC = 1.81). Overall, 2023 was unfavorable for

зерна (ГТК 1,81). У цілому умови 2023 р. були несприятливими для росту і розвитку рослин, оскільки посушливі умови різного ступеня припали на всі критичні фази розвитку рослин, що призвело до зниження врожайності (рис. 1). У 2024 р. весь період вегетації тритикале супроводжувався посухою, у т.ч. у травні дуже сильною (ГТК 0,31), а у липні екстремальною (ГТК 0,43) та підвищеною температурою повітря. Це вкрай негативно вплинуло на розвиток рослин та формування врожайності, але дозволило оцінити сорти за стійкістю до весняної та літньої посухи та виділити найбільш стійкі за посухо- та жаростійкістю.

plant growth and development, as arid conditions of varying severity occurred during all critical developmental stages, reducing yields (Fig. 1). In 2024, triticale suffered from droughts during the entire vegetation period, including a very severe drought in May (HTC = 0.31) and an extreme drought in July (HTC = 0.43), which were accompanied by elevated air temperatures. This had an extremely negative impact on plant development and yield, but it allowed us to evaluate the cultivars for tolerance to spring and summer drought and to identify the most drought- and heat-tolerant genotypes.

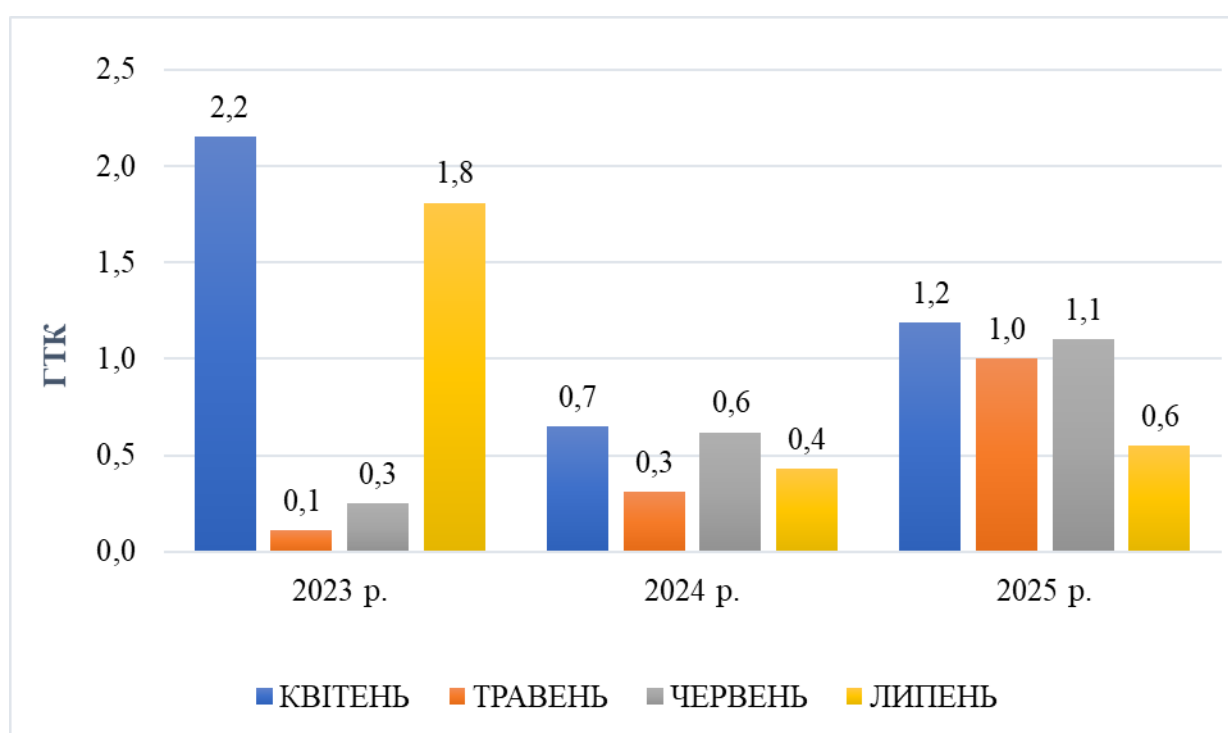


Рис. 1 Гідротермічний коефіцієнт Селянинова (ГТК) у період вегетації тритикале, 2023 – 2025 рр.

Fig. 1. Selyaninov's hydrothermal coefficient (HTC) during the triticale growing season, 2023–2025.

Погодні умови 2025 р. були сприятливими для росту і розвитку тритикале озимого у першій половині вегетації та задовільними у другій половині вегетації, оскільки спостерігались посушливі періоди на початку червня та середині липня.

Урожайність сортів тритикале озимого у середньому за роками та варіантами добрив становила 4,21–5,74 т/га залежно від сорту. Найбільш урожайними були сорти ХАД 650, Златоуст, Тимофій та Єлань (табл. 1).

The weather in 2025 was favorable for winter triticale growth and development during the first half of the growing season and satisfactory in the second half, as there were dry periods in early June and mid-July.

The yield of winter triticale cultivars, averaged across the years and fertilization variants, ranged from 4.21 to 5.74 t/ha, depending on the cultivar. The greatest yields were harvested from 'KhAD 650', 'Zlatoust', 'Tymofii', and 'Yelan' (Table 1).

Таблиця 1. Урожайність сортів тритикале озимого залежно від умов року та норм азотних добрив, т/га, 2023 – 2025 рр.
Table 1. Yield of the winter triticale cultivars depending on the year conditions and nitrogen fertilizer doses, t/ha, 2023–2025.

Сорт / Cultivar	Рік / Year	Норма азоту / Nitrogen dose						Середня за роками / Mean across the years	Середня загальна / Overall mean
		Без добрив / No fertilizers	N ₆₀	N ₉₀	N ₁₂₀	N ₁₈₀	N ₂₄₀		
ХАД 45 / KhAD 45	2023	0.26	4.07	4.68	4.74	4.79	4.86	4.59	4.21
	2024	3.45	3.18	3.66	3.70	3.74	3.80	3.59	
	2025	4.60	4.56	4.62	4.59	4.34	4.02	4.46	
Ратне / Ratne	2023	4.79	4.86	5.35	4.92	4.79	5.40	5.02	4.92
	2024	3.74	3.80	4.18	3.84	3.74	4.22	3.92	
	2025	4.24	5.74	5.40	6.20	7.26	6.10	5.82	
Букет / Buket	2023	4.07	5.35	5.48	4.92	5.56	4.99	5.06	5.05
	2024	3.18	4.18	4.28	3.84	4.34	3.90	3.95	
	2025	5.96	3.24	6.80	6.20	7.14	7.42	6.13	
Леонтій / Leontii	2023	4.34	4.22	4.66	4.89	5.20	4.97	4.71	4.82
	2024	3.39	3.30	3.64	3.82	4.06	3.88	3.68	
	2025	6.77	5.86	6.16	6.00	5.82	5.84	6.08	
Раритет / Rarytet	2023	4.25	4.48	4.76	4.61	5.02	4.85	4.66	5.07
	2024	3.32	3.50	3.72	3.60	3.92	3.98	3.67	
	2025	5.96	7.10	7.16	6.92	7.02	7.15	6.89	
ХАД 650 / KhAD 650	2023	5.05	5.73	5.32	6.35	6.02	6.48	5.83	5.79
	2024	3.63	4.48	4.16	4.96	4.70	5.06	4.50	
	2025	6.93	7.42	7.50	6.98	6.64	6.72	7.03	
Адам / Adam	2023	4.13	5.22	4.68	4.45	3.84	3.96	4.38	4.91
	2024	3.23	4.08	3.66	3.48	3.00	3.15	3.43	
	2025	6.88	7.06	6.42	7.10	7.02	7.02	6.92	
Олександр / Oleksandr	2023	4.28	4.99	5.02	4.15	4.71	4.04	4.53	4.66
	2024	3.34	3.90	3.92	3.24	3.68	3.16	3.54	
	2025	6.96	4.60	5.12	5.88	6.56	6.40	5.92	
Єлань / Yelan	2023	4.61	5.04	5.56	6.05	6.12	4.66	5.34	5.24
	2024	3.46	3.94	3.56	3.96	4.00	3.64	3.76	
	2025	6.16	6.04	6.10	6.90	6.90	7.54	6.61	
Златоуст / Zlatoust	2023	5.44	4.94	5.88	6.35	7.14	4.76	5.75	5.71
	2024	3.47	3.86	4.12	4.12	4.16	3.72	3.91	
	2025	7.07	6.72	7.00	8.08	7.40	8.46	7.46	
Трифон / Tryfon	2023	4.68	5.12	5.04	6.35	5.88	4.86	5.32	4.88
	2024	3.34	4.00	3.94	4.18	3.90	3.80	3.86	
	2025	5.25	6.44	4.60	5.40	5.66	5.32	5.45	
Тимофій / Tymofii	2023	5.42	4.79	6.08	6.51	5.85	5.85	5.75	5.45
	2024	3.99	3.74	3.72	4.44	3.90	3.90	3.95	
	2025	6.03	6.26	7.20	6.62	6.90	6.90	6.65	
Середнє / Mean	–	4.72	4.88	5.09	5.23	5.30	5.13	–	
H _{IP} 0,05 / LSD 0,05	загальна / Overall								0.32
	фактор сорт / Cultivar factor								0.08
	фактор рік / Year factor								0.04
	фактор добрива / Fertilizer factor								0.05

Сорт ХАД 650 мав середню за роками та варіантами врожайність 5,79 т/га. За реакцією цього сорту на внесення добрив у всі три роки досліджень спостерігалось підвищення врожайності. У посушливих умовах 2023 р. внесення азотних добрив збільшувало врожайність сорту ХАД 650 на 0,27–1,43 т/га залежно від дози N. У посушливих умовах 2024 р. спостерігалась подібна динаміка. Внесення азотних добрив збільшувало врожайність на 0,53–1,43 т/га. У сприятливих умовах 2025 р. вплив азотних добрив був меншим. Підвищення врожайності було менш значним (на 0,49–0,57 т/га) лише у варіантах N60 та N90. При цьому сорт добре реагував на покращення погодних умов, збільшуючи врожайність до 7,03 т/га. Таким чином, сорт ХАД 650 має підвищену середню врожайність та високий потенціал урожайності, який проявляється за сприятливих умов року. Внесення азотних добрив може стабілізувати прояв урожайності у посушливі роки. В таких умовах доза азоту N180 найбільше підвищувала врожайність, але економічно доцільнішим є внесення азоту у дозі N120, яка також значно підвищувала врожайність і неістотно поступалась варіанту N180.

Високу середню врожайність мав сорт Златоуст (5,71 т/га). Цей сорт мав найвищий серед досліджуваних сортів потенціал урожайності, який виявився за сприятливих умов року та внесення високої дози азоту N240 – 8,46 т/га. Внесення азотних добрив у найбільш посушливому 2024 р. підвищувало врожайність на 0,25–0,69 т/га. Більшого підвищення врожайності було досягнуто за доз N90–N180, при цьому різниця між цими варіантами неістотна, тож оптимальною є доза N90. У менш посушливих умовах 2023 р. підвищення врожайності спостерігалось у варіантах N90–N180 при збільшенні врожайності відповідно до збільшення дози азоту на 0,44–1,70 т/га. У сприятливих умовах 2025 р. підвищення врожайності сорту Златоуст спостерігалось лише при високих дозах азоту N120–N240, що може мати значення тільки для інтенсивних технологій для максимальної реалізації сортом свого потенціалу.

Короткостеблій сорт Тимофій мав підвищену середню урожайність за роками та варіантами досліджень (5,45 т/га). Максимальної врожайності було досягнуто у сприятливих умовах 2025 р. при внесенні азотних добрив N90 – 7,02 т/га, що свідчить про можливість більшої реалізації потенціалу врожайності шляхом

'KhAD 650' yielded on average 5.79 t/ha across the years and fertilization variants. Regarding its response to fertilization, an increase in yield was observed in all three study years. Under the dry conditions of 2023, nitrogen application increased the yield of 'KhAD 650' by 0.27–1.43 t/ha, depending on the nitrogen dose. Similar patterns were observed in the dry 2024, where nitrogen application increased the yield by 0.53–1.43 t/ha. In the 2025, the effect of nitrogen fertilizer was weaker, as the yield increase was smaller (by 0.49–0.57 t/ha) and recorded only in the N60 and N90 experiments. At the same time, the cultivar responded well to weather improvement, increasing its yield up to 7.03 t/ha. Thus, 'KhAD 650' showed an increased mean yield and high yield potential, which is fully realized under favorable environmental conditions. Nitrogen application can stabilize yield performance in dry years. Under such conditions, the N180 dose resulted in the maximum yield increase, but N120 is an economically more viable dose, as it also significantly increased the yield and was only slightly inferior to N180.

The mean yield of 'Zlatoust' was high (5.71 t/ha). This cultivar exhibited the highest yield potential among the studied genotypes, amounting to 8.46 t/ha under favorable conditions with a high nitrogen dose of N240. In the most arid year, 2024, nitrogen application increased the yield by 0.25–0.69 t/ha. Greater yield gains were achieved with N90–N180; however, since the difference between these variants was insignificant, N90 is considered the optimal dose. Under the less arid conditions of 2023, the yield increased in the N90–N180 experiments by 0.44–1.70 t/ha; the higher dose of nitrogen fertilizer was applied, the greater gain in the yield was recorded. In the 2025, 'Zlatoust' increased its yield only at high nitrogen doses (N120–N240), which may be relevant only for intensive technologies aimed at maximizing the cultivar's potential.

The short-stemmed cultivar 'Tymofii' produced an increased mean yield across the years and fertilization variants (5.45 t/ha). The maximum yield of 7.02 t/ha was harvested under the favorable conditions in 2025 when N90 was applied, indicating a possibility of greater yield potential realization through agronomic measures. In terms of response to nitrogen fertilization under varying weather conditions,

технологічних заходів. За реакцією на азотне живлення під впливом погодних умов, на відміну від сортів ХАД 650 та Златоуст, сорт Тимофій мав більший відгук на добрива при покращенні умов року. У найбільш посушливих умовах 2024 р. сорт майже не реагував позитивно на внесення азоту. Лише у варіанті N120 спостерігалось підвищення врожайності на 0,45 т/га. У менш посушливих умовах 2023 р. азотні добрива підвищували врожайність у варіантах N90 і вище на 0,33–1,09 т/га. У сприятливих умовах 2025 р. урожайність підвищувалась у всіх варіантах доз азоту на 0,23–1,17 т/га.

Сорт дворучка Єлань у середньому за роками та варіантами мав підвищену врожайність (5,24 т/га). Максимальний прояв потенціалу врожайності спостерігався у сприятливих умовах року за високої дози азоту N240 (7,54 т/га). У цілому сорт Єлань добре реагує на внесення азотних добрив. Підвищення урожайності при внесенні азоту спостерігалось як у посушливі, так і у сприятливі роки, за винятком окремих варіантів. Вищу врожайність забезпечували дози N120 та N180, за яких середня за роками врожайність перевищувала контроль (без добрив) відповідно на 0,90 та 0,93 т/га. З урахуванням незначної різниці між цими значеннями, оптимальною можна вважати дозу N120.

У середньому за всіма сортами та роками досліджень спостерігалось поступове підвищення врожайності із збільшенням дози азоту від 4,72 т/га у варіанті без добрив до 5,30 т/га у варіанті N120, та зниження при N240 – 5,13 т/га. Але така динаміка не є загальною і відрізняється при спостереженні за окремими сортами та роками досліджень, що можна пояснити індивідуальною реакцією генотипу на дози азоту, взаємодією факторів генотип, умови року та дози азоту між собою та впливом інших ознак та чинників (вилягання, ураження збудниками хвороб та ін.), що мають вплив на врожайність. Наприклад, в умовах достатнього зволоження 2025 р. сорти ХАД 45, ХАД 650, Раритет та Тимофій формували вищу врожайність за нижчих доз добрив: N60 та N90, а сорти Олександр та Леонтій – у варіанті без добрив.

Про суттєву різницю за реакцією на внесення добрив у сортів тритикале озимого повідомляється у дослідженнях, проведених в інших агрокліматичних умовах та на сортах різного походження (Lalević et al., 2022; Neykov et al., 2024).

Результати трифакторного дисперсійного аналізу показали, що всі три досліджувані

unlike 'KhAD 650' and 'Zlatoust', 'Tymofii' showed a more pronounced response to fertilizers as year conditions improved. Under the most arid conditions of 2024, the cultivar showed a negligible positive response to nitrogen application, with a yield increase of 0.45 t/ha observed only in the N120 experiment. Under the less arid conditions of 2023, nitrogen fertilizers increased the yield in the experiments N90– N240 by 0.33–1.09 t/ha. In the favorable 2025, the yield was increased by 0.23–1.17 t/ha in all experiments with nitrogen fertilization.

'Yelan' (cultivar with alternate growth habit) had an increased mean yield (5.24 t/ha) across the years and experiments. The maximum realization of yield potential (7.54 t/ha) was observed under favorable conditions with N240. Overall, 'Yelan' responded well to nitrogen application. Nitrogen-attributed gain in the yield was observed in both dry and favorable years, except for some experiments. Higher yields were harvested with N120 and N180, where the mean yield across the years exceeded the control (without fertilizers) by 0.90 and 0.93 t/ha, respectively. Given the negligible difference between these values, N120 can be considered the optimal dose.

On average, across all cultivars and study years, a gradual increase in yield was observed as the nitrogen dose increased—from 4.72 t/ha in the control (without fertilizers) to 5.30 t/ha in the N120 experiment, followed by a decrease at N240 to 5.13 t/ha. However, this pattern is not universal and varies between cultivars and years. This can be explained by the genotype's individual response to nitrogen fertilization, interaction between factors (genotype, year conditions, and nitrogen doses), and the influence of other traits and factors (lodging, diseases, etc.) that affect yield. For example, under the sufficient wetting in 2025, 'KhAD 45', 'KhAD 650', 'Rarytet', and 'Tymofii' gave higher yields at lower fertilizer doses (N60 and N90), while 'Oleksandr' and 'Leontii' performed best in the control.

Significant inter-cultivar differences in response to fertilization were reported for winter triticale in studies conducted under other agro-climatic conditions and on cultivars of different origins (Lalević et al., 2022; Neykov et al., 2024).

The three-factor analysis of variance (ANOVA) showed that all three studied factors,

фактори, а також їх взаємодія мають істотний вплив на мінливість урожайності (табл.2).

as well as their interactions, made significant contributions to yield variability (Table 2).

Таблиця 2. Дисперсійний аналіз урожайності сортів тритикале озимого, 2023–2025 рр.

Table 2. ANOVA of winter triticale cultivars yield, 2023–2025.

Дисперсія / Variance	Сума квадратів / Sum of squares	Ступінь свободи, n-1 / Degree of freedom n-1	Середній квадрат, s^2 / Mean square s^2	$F_{\text{факт.}} /$ $F_{\text{obs.}}$	F_{05} / F_{05}	HIP ₀₅ т/га / LSD ₀₅ t/ha
Загальна C_y / Total C_y	1039.54	647	—	—	—	—
Повторень C_p / Replications C_p	0.29	2	—	—	—	—
Сорту C_a / Cultivar C_a	115.14	11	10.47	116.31	1.92	0.08
Року C_b / Year C_b	658.22	2	329.11	3656.79	3.09	0.04
Добрив C_c / Fertilization C_c	25.94	5	5.19	57.64	2.30	0.05
Взаємодії C_{ab} / Interaction C_{ab}	85.46	22	3.88	43.16	1.63	0.13
Взаємодії C_{ac} / Interaction C_{ac}	41.17	55	0.75	8.32	1.48	0.19
Взаємодії C_{bc} / Interaction C_{bc}	9.17	10	0.92	10.19	1.92	0.09
Взаємодії C_{abc} / Interaction C_{abc}	86.63	110	0.79	8.75	1.39	0.32
Залишку C_z / Residual C_z	17.51	427	0.04	—	—	—

Найбільший вплив мали умови року (63 %), генотип (11 %). Ефекти впливу взаємодії факторів були більшими ніж взаємодія генотип/умови року та взаємодія усіх трьох факторів (8 %) (рис. 2).

Переважаючий вплив умов середовища на формування врожайності підтверджується і багатьма іншими дослідженнями, проведеними в різних країнах світу. В Інституті генетичних ресурсів рослин «Костянтин Малков» (Садово, Болгарія) при вивченні восьми сортів тритикале озимого вплив фактору середовища становив близько 70%, вплив фактору генотип 10%, а взаємодії цих факторів 18% (Neykov et al., 2024). В посушливих умовах з еродованими ґрунтами високогір'я Південної Ефіопії вплив фактора умов року на мінливість урожайності п'яти сортів тритикале складав 64,6 %, а вплив фактора генотип та взаємодії факторів генотип/середовище відповідно 13,2 % та 11,7 % (Tariku et al., 2024). В п'ятирічних дослідженнях адаптивності 12 сортів тритикале озимого у 58 локаціях, які охоплюють усі природно-кліматичні зони Польщі, вплив факторів середовища на мінливість урожайності становив 73% (Derejko et al., 2020).

The greatest contributions were made by year conditions (63%) and genotype (11%). The contributions of factor interactions were significant, with the genotype-environment interaction and the genotype-environment-fertilization interaction each contributing 8% to the total variance (Fig. 2).

The predominant influence of environmental conditions on yield is confirmed by many other studies conducted worldwide. At the Institute of Plant Genetic Resources "Konstantin Malkov" (Sadovo, Bulgaria), a study of eight winter triticale cultivars showed that the environmental factor accounted for approximately 70%, the genotype factor – for 10%, and the interaction of these factors – for 18% (Neykov et al., 2024). Under the arid conditions and on eroded soils of the Southern Ethiopian highlands, the contribution of the year factor to the yield variability of five triticale cultivars was 64.6%, while the contributions of the genotype and genotype-environment interaction was 13.2% and 11.7%, respectively (Tariku et al., 2024). In a five-year study on the adaptability of 12 winter triticale cultivars across 58 locations covering all agro-climatic zones of Poland, the contribution of the

environment factor to yield variability was 73% (Derejko et al., 2020).

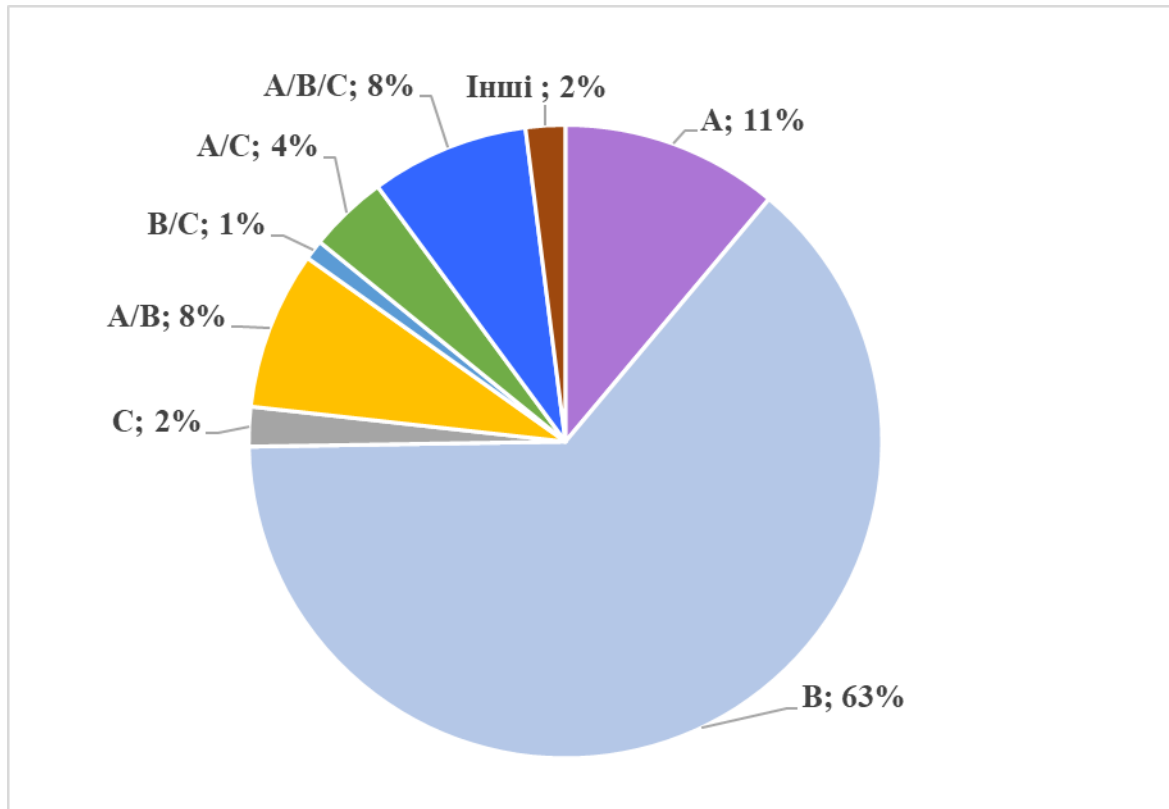


Рис. 2. Частка впливу факторів на мінливість урожайності зерна озимого тритикале, де А – фактор генотип, В – фактор умови року, С – фактор доза азоту, А/В - взаємодія генотип/умови року, В/С - взаємодія умови року/доза азоту, А/С - взаємодія генотип/доза азоту, А/В/С – взаємодія всіх факторів.

Fig. 2. Contributions of the factors to the winter triticale yield variability, where: A – genotype factor; B – year factor; C – fertilization factor; A/B – genotype-year interaction; B/C – year-fertilization interaction; A/C – genotype-fertilization interaction; A/B/C – interaction of all factors.

В умовах Лісостепу України при оцінці впливу факторів генотип та умови року на врожайність 40 селекційних ліній тритикале озимого (МІП ім. Ремесла) високий вплив мала взаємодія факторів генотип/середовище – 39,3 %, а також фактор середовища – 35,4 %. Вплив фактора генотип становив 13,8% (Voloshchuk, Kharchenko, 2017). Враховуючи значний вплив умов вирощування на формування врожайності, вирощування сортів з високою адаптивністю може значно зменшити ризики недобору врожаїв, спричинених несприятливими умовами під час вегетації.

Загальна адаптивна здатність генотипу (ЗАЗ) характеризує середнє значення ознаки в різних умовах середовища. Вищі ефекти ЗАЗ мали сорти ХАД 650 (0,73), Златоуст (0,65) та Тимофій (0,39) (табл. 3).

In the Ukrainian Forest-Steppe, where the impacts of genotype and year conditions on the yield of 40 breeding lines of winter triticale (V.M. Remeslo Myronivka Institute of Wheat) were assessed, a great contribution was made by genotype-environment interaction (39.3%) and environmen (35.4%). The contribution of the genotype factor was 13.8% (Voloshchuk, Kharchenko, 2017). Given the significant influence of growing conditions on yield, cultivating highly adaptable cultivars can substantially reduce the risks of yield losses caused by unfavorable conditions during the growing season.

General adaptability (GA) characterizes the mean value of a trait across different environments. Higher GA effects were detected in 'KhAD 650' (0.73), 'Zlatoust' (0.65), and 'Tymofii' (0.39) (Table 3).

Таблиця 3. Адаптивність та селекційна цінність сортів тритикале озимого, 2023–2025 рр.
Table 3. Adaptability and breeding value of the winter triticale cultivars, 2023–2025.

Сорт / Cultivar	Урожайність, т/га / Yield, t/ha	Адаптивна здатність / Adaptability		Відносна стабільність, Sgi, % / Sgi, %	Коефіцієнт регресії, bi	Селекційна цінність генотипу (СЦГ) / BVG
	min-max	загальна (ЗАЗ) / GA	специфічна (САЗ) / SA			
ХАД 45 / KhAD 45	3.18 – 4.86	-0.85	0.47	11.14	0.34	3.81
Ратне / Ratne	3.74 – 7.26	-0.14	3.43	69.81	0.79	2.00
Букет / Buket	3.18 – 7.42	-0.01	4.83	95.74	0.97	0.94
Леонтій / Leontii	3.30 – 6.77	-0.24	3.79	78.51	0.94	1.60
Раритет / Rarytet	3.32 – 7.16	0.01	5.43	106.98	1.27	0.46
ХАД 650 / KhAD 650	3.63 – 7.50	0.73	4.26	73.64	1.00	2.16
Адам / Adam	3.00 – 7.10	-0.15	6.05	123.13	1.34	-0.23
Олександр / Oleksandr	3.16 – 6.96	-0.39	4.24	90.89	0.96	1.06
Єлань / Yelan	3.46 – 7.54	0.18	4.90	93.51	1.19	1.07
Златоуст / Zlatoust	3.47 – 8.46	0.65	6.30	110.45	1.47	2.35
Трифон / Tryfon	3.34 – 6.44	-0.18	2.98	61.10	0.66	2.34
Тимофій / Tymofii	3.72 – 7.20	0.39	4.58	84.10	1.09	1.55

Вказані сорти мали вищу врожайність в середньому у досліді. Вони мають високий потенціал урожайності, добрий відгук на внесення азотних добрив та сприятливі погодні умови. При цьому, наведені сорти мали середні та високі показники специфічної адаптивної здатності, що свідчить про нестабільний прояв високої врожайності в різних варіантах досліді. За показником відносної стабільності генотипу кращими були сорти ХАД 650 (73,64 %) та Тимофій (84,10 %). Більш стабільними за формуванням урожайності в різних умовах вирощування та азотного живлення за показником САЗ були сорти ХАД 45 (0,47), Трифон (2,98), Ратне (3,43) та Леонтій (3,79). Стабільність цих сортів підтверджується також і нижчими значеннями показника відносної стабільності генотипу, який характеризує здатність генотипу в результаті регуляторних механізмів підтримувати певний фенотип в різних умовах середовища.

Коефіцієнт лінійної регресії (bi) вказує на реакцію сортів на зміну умов вирощування, тобто характеризує екологічну пластичність генотипів. Чим вище значення коефіцієнту ($bi > 1$), тим більшим відгуком на покращення умов характеризується даний сорт. Такі сорти

The aforementioned cultivars gave the highest mean yields in the experiments. They possess high yield potentials and respond well to nitrogen fertilization and favorable weather. At the same time, these cultivars showed medium to high SA values, indicating their high yields were unstable across different experiments. According to the genotype's relative stability, the best cultivars were 'KhAD 650' (73.64%) and 'Tymofii' (84.10%). Based on SA, 'KhAD 45' (0.47), 'Tryfon' (2.98), 'Ratne' (3.43), and 'Leontii' (3.79) were more stable cultivars in terms of yield across different growing conditions and nitrogen fertilization levels. The stability of these cultivars is also confirmed by lower values of relative stability, which characterizes the ability of a genotype to maintain a certain phenotype in different environments through regulatory mechanisms.

The linear regression coefficient (bi) measures the cultivars' responses to changes in growing conditions, thereby characterizing the environmental plasticity of genotypes. The higher the coefficient is ($bi > 1$), the stronger the response to improved conditions is. Such cultivars are demanding regarding

вибагливі до умов середовища, тільки за наявності таких умов вони максимально реалізують свій потенціал. У випадку ($b_i < 1$) сорт реагує слабше на зміну умов, ніж в середньому весь набір досліджуваних генотипів. Такі сорти краще використовувати на екстенсивному фоні, де вони забезпечать максимум віддачі при мінімумі витрат. Якщо $b_i = 1$ відбувається повна відповідність зміни урожайності сорту до зміни умов середовища. Найбільш пластичними були сорти Златоуст (1,47), Адам (1,34) та Раритет (1,27). Ці сорти мають високий потенціал урожайності та здатні максимально реалізовувати його у сприятливих умовах. Доцільним є вирощування цих сортів в умовах інтенсивного землеробства та більш стабільних за агрокліматичними умовами зонах.

Селекційна цінність генотипу (СЦГ) характеризує поєднання стабільності, пластичності та врожайності генотипу. Висока СЦГ свідчить про відносно високі рівні параметрів адаптивності та оптимальне їх поєднання з підвищеною урожайністю. Найвищий рівень СЦГ серед досліджуваних сортів мав ХАД 45 (3,81). Хоча цей сорт проявляв середній рівень урожайності, від був максимально стабільним за роками досліджень та за різних доз внесення азоту. Тому сорт ХАД 45 економічно доцільно вирощувати у несприятливих умовах та низькому агрофоні, наприклад, у зонах, непридатних для вирощування пшениці. Високу СЦГ також мав сорт Златоуст (2,35), що зумовлено високою ЗАЗ, пластичністю та потенціалом урожайності. Сорт Трифон виявив високу СЦГ (2,34), яка зумовлена підвищеною середньою врожайністю за різних умов вирощування та високою її стабільністю. Також за підвищеним показником СЦГ виділено сорт ХАД 650 (2,16), що зумовлюється найвищим у досліді показником ЗАЗ та відносною стабільністю генотипу. Ці сорти мають високий потенціал урожайності, який виявляють за сприятливих умов і мають здатність протистояти несприятливим умовам року.

Висновки.

Визначено рівень урожайності зерна, її стабільність та адаптивність 12 сортів тритикале озимого за різних умов навколишнього середовища та доз азотного живлення.

За результатами дисперсійного аналізу встановлено, що на мінливість урожайності мали істотний вплив усі досліджувані фактори:

environmental conditions; they fully realize their potential only under favorable conditions. In the case of $b_i < 1$, the cultivar responds more weakly to changing conditions than the average of the entire sample of studied genotypes. It is better to grow such cultivars by extensive technologies, where they will provide maximum return with minimum costs. If $b_i = 1$, the change in the cultivar's yield fully corresponds to the change in environmental conditions. The most plastic cultivars were 'Zlatoust' (1.47), 'Adam' (1.34), and 'Rarytet' (1.27). These cultivars have high yield potentials and are capable of maximizing it under favorable conditions. It is advisable to grow these cultivars using intensive farming techniques and in zones with more stable agro-climatic conditions.

The breeding value of the genotype (BVG) characterizes the combination of stability, plasticity, and yield of a genotype. A high BVG indicates relatively high adaptability and its optimal combination with increased yield. The highest BVG among the studied cultivars was recorded for 'KhAD 45' (3.81). Although this cultivar gave a medium level, it was maximally stable across the study years and different nitrogen doses. Therefore, it is economically viable to grow 'KhAD 45' under unfavorable conditions, using low-input agronomic measures—for example, in zones unsuitable for wheat cultivation. 'Zlatoust' also showed a high BVG (2.35) due to its high GA, plasticity, and yield potential. 'Tryfon' exhibited a high BVG (2.34), resulting from a consistently increased mean yield under various growing conditions. Additionally, 'KhAD 650' stood out because of its increased BVG (2.16), which is driven by the highest GA in the experiments and the relative stability. These cultivars have high yield potentials, which they realize under favorable conditions, while also possessing the ability to withstand adverse conditions.

Conclusions.

The grain yields, stability, and adaptability of 12 winter triticale cultivars were determined under varying environmental conditions and nitrogen fertilizer doses.

According to the ANOVA results, all studied factors — genotype, environment, nitrogen fertilization, and their interactions —

генотип, умови навколишнього середовища, доза азоту, а також взаємодія цих факторів. Найбільший вплив мали умови середовища (63 %) та генотип (11 %), взаємодія генотип/середовище та взаємодія усіх трьох факторів (8 %).

Сорти ХАД 650, Златоуст та Тимофій мають високу загальну адаптивну здатність. Вони формували вищу врожайність у середньому у досліді (відповідно 5,79 т/га, 5,71 т/га та 5,45 т/га). Найбільш стабільними за формуванням урожайності в різних умовах вирощування та азотного живлення за варіансою специфічної адаптивної здатності та відносною стабільністю генотипу були сорти ХАД 45, Трифон, Ратне та Леонтій. Найбільш пластичними за показником коефіцієнту регресії були сорти Златоуст, Адам та Раритет. Ці сорти мають високий потенціал урожайності та здатні максимально реалізовувати його у сприятливих умовах. За поєднанням стабільності, пластичності та врожайності найвищі показники селекційної цінності генотипу мали сорти ХАД 45, Златоуст, Трифон та ХАД 650. Ці сорти мають високий потенціал урожайності, який проявляють за сприятливих умов і мають здатність протистояти несприятливим умовам року, тому здатні забезпечувати високу стабільність формування врожаю за різних умов вирощування.

Заява про доступність даних: Дані включені безпосередньо в статтю.

Використання штучного інтелекту (ШІ): При підготовці і написанні статті штучний інтелект не використовувався.

Конфлікт інтересів: Автор заявляє про відсутність конфлікту інтересів.

Фінансування: Робота виконувалася в рамках завдання 13.00.04.01.Ф «Дослідження основи біохімічного та молекулярно-генетичного поліморфізму тритикале при створенні сортів різного типу розвитку з високими адаптивними, урожайними, хлібопекарськими і кормовими властивостями».

significantly influenced yield variability. The most substantial contributions were made by environment (63%) and genotype (11%), followed by genotype-environment interaction and the interaction of all three factors (8% each).

'KhAD 650', 'Zlatoust', and 'Tymofii' exhibited high general adaptability. They produced the highest mean yields across the experiments (5.79 t/ha, 5.71 t/ha, and 5.45 t/ha, respectively). Based on the SA variance and the relative stability, the most stable cultivars in terms of yielding across different environments and various nitrogen doses were 'KhAD 45', 'Tryfon', 'Ratne', and 'Leontii'. According to the regression coefficient, 'Zlatoust', 'Adam', and 'Rarytet' were identified as the most plastic cultivars. These cultivars possess high yield potentials and the ability to maximize it under favorable conditions. Considering the combination of stability, plasticity, and yield, the highest BVG was recorded for 'KhAD 45', 'Zlatoust', 'Tryfon', and 'KhAD 650'. These cultivars are noticeable for high yield potentials, which they maximize under favorable conditions, and the ability to withstand adverse environmental factors, ensuring high yield stability across diverse growing systems.

Data Availability Statement: Data included directly in the article.

Use of Artificial Intelligence (AI): Artificial intelligence was not used in the preparation and writing of this article.

Conflict of Interest: Author declare state that no conflicts exist.

Funding: The work was carried out within the framework of task 13.00.04.01.F "Research into the basis of biochemical and molecular genetic polymorphism of triticale in the creation of varieties of different types of development with high adaptive, yield, baking and fodder properties".

References

- Bazalii, V. V. (2007). Assessment of cultivars' adaptability by GA-SA-RSG. *Visnyk Ahrarnoi Nauky*, 7, 49–52. [in Ukrainian]
- Bereziuk, S. V., & Zubar, I. V. (2019). Current economic and environmental aspects of fertilizer application in crop production. *Ekonomika APK*, (10), 34–43. <https://doi.org/10.32317/2221-1055.201910034> [in Ukrainian]
- Bilitiuk, A. P., Novytska, N. V., & Maksymiuk, V. P. (2012). Winter triticale yield and grain quality depending on fertilization in the Western Polissia. *Visnyk Poltavskoi Derzhavnoi Ahrarnoi Akademii*, (3), 24–27. [in Ukrainian]

- Derejko, A., Studnicki, M., Wójcik-Gront, E., & Gacek, E. (2020). Adaptive grain yield patterns of triticale (*× Triticosecale* Wittmack) cultivars in six regions of Poland. *Agronomy*, 10(3), Article 415. <https://doi.org/10.3390/agronomy10030415>
- Drobitko, A. V., & Kachanova, T. V. (2023). Improvement of the elements of resource-saving technology of triticale cultivation for use as grain fodder and green fodder under unstable wetting in the Southern Steppe of Ukraine. In *Food security of Ukraine in the context of war and post-war reconstruction: Global and national dimensions: Proceedings of the international scientific and practical conference* (pp. 51–54). Mykolaiv: MNAU. [in Ukrainian]
- Korniichuk, O. V., & Melnychuk, V. Yu. (2023). Influence of mineral fertilizers and technological factors on the growth and yield of winter triticale varieties. *Kormy i Kormovyrobnytstvo*, 95, 117–127. <https://doi.org/10.31073/kormovyrobnytstvo202395-10> [in Ukrainian]
- Kostenko, O. I., Voloshyn, V. M., Shapoval, A. V., Lutak, I. A., Mazur, V. O., Bespala, N. O., & Topchii, Yu. V. (2012). *Scientific and practical guidelines on the technology of growing winter rye and triticale seeds with biologization elements in the Forest-Steppe of Ukraine*. TOV «TVORY». [in Ukrainian]
- Kyrychenko, V. V., Shchypak, H. V., Kobyzieva, L. N., & Sviatchenko, S. I. (2022). Modern breeding of high-yielding triticale varieties with improved grain quality. *Visnyk Ahrarnoi Nauky*, 3(828), 52–61. <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202203-07> [in Ukrainian]
- Lalević, D., Miladinović, B., Biberdžić, M., Vuković, A., & Milenković, L. (2022). Differences in grain yield and grain quality traits of winter triticale depending on the variety, fertilizer and weather conditions. *Applied Ecology and Environmental Research*, 20(5), 3779–3792. https://doi.org/10.15666/aeer/2005_37793792
- Liubych, V. V., & Ostapchuk, V. V. (2025). Winter triticale performance at different doses of nitrogen fertilizers, foliar feeding, and sonication. *Zbirnyk Naukovykh Prats Umanskoho Natsionalnoho Universytetu Sadivnytstva*, 106(1), 10–18. <https://doi.org/10.32782/2415-8240-2025-106-1-10-18> [in Ukrainian]
- Muhova, A., & Kirchev, H. (2020). Agronomic performance of triticale varieties (*× Triticosecale* Wittm.) grown under fertilization with organic manure from red Californian worms (*Lumbricus rubellus*). *Scientific Papers. Series A. Agronomy*, 53(1), 428–436.
- Neykov, N. (2024). Evaluation of the stability and adaptability of yield in triticale varieties using non-parametric methods. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 30(2), 301–304.
- Ostapchuk, V. V., & Liubych, V. V. (2025). Winter triticale yield depending on nitrogen fertilization in the Right-Bank Forest-Steppe. *Tavriyskyi Naukovyi Visnyk*, 143(2), 21–25. <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2025.143.2.3> [in Ukrainian]
- Riabchun, V. K., Kapustina, T. B., & Melnyk, V. S. (2012). Methods of creating source material for spring triticale adapted to unfavorable growing conditions. *Selektsiia i Nasinnytstvo*, 102, 41–50. <https://doi.org/10.30835/2413-7510.2012.59819> [in Ukrainian]
- Riabchun, V. K., Melnyk, V. S., Kapustina, T. B., Chernobai, S. V., & Shchechenko, O. Ye. (2017). Adaptive features of spring triticale varieties in the Eastern Forest-Steppe of Ukraine. *Ahrobiolohiia*, 1, 56–60. [in Ukrainian]
- Rozhkov, A. O., Puzik, V. K., Kalenska, S. M., Puzik, L. M., Popov, S. I., Muzafarov, N. M., Bukhalo, V. Ya., & Kryshchuk, Ye. A. (2016). *Experimentation in agronomy: Guidebook* (Book 2: Statistical processing of data in agronomic research). Maidan. [in Ukrainian]
- Shchypak, H. V. (2021). *Theoretical foundations of selection of hexaploid triticale for adaptability, productivity and quality* (Extended abstract of Doctoral dissertation). Yuriy Institute of Plant Production NAAS. [in Ukrainian]
- Tariku, S. D., Selamawit, M. T., & Melese, L. T. (2024). Stability and adaptability of triticale (*Triticosecale* Wittm. ex *A. Camus*) varieties across environmental conditions in the highlands of Southern Ethiopia. *International Journal of Agronomy*, 2024, Article 9948844. <https://doi.org/10.1155/2024/9948844>
- Vashchenko, V. V., Viniukov, O. O., & Bondareva, O. B. (2025). An improved method of winter bread wheat breeding under insufficient wetting. In *Global perspectives on multidisciplinary research: Theory and practice: Proceedings of the II international scientific and theoretical conference* (pp. 59–64). <https://doi.org/10.36074/scientia-24.10.2025> [in Ukrainian]
- Voloshchuk, S. I., & Kharchenko, M. V. (2017). Environmental assessment of promising winter triticale lines. *Myronivskyi Visnyk*, 5, 126–151. <https://doi.org/10.31073/mvis201705-11> [in Ukrainian]
- Wolski, T., & Tymieniecka, E. (1983). The first Polish triticale variety. *Cereal Research Communications*, 11(2), 139–141. <http://www.jstor.org/stable/23781480>
- Yakymchuk, R. A., Shchipak, G. V., Shchipak, V. G., Matviets, V. G., Matviets, N. M., & Woś, H. (2022). Breeding triticale with high productivity and improved grain quality. *Science and Innovation*, 18(6), 113–126. <https://doi.org/10.15407/scine18.06.113> [in Ukrainian]

УДК 633.11:631.52:631.527:575.113:631.53

В.В. Москалець^{1*}, Т.З. Москалець¹, В.І. Москалець², Н.М. Буняк², Ю.М. Барат³
**Селекційна та генетична характеристика сорту пшениці м'якої
Володарка Носівщини**

¹Інститут садівництва НААН України, м. Київ, Україна

²Носівська селекційно-дослідна станція Миронівського інститут пшениці імені В.М. Ремесла НААН України, с. Дослідна, Чернігівська обл., Україна

³Полтавський державний аграрний університет, м. Полтава, Україна

*E-mail: moskalets7819@ukr.net

UDC 633.11:631.52:631.527:575.113:631.53

V.V. Moskalets^{1*}, T.Z. Moskalets¹, V.I. Moskalets², N.M. Bunyak², Yu.M. Barat³
**Breeding and Genetic Characterization of the Common Wheat Cultivar
'Volodarka Nosivshchyny'**

¹ Institute of Horticulture of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

² Nosivka Breeding and Research Station of the V.M. Remeslo Myronivka Institute of Wheat of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine, Doslidne, Chernihivska Oblast, Ukraine

³ Poltava State Agrarian University, Poltava, Ukraine

*E-mail: moskalets7819@ukr.net

Реферат: Наведено комплексну селекційно-генетичну характеристику сорту озимої пшениці Володарка Носівщини (Носівська СДС НААН України). Встановлено, що сорт належить до адаптивного типу універсального призначення, поєднуючи раціональну архітектуру рослин (міцність соломини, вкорочене підколосове міжвузля, напівверектоїдний габітус прапорцевого листка, виражена остистість колоса) та фотоперіодичну пластичність. За результатами трирічних досліджень (2022–2025 рр.) урожайність сорту становила 5,65–9,10 т/га, що на 8–10 % перевищує показники високоінтенсивних сортів порівняння, зокрема в умовах дефіциту вологи. За комплексом технологічних параметрів зерна (натура 790 г/л, білок до 14–16 %, клейковина 22–27 %, сила борошна 138–178 о.а.) генотип ідентифіковано як цінну продовольчу пшеницю (II група якості, за технологічною класифікацією — сильний філер). У порівнянні з еталонними сортами (Смуглянка, Безоста 1, Трізо), Володарка Носівщини демонструє поєднання високої продуктивності, адаптивності та стабільної якості зерна, що визначає її цінність для національної продовольчої безпеки та інтеграції у міжнародні селекційні платформи.

Ключові слова: *Triticum aestivum* L., сорт, Володарка Носівщини, морфологічно-фізіологічні характеристики, врожайність і якість зерна, стійкість проти несприятливих біотичних і абіотичних чинників.

Abstract: The article provides a comprehensive breeding and genetic characterization of the winter common wheat cultivar 'Volodarka Nosivshchyny' (Nosivska Breeding and Research Station of the V.M. Remeslo Myronivka Institute of Wheat of NAAS of Ukraine). It was established that this cultivar belongs to an adaptive, universal-purpose type, combining rational plant architecture (culm strength, shortened peduncle, semi-erect flag leaf, and pronounced spike awnedness) with photoperiodic plasticity. A three-year study (2022–2025) showed that the grain yield of the cultivar ranged from 5.65 to 9.10 t/ha, which is 8–10% higher than that of high-intensity check cultivars, particularly under moisture deficit. According to the set of technological grain parameters (the test weight is 790 g/L; the protein content is 14–16%; the gluten content is 22–27%; and the flour strength is 138–178), the genotype was identified as valuable bread wheat (Quality Group II; according to technological classification — a 'strong filler'). Compared to reference cultivars ('Smuhlianka', 'Bezosta 1', 'Trizo'), 'Volodarka Nosivshchyny' demonstrates a

ARTICLE HISTORY. Received: March 02, 2026; revised: March 22, 2026; accepted: April 24, 2026.

CITATION. Moskalets, V. V., Moskalets, T. Z., Moskalets, V. I., Bunyak, N. M., & Barat, Yu. M. (2026). Breeding and genetic characterization of the common wheat cultivar 'Volodarka Nosivshchyny'. *Plant Breeding and Seed Production*, (129), 34–54. <https://doi.org/10.30835/2413-7510.2026.129.03>

© Moskalets V. V., Moskalets T. Z., Moskalets V. I., Bunyak N. M., Barat Yu. M., 2026

combination of high productivity, adaptability, and stable grain quality, which determines its value for national food security and integration into international breeding platforms.

Key words: *Triticum aestivum* L., cultivar, 'Volodarka Nosivshchyn', morpho-physiological traits, grain yield and quality, resistance to adverse biotic and abiotic factors.

Вступ

У ХХІ ст. пшениця м'яка озима (*Triticum aestivum* L.) залишається ключовою продовольчою культурою, що забезпечує понад 20% калорій, споживаних людством. Її виробництво дедалі більше залежить від здатності сортів адаптуватися до нових викликів: кліматичної турбулентності, деградації ґрунтів, нестабільності агрофонів, енергетичних криз та геополітичної напруги. Для України, яка перебуває в умовах повномасштабної війни, питання продовольчої безпеки набуває критичного значення, а сортовий ресурс стає стратегічним інструментом стабільності.

Останніми роками у світі розвивається інтегративна селекція, що поєднує класичні підходи з молекулярними інструментами. Так, Lama et al. (2023) показали, що підвищення температури під час репродуктивної фази та водний дефіцит на етапі проростання є основними чинниками зниження врожайності пшениці. Waites et al. (2025) підкреслили роль технологій редагування геному (CRISPR/Cas9) у створенні кліматично стійких сортів. Abiola et al. (2024) наголосили на важливості генетичної стабільності білкового спектра. Водночас *Nature Climate Change* (2024) зазначає, що традиційні селекційні стратегії не встигають за темпами кліматичних змін, і тому потрібні інноваційні моделі сортотворення (<https://www.nature.com/articles/d41586-025-02321-3>).

В Україні формування адаптивних сортів є предметом активних досліджень у провідних установах НААН та аграрних університетах (Holodna, Holyk, 2022; Tyshchenko et al., 2023; Demydov et al., 2024; Khoroshun, Nazarenko, 2024). Ці роботи підтверджують актуальність створення сортів з високою екологічною пластичністю, стабільною врожайністю та оптимізованими біохімічними показниками.

У цьому контексті особливу увагу привертають генотипи цінної продовольчої пшениці (філерний тип) – ті, які не лише демонструють стабільність у виробництві, а й слугують платформою для створення нових адаптивних форм. Їхня цінність полягає у поєднанні оптимальної морфологічної архітекτονіки, фотоперіодичної пластичності,

Introduction

In the 21st century, common winter wheat (*Triticum aestivum* L.) remains a pivotal food crop, providing over 20% of the calories consumed by humanity. Its production increasingly depends on the ability of cultivars to adapt to new challenges: climate turbulence, soil degradation, variable farming practices, energy crises, and geopolitical tensions. For Ukraine, amid a full-scale war, food security issues have become critical, and cultivar resources have turned into a strategic tool for stability.

In recent years, integrative breeding has been developing globally, combining classical approaches with molecular tools. For instance, Lama et al. (2023) demonstrated that temperature increases during the reproductive phase and water deficit during germination are the main factors reducing wheat yields. Waites et al. (2025) highlighted the role of genome editing technologies (CRISPR/Cas9) in developing climate-resilient cultivars. Abiola et al. (2024) emphasized the importance of the genetic stability of protein composition. Meanwhile, *Nature Climate Change* (2024) notes that traditional breeding strategies are failing to keep pace with climate change, necessitating innovative cultivar-creation models (<https://www.nature.com/articles/d41586-025-02321-3>).

In Ukraine, the development of adaptable cultivars is a subject of extensive research at leading NAAS institutions and agricultural universities (Holodna & Holyk, 2022; Tyshchenko et al., 2023; Demydov et al., 2024; Khoroshun & Nazarenko, 2024). These studies confirm the relevance of creating cultivars with high environmental plasticity, stable yields, and optimized biochemical parameters.

In this context, genotypes of valuable food-grade wheat (filler type) attract particular attention — those that not only demonstrate production stability but also serve as a platform for developing new adaptable forms. Their

стабільності білкового профілю та стресостійкості, що дозволяє формувати селекційно придатні рішення для майбутніх поколінь сортів.

Метою дослідження є комплексна селекційна і генетична характеристика сорту озимої пшениці Володарка Носівщини як філерного типу стратегічного призначення, що покликана заповнити прогалину у сучасних дослідженнях адаптивності та інноваційного сортотворення в умовах кліматичних змін.

Для досягнення поставленої мети у роботі вирішували такі завдання:

- визначити рівень морфологічної структури, фотоперіодичної пластичності, стабільності білкового профілю та стресостійкості сорту;
- порівняти з існуючими сортами, що культивуються в Україні, для визначення стратегічної ролі сорту Володарка Володарки Носівщини у формуванні сортів майбутнього покоління.

Методика

Дослідження здійснювали на стаціонарах Носівської селекційно-дослідної станції Миронівського інституту пшениці ім. В. М. Ремесла НААН України у 1998–2012 рр. та в 2020–2025 рр. Дослідне поле розташоване в межах екотону Дніпровської низовини, який перебуває під впливом двох фізико-географічних зон – Полісся та Лісостепу. Південна частина належить до Лісостепу, північна – до Полісся. Природна межа проходить лінією населених пунктів Кобища – Носівка – Ніжин.

Ґрунти дослідної ділянки – чорноземи вилугувані малогумусні легкосуглинкові. Вони характеризуються такими показниками: pH 5,0–5,5; гідролітична кислотність – 4,3 мг-екв/100 г ґрунту; вміст гумусу – близько 2,5%; азот, що легко гідролізується – 119 мг/кг; нітратний та амонійний азот – 14 та 26 мг/кг відповідно; P_2O_5 – 109 мг/кг; K_2O – 75,5 мг/кг; сума поглинутих основ – 11,2 мг-екв/100 г ґрунту; ступінь насиченості основами – 72,4%.

Клімат перехідної Полісько-Лісостепової агроecологічної зони помірно континентальний, теплий, із достатнім рівнем зволоження. Середньорічна кількість опадів становить близько 575 мм, тривалість

value lies in combinations of optimal morphological architecture, photoperiodic plasticity, protein profile stability, and stress resistance, which allows for breeding-suitable solutions for future generations of cultivars.

The purpose of this study was to provide a comprehensive breeding and genetic characteristics of the winter wheat cultivar 'Volodarka Nosivshchyny' as a strategic filler wheat intended to fill the gap in current research on adaptability and innovative cultivar development under climate change.

To achieve this goal, the following objectives were addressed:

- To describe the morphological structure, photoperiodic plasticity, protein profile stability, and stress resistance of the cultivar;
- To compare it with existing cultivars grown in Ukraine and to determine the strategic role of 'Volodarka Nosivshchyny' in shaping next-generation cultivars.

Methods

The study was conducted at the long-term experimental sites of Nosivka Breeding and Research Station of the V.M. Remeslo Myronivka Institute of Wheat of NAAS of Ukraine (NBRS RMIW NAAS) in 1998–2012 and 2020–2025. The experimental field is located within the ecotone of the Dnieper Lowland, which is influenced by two physiographic zones: the Polissia (mixed forests) and the Forest-Steppe. The southern part is the forest-steppe, and the northern part is mixed forests. The natural boundary runs along the line of the following settlements: Kobyshecha – Nosivka – Nizhyn.

The soils of the experimental plot are leached, low-humus, light-loamy chernozems. They are characterized by the following parameters: pH 5.0–5.5; hydrolytic acidity — 4.3 meq/100 g of soil; humus content — approximately 2.5%; easily hydrolyzable nitrogen — 119 mg/kg; nitrate and ammonium nitrogen — 14 and 26 mg/kg, respectively; P_2O_5 — 109 mg/kg; K_2O — 75.5 mg/kg; total exchangeable bases — 11.2 meq/100 g of soil; and base saturation degree — 72.4%.

The climate of the transitional mixed forests-forest-steppe agroecological zone is temperate continental, warm, with sufficient wetting. The average annual precipitation is about 575 mm, the frost-free period lasts 200–205 days, and the hydrothermal coefficient is 1.5–1.6.

безморозного періоду – 200–205 діб, гідротермічний коефіцієнт – 1,5–1,6.

Для порівняльної оцінки нового сорту Володарка Носівщини у 2018–2025 рр. були залучені контрольні сорти озимої пшениці, які мають подібні морфологічні та технологічні характеристики. До групи вітчизняних належали Смуглянка (оригінатори – Миронівський інститут пшениці ім. В.М. Ремесла НААН та Інститут фізіології рослин і генетики НАН України) та Куяльник (Селекцентр Одеса). Для міжнародного порівняння використовували сорти Дворянка, Трізо та Безоста. Їх залучення дозволило об'єктивно оцінити селекційний потенціал нового сорту в умовах перехідної екотонної зони Полісся та Лісостепу (табл. 1).

To comparatively assess the new cultivar 'Volodarka Nosivshchyny' in 2018–2025, winter wheat check cultivars with similar morphological and technological characteristics were included in the study. Ukrainian cultivars included 'Smuhlianka' (originators — V.M. Remeslo Myronivka Institute of Wheat of NAAS and the Institute of Plant Physiology and Genetics of NAS of Ukraine (IPPG NAS)) and 'Kuialnyk' (Plant Breeding & Genetics Institute – National Centre of Seed & Cultivar Investigation (PBGi-NCSCI)). For international comparison, the cultivars 'Dvoryanka', 'Trizo', and 'Bezosta' were used. Their inclusion allowed for an objective evaluation of the breeding potential of the new cultivar in the mixed forest-forest-steppe ecotone (Table 1).

Таблиця 1. Середні показники продуктивності та якості зерна сортів озимої пшениці (2018–2025 рр.) у перехідній підзоні Лісостеп–Полісся

Table 1. Mean yield and grain quality indicators of the winter wheat cultivars (2018–2025) in the transitional forest-steppe–mixed forest subzone.

Сорт / Cultivar	Оригінатор, країна / Originator, country	Висота рослин, см / Plant height, cm	Урожайність зерна, т/га / Grain yield, t/ha	Вміст білка, % / Protein content, %	Вміст клейковини, % / Gluten content, %	Стійкість до іржі (бал) / Rust resistance score, points	Стійкість до септоріозу (бал) / Leaf blotch resistance score, points
Смуглянка / Smuhlianka	МІП НААН + ІФРГ НАН, Україна / RMIW NAAS + IPPG NAS, Ukraine	102.5	6.7	14.2	28.0	8	7
Володарка Носівщини / Volodarka Nosivshchyny	Носівська СДС НААН, Україна / NBRIS RMIW NAAS, Ukraine	82.7	6.4	13.5	27.5	9	8
Куяльник / Kuialnyk	СГІ-НЦНС / PBGI-NCSCI, Ukraine	88.5	6.2	13.8	27.2	7	6
Дворянка / Dvoryanka	Міжнародна селекція / International breeding	97.3	6.1	13.5	23.8	7	8
Трізо / Trizo	KWS, Німеччина / KWS, Germany	92.5	5.7	14.7	24.6	8	7
Безоста / Bezosta	Міжнародна селекція / International breeding	96.6	5.9	12.9	26.5	6	5
HIP _{0.05} / LSD _{0.05}		2.5	0.28	0.22	0.25		

Протягом 1999–2025 рр. відзначалися різні гідротермічні показники. Упродовж 1999, 2003, 2008, 2011 та 2013–2014 років спостерігалися аномальні погодні умови, що суттєво відрізнялися від середньобагаторічних показників. Осінні посухи та нестабільна вологість призводили до

Different hydrothermal indicators were recorded in 1999–2025. Throughout 1999, 2003, 2008, 2011, and 2013–2014, anomalous weather conditions occurred, which significantly deviated from the long-term averages. Autumn droughts and unstable wetting led to sparse

зріджених сходів, слабкого кущення та зниження густоти посівів. Стан рослин пшениці озимої протягом вищезазначених років оцінювався на рівні 4–5 балів, що відповідає середньому або нижчому від середнього рівню розвитку (табл. 2).

seedlings, weak tillering, and reduced crop density. During these years, the condition of winter wheat plants was rated at 4–5 points, corresponding to a medium or even worse level of development (Table 2).

Таблиця 2. Погодні аномалії та біологічні реакції пшениці озимої сорту Володарка Носівщини, 1999–2025 рр.
Table 2. Weather anomalies and biological responses of the winter wheat cultivar 'Volodarka Nosivshchyny' (1999–2025)

Рік / Year	Кліматичні особливості / Weather Anomalies	Біологічний вплив на посіви пшениці озимої / Biological Impact on Winter Wheat Crops	Стан рослин сорту Володарка Носівщини (шкала 1–9) / Condition of 'Volodarka Nosivshchyny' Plants (1–9 scale)
1999	Аномальні гідротермічні умови / Anomalous hydrothermal conditions	Нерівномірна поява сходів, редукція продуктивності / Uneven seedling emergence, reduction in productivity	5
2003	Гідротермічна нестабільність, дефіцит вологи / Hydrothermal instability, moisture deficit	Ослаблене кущення, зниження щільності стеблостою / Weakened tillering, reduced culm density	5
2008	Атмосферна та ґрунтова посуха в жовтні (6–15 мм) / Atmospheric and soil droughts in October (6–15 mm)	Ускладнена поява сходів, зріженість агроценозу / Impeded seedling emergence, thinned agrocenosis	4
2011	Осіньне підвищення температури на 3–5 °C, суховії / Autumn temperature increase by 3–5 °C, hot dry winds	Зниження ґрунтової вологозабезпеченості, проблеми із сівбою / Reduction in soil water availability, sowing challenges	4
2013–2014	Осіньні посухи (6–24 мм опадів) / Autumn droughts (6–24 mm of precipitation)	Недостатнє кущення, редукція густоти посівів / Insufficient tillering, reduction in crop density	4–5
2018/2019	Тривала зима (110 діб), надлишок опадів / Prolonged winter (110 days), excess precipitation	Сприятлива перезимівля, високий рівень збереження рослин / Favorable overwintering, high plant survival rate	8
2019/2020	Коротка зима (100 діб) / Short winter (100 days)	Перезимівля без істотних втрат / Overwintering without significant losses	7
2020/2021	Тривала зима (134 доби) / Prolonged winter (134 days)	Затримка весняної вегетації / Delay in spring regrowth	6
2021/2022	Середня тривалість зими (112 діб) / Medium winter duration (112 days)	Нормальна перезимівля / Normal overwintering	7
2022/2023	Сприятливі зимові умови / Favorable winter conditions	Добрий стан посівів навіть при пізніх строках сівби / Good crop condition even after late sowing	8
2023	Волога весна, сухе літо, посушлива осінь / Wet spring, dry summer, arid autumn	Дружні сходи, але слабе кущення / Uniform emergence, but weak tillering	6
2024	Тепла й волога весна, спекотне літо / Warm and wet spring, hot summer	Рівномірні сходи, інтенсивний розвиток / Uniform emergence, vigorous development	7–8
2025	Весняна атмосферна посуха, літні суховії / Spring atmospheric drought, summer hot dry winds	Часткове пошкодження площ, середній рівень урожайності / Partial crop damage, medium yield	6

У 2018/2019 та 2022/2023 роках погодні умови були сприятливими: надлишок опадів і оптимальна тривалість зимового періоду забезпечили добру перезимівлю. Рослини мали високий рівень розвитку, що оцінювався у 8 балів. Це були роки з найкращими умовами для формування продуктивності та урожайності.

У 2019–2022 роках умови були контрастними. Тривалість зимового періоду варіювала від 100 до 134 діб, що по-різному впливало на весняний розвиток рослин. У роки з короткою зимою відновлення вегетації відбувалося швидше, тоді як тривала зима затримувала ріст і розвиток. Стан посівів оцінювався на рівні 6–7 балів, що відповідає задовільному рівню, але не оптимальному.

Весна 2023 року була прохолодною з надмірним зволоженням у квітні–травні, що забезпечило рівномірне відновлення весняної вегетації після перезимівлі. Літо характеризувалося дефіцитом опадів, а осінь – сухістю, що ускладнило сівбу нового сорту. Упродовж зими 2023/2024 рр. спостерігався м'який температурний режим, що забезпечив збереження посівів пшениці озимої. Стан рослин оцінювався у 6 балів.

У 2024 році тепла весна та достатня кількість опадів забезпечили рівномірні сходи й добрий розвиток рослин. Літо було спекотним, з періодами посухи у серпні, проте осінь мала оптимальні умови для сівби. Зима 2024/2025 рр. була короткою, але сприятливою для перезимівлі. Стан посівів оцінювався у 7–8 балів.

У 2025 році весна розпочалася з дефіцитом опадів, що затримало активний ріст рослин. У червні–липні спостерігалися високі температури та суховії, які негативно вплинули на формування колоса. Таким чином, стан посівів сорту Володарка Носівщини на початок літа оцінювався як задовільний, хоча частина площ мала ознаки стресу від посухи. Загальна оцінка – 6 балів.

Отже, погодні умови у зоні досліджень мали виражену мінливість: від аномальних посух до сприятливих зимових періодів. Найбільш негативний вплив мали осінні посухи та тривалі бездошові періоди, які знижували густоту сходів і рівень кушення. Найбільш позитивний вплив мали зими з достатнім рівнем опадів, що забезпечували добру перезимівлю та задовільний стан рослин.

Вихідний матеріал пшениці створювали методом внутрішньовидової гібридизації форм пшениці м'якої різного еколого-географічного

In 2018/2019 and 2022/2023, the weather was favorable: excessive precipitation and optimal winter length ensured successful overwintering. The plants exhibited a high level of development, rated at 8 points. These years provided the best conditions for plant performance and grain yield.

In 2019–2022, the conditions were contrasting. The winter period lasted from 100 to 134 days, which differently affected spring plant development. In years with short winters, vegetation resumed earlier, whereas prolonged winters delayed growth and development. The crop condition was rated at 6–7 points, corresponding to a satisfactory but non-optimal level.

The 2023 spring was cool with excessive wetting in April–May, which ensured uniform resumption of spring vegetation after overwintering. There was a precipitation deficit in the summer, and the autumn was dry, which complicated the sowing of the new cultivar. During the 2023/2024 winter, mild temperatures were documented, ensuring the preservation of winter wheat fields. The plant condition was rated at 6 points.

In 2024, a warm spring and sufficient precipitation favored uniform seedling emergence and good plant development. The summer was hot, with droughts in August; however, the autumn conditions were optimal for sowing. The 2024/2025 winter was short but favorable for overwintering. The crop condition was rated at 7–8 points.

In 2025, the spring began with a precipitation deficit, which delayed active plant growth. In June–July, high temperatures and hot dry winds occurred, negatively affecting spike formation. Thus, the condition of the 'Volodarka Nosivshchyny' fields at the beginning of summer was rated as satisfactory, although some areas showed signs of drought stress. The overall rating was 6 points.

Consequently, the weather in the study location was markedly variable: from anomalous droughts to favorable winters. The most negative impact was caused by autumn droughts and prolonged rainless periods, which reduced seedling density and tillering. The most positive impact was recorded during winters with sufficient precipitation, which ensured successful overwintering and a satisfactory plant condition.

The initial wheat material was developed through intraspecific hybridization of common

походження з адаптованими місцевими формами та подальшим індивідуальним добором за цінними господарськими ознаками. Добір елітних рослин проводили за колосом у поколіннях F₂, повторно – у F₃–F₄ та F₆–F₁₂.

Загальна площа дослідної ділянки становила 12 м², облікова – 10 м², виробничі ділянки – понад 2 га; розміщення ділянок – рандомізоване, повторність – шестиразова. Попередниками озимої пшениці були однорічні зернові та зернобобові культури (просо, гречка, горох, соя). Технологія вирощування – загальноприйнята для умов Лісостепу.

Вміст білка в зерні визначали на аналізаторі якості незбираного зерна *Infratec*TM на Носівській селекційно-дослідній станції, хлібопекарські властивості – в Інституті рослинництва ім. В. Я. Юр'єва НААН України.

Математично-статистичну обробку даних виконували за допомогою програм Microsoft Excel 2019 та Statistica 6.0.

Результати та обговорення

У сучасній селекції пшениці м'якої озимої (*Triticum aestivum* L.) особливу увагу приділяють створенню сортів із комплексною адаптивністю, стабільною продуктивністю та гарантованою якістю зерна. В умовах глобальних кліматичних трансформацій, зростання частоти абіотичних стресів і нестабільності агрофонів, ключовими селекційними критеріями стають екологічна пластичність, технологічна надійність та стійкість до посухи, морозу і перегрівання (Reynolds et al., 2022; Zhang et al., 2025). У цьому контексті особливу роль відіграють базові генотипи – сорти, які слугують селекційною платформою для створення нових адаптивних форм, поєднуючи стабільну морфологічну архітектуру з високими біохімічними та генетичними показниками.

Сорт Володарка Носівщини (заявка № 22012049), створений у Носівській селекційно-дослідній станції НААН України, є репрезентативним прикладом перспективного генотипу інтенсивного типу, що має стратегічне значення для оновлення сортових ресурсів України. Його селекційна модель базувалася на індивідуальному доборі з гібридної комбінації [Донська напівкарликова × K-6477/91 (Китай)], що дало змогу інтегрувати адаптивний потенціал південних форм до стресових чинників літнього періоду та генотипову стійкість локального матеріалу до несприятливих умов перезимівлі. Відібрана лінія в F₂ по колосу з однієї рослини

wheat forms of different eco-geographical origins with adapted local forms, followed by individual selection for valuable economic traits. Elite plants were selected by spike in F₂ and repeatedly in F₃–F₄ and F₆–F₁₂.

The total experimental plot area was 12 m²; the harvest area was 10 m²; the production plots were larger than 2 ha. The plot layout was randomized, with six replicates. The preceding crops for winter wheat were annual cereals and grain legumes (millet, buckwheat, pea, soybean). The cultivation technology followed the standard practices for the Forest-Steppe.

The grain protein content was determined on an *Infratec*TM whole grain analyzer at Nosivka Breeding and Research Station; the bread-making properties were analyzed at the Yuriev Plant Production Institute of NAAS of Ukraine. Data were statistically processed in Microsoft Excel 2019 and Statistica 6.0.

Results and Discussion

In modern common winter wheat (*Triticum aestivum* L.) breeding, particular attention is paid to developing cultivars with integrated adaptability, stable productivity, and guaranteed grain quality. Given global climate transformations, the increasing frequency of abiotic stresses, and the instability of agricultural backgrounds, key breeding criteria include environmental plasticity, technological reliability, and resilience to drought, frost, and heat (Reynolds et al., 2022; Zhang et al., 2025). In this context, basic genotypes play a crucial role—they serve as a breeding platform for creating new adaptable forms, combining stable morphology with high biochemical and genetic indicators.

'Volodarka Nosivshchyny' (application No. 22012049), developed at Nosivka Breeding and Research Station of NAAS of Ukraine, is a representative example of a promising intensive genotype, which is of strategic importance for updating Ukraine's varietal resources. Its breeding design was based on individual selection from a hybrid combination ['Donska Napivkarlykova' × 'K-6477/91' (China)], which allowed for the integration of the adaptive potential of southern forms to summer stressors with the genotypic resistance of local material to unfavorable overwintering conditions. The line selected in F₂ by spike from a single plant proved to be constant as early as F₅ and underwent

виявилася константною вже в F_5 і протягом 2–3 років проходила селекційне розмноження. Така схема реалізувала модель стабілізації ознак через ранню гомозиготизацію, що відповідає сучасним підходам до селекції самозапильних культур (Mujeeb-Kazi et al., 2019).

Морфологічна структура сорту відповідає критеріям короткостеблих форм: висота рослин – 79,5–84,5 см, кількість вузлів – 4–5, довжина міжвузлів – від 5 до 21 см. Прапорцевий листок – вертикально орієнтований, довжиною 13,7–25,5 см, площа листової поверхні – 23,5 см². Колос – призматичний, щільний, з компактним розміщенням 54 квіток. Зернівка – крупна, виповнена, не схильна до осипання та проростання в колосі. Онтогенетична архітектоніка сорту – укорочене верхнє міжвузля, потовщене стебло, синхронний розвиток пагонів – формує оптимальну структуру рослини для інтенсивного типу вирощування.

Агрономічну стабільність сорту зумовлюють висока морозо- та жаростійкість, адаптивна фотоперіодична чутливість, подовжений період яровизації, висока резистентність до листової іржі та борошнистої роси (9 балів), а також стійкість до вилягання. За умов інтенсивного агрофону (N90) сорт забезпечує врожайність на рівні 9–11 т/га, формуючи зерно з високою масою 1000 зерен (до 55 г).

За якісними показниками зерна (вміст білка — до 14%, клейковини — 27,5%) «Володарка Носівщини» стабільно відповідає категорії «сильних» пшениць згідно з ДСТУ 3768:2019. За міжнародними стандартами генотип ідентифікується як високоякісна продовольча пшениця (класи E/A за європейською сіткою та Hard Red Winter/Spring за класифікацією USDA), що підтверджує його високу хлібопекарську цінність.

Сорт Володарка Носівщини (заявка №22012049) пройшов державну реєстрацію майнових прав ІВ 08.10.2025 (патент №250219; свідоцтво №250448) з пріоритетом від 28.11.2022.

Аналіз результатів сортовипробування (табл. 1) свідчить, що сорт Володарка Носівщини характеризується оптимальним поєднанням біометричних параметрів та адаптивного потенціалу. Зокрема, генотип демонструє найвищу у досліді стійкість до збудників іржі (9 балів) та септоріозу (8 балів), що на 1–3 бали перевищує показники сортів порівняння (Смуглянка, Трізо, Безоста).

За урожайністю (6,4 т/га) та вмістом білка (13,5 %) новий сорт відповідає рівню кращих

breeding reproduction for 2–3 years. This scheme implemented a trait stabilization model through early homozygosity, consistent with current approaches to breeding self-pollinating crops (Mujeeb-Kazi et al., 2019).

The morphological characteristics of the cultivar meet the criteria for short-stemmed forms: the plant height is 79.5–84.5 cm; the number of nodes is 4–5; and the internode length ranges from 5 to 21 cm. The flag leaf is vertically oriented, 13.7–25.5 cm long, with a leaf area of 23.5 cm². The spike is prismatic and dense, with a compact arrangement of 54 flowers. The caryopsis is large and plump, resistant to shedding and pre-harvest sprouting. The ontogenetic architectonics of the cultivar—a shortened upper internode, thickened stem, and synchronous shoot development—form an optimal plant structure for intensive cultivation.

The cultivar's agronomic stability is driven by high frost and heat tolerance, adaptive photoperiodic sensitivity, an extended vernalization period, high resistance to leaf rust and powdery mildew (9 points), and lodging resistance. Under intensive farming techniques (N₉₀), the cultivar yields 9–11 t/ha, forming grain with a high thousand-kernel weight (up to 55 g).

In terms of grain quality indicators (the protein content amounts to 14%; the gluten content is 27.5%), 'Volodarka Nosivshchyny' consistently meets the "strong wheat" category according to DSTU 3768:2019. According to international standards, the genotype is rated as top-quality food-grade wheat (classes E/A by the European classification and Hard Red Winter/Spring according to the USDA classification), confirming its high bread-making value.

'Volodarka Nosivshchyny' (application No. 22012049) underwent state registration of property rights on October 8, 2025 (patent No. 250219; certificate No. 250448) with priority from November 28, 2022.

The analysis of trial results (Table 1) indicates that 'Volodarka Nosivshchyny' is characterized by an optimal combination of biometric parameters and adaptability. Specifically, the genotype demonstrates higher (by 1–3 points) resistance to rust pathogens (9 points) and Septoria leaf blotch (8 points) than the check cultivars ('Smuhlianka', 'Trizo', 'Bezosta').

In terms of yield (6.4 t/ha) and protein content (13.5%), the new cultivar meets the

вітчизняних та іноземних стандартів, при цьому достовірно випереджає сорт німецької селекції Трізо за продуктивністю (+0,7 т/га). Важливою морфологічною особливістю Володарки Носівщини є вкорочена соломину (82,7 см), що забезпечує високу стійкість до вилягання порівняно зі Смуглянкою (102,5 см) та Дворянкою (97,3 см).

Таким чином, Володарка Носівщини поєднує раціональну архітектуру рослин (низькорослість), стабільні біохімічні показники (клейковина 27,5 %) та високу стійкість до хвороб, що визначає її цінність як вихідного матеріалу для селекції адаптивних сортів нового покоління.

Для ринку 2024–2026 рр. ключовими критеріями відбору є урожайність у стресових умовах, пластичність, посухо- та морозостійкість, стійкість до хвороб і технологічна якість зерна. Демонстраційні полігони 2025 р. фіксували середні врожайності 8,6 т/га з лідерами >9,0 т/га у вітчизняних селекційних лініях.

Рослина має прямий габітус (кут відходження стебел 85–90°), середню довжину стебла і колоса (82,7 см), що знижує ризик вилягання та забезпечує рівномірне освітлення. Генотип характеризується озимим типом розвитку та оптимальною для північного Лісостепу тривалістю вегетації (253–268 діб). Такий ритм органогенезу забезпечує синхронізацію критичних фаз розвитку рослин з агрокліматичними параметрами перехідної зони, нівелюючи вплив гідротермічних стресів помірно-континентального клімату. Якщо сорт Володарка Носівщини у зоні Лісостепу демонструє тривалість вегетації 253–264 діб, а у Поліссі – 266–270 діб, то у перехідній екологічній зоні між Поліссям і Лісостепом цей показник має проміжні значення – 260–268 діб, що зумовлено поєднанням ранньостиглості (ранній початок колосіння на 3–5 діб раніше від стандарту), сильного воскового нальоту на піхві та пластинці прапорцевого листка (7 балів), які разом забезпечують адаптивність сорту до вологозабезпечення та температурного режиму екокліну. Соломина слабо виповнена (товщина стінки до 1,0 мм), але помірний восковий наліт на верхньому міжвузлі і сильний на прапорцевому листку створюють бар'єр проти транспірації. Листкова система має слабе антоціанове забарвлення вушок прапорцевого листка (інтенсивність <10%), але сильний восковий наліт на піхві (7 балів) та пластинці (7 балів), що є ознакою посухостійкості.

highest domestic and foreign standards, significantly outperforming the German cultivar 'Trizo' (+0.7 t/ha). A key morphological feature of 'Volodarka Nosivshchyny' is its shortened culm (82.7 cm), which ensures high lodging resistance compared to 'Smuhlianka' (102.5 cm) and 'Dvoryanka' (97.3 cm).

Thus, 'Volodarka Nosivshchyny' combines rational plant architectonics (short stems), stable biochemical parameters (gluten 27.5%), and high disease resistance, defining its value as a starting material for breeding a new generation of adaptable cultivars.

For the 2024–2026 market, the key selection criteria are yield under stressful conditions, plasticity, drought and frost tolerance, disease resistance, and technological grain quality. In 2025 demonstration plots, the mean yield of 8.6 t/ha was harvested, with leaders among domestic breeding lines yielding > 9.0 t/ha.

The plant has an erect habit (stem angle 85–90°), medium stem and spike length (82.7 cm), which reduces the risk of lodging and ensures uniform illumination. The genotype is characterized winter growth habit and an optimal vegetation period for the Northern Forest-Steppe (253–268 days). This rhythm of organogenesis ensures the synchronization of critical development phases with the agro-climatic parameters of the transition subzone, mitigating the impact of hydrothermal stresses in the temperate continental climate. While 'Volodarka Nosivshchyny's vegetation lasts 253–264 days in the forest-steppe zone and 266–270 days in the mixed forest zone, it has an intermediate vegetation length of 260–268 days in the ecotone between the mixed forests and forest-steppe. This is attributed to a combination of early maturity (heading onset 3–5 days earlier than in the check cultivar) and a strong waxy bloom on the flag leaf sheath and blade (7 points), which together provide adaptability to the wetting and temperature regimes of the ecocline. The culm is weakly filled (wall thickness up to 1.0 mm), but a moderate waxy bloom on the upper internode and a strong bloom on the flag leaf create a barrier against transpiration. The flag leaf auricles demonstrate weak (intensity <10%) anthocyanin coloration, but strong waxy bloom on the sheath (7 points) and blade (7 points) serves as a marker of drought tolerance.

Морфологічна архітектоніка сорту Володарка Носівщини відрізняється напівверктоїдним типом прапорцевого листка, що є суттєвою перевагою над поширеними генотипами із зігнутою пластинкою (понад 70% популяції). Такий габітус забезпечує раціональний розподіл фотоактивної радіації вглиб посіву та покращує аерацію стеблостою. Язичок середній (1,5–2,0 мм), вушка гострі (кут загострення 40–45°). Відсутність або дуже слабе опушення верхнього вузла (<5%) у пшениці є адаптивною ознакою, що знижує ризик затримки вологи та утворення мікрокрапель конденсату, які сприяють розвитку грибних хвороб. У сорту Володарка Носівщини ця ознака виражена саме так – опушення верхнього вузла відсутнє або дуже слабе, що підтверджує його стійкість у вологих умовах. Ця закономірність підтверджена низкою вітчизняних та зарубіжних досліджень з морфології та адаптивності озимої пшениці (Liubych et al., 2022).

Колос формується рано (початок колосіння на 3–5 діб раніше стандарту), має циліндричну форму (довжина 8–10 см, діаметр 1,0–1,2 см), середню щільність (18–20 колосків на 10 см) та середню довжину (9–10 см). Восковий наліт колоса помірний. Колос циліндричний, середньої довжини і щільності, з білим або солом'яно-жовтим забарвленням. Остюки нижніх квіткових лусок наявні (довжина 15–25 мм), зубці верхівки короткі (2–3 мм), що відповідає вимогам до легкого обмолоту (рис. 1).

The morphology of 'Volodarka Nosivshchyny' is distinguished by a semi-erectoid flag leaf, which is a significant advantage over common genotypes with a bent blade (over 70% of the population). This feature ensures a rational distribution of photoactive radiation deep into the crop and improves canopy aeration. The ligule is medium (1.5–2.0 mm), and the auricles are acute (angle 40–45°). No or very weak pubescence of the upper node (<5%) in wheat is an adaptive trait that reduces the risk of moisture retention and formation of condensate micro-droplets, which create favorable conditions for fungal diseases. In 'Volodarka Nosivshchyny', this trait is expressed exactly this way—pubescence of the upper node is absent or very weak, confirming its resistance under humid conditions. This pattern is supported by several domestic and foreign studies on the morphology and adaptability of winter wheat (Liubych et al., 2022).

The spike forms early (heading begins 3–5 days earlier than in the check cultivar); it is cylindrical (length 8–10 cm, diameter 1.0–1.2 cm), medium-dense (18–20 spikelets per 10 cm), and medium-long (9–10 cm). The waxy bloom on the spike is moderate. The spike is whitish or straw-yellow. There are awns (15–25 mm long) on the lemmas; the apical teeth are short (2–3 mm), meeting the requirements for easy threshing (Fig. 1).



Рис. 1. Посіви озимої пшениці сорту Володарка Носівщини у фазі молочної стиглості, Носівська СДС, 2025 р.
Fig. 1. A field of the winter wheat cultivar 'Volodarka Nosivshchyny' in the milk-ripe stage, Nosivka BRS, 2025.

Зубець нижньої луски довгий (6–8 мм) і дуже зігнутий (кут вигину понад 45°), що додає функціональної остистості та підсилює фотосинтетичну активність колоса. Верхівковий сегмент стрижня має сильне опушення (густота понад 50 волосків/мм²), що у поєднанні з високою восковістю листка створює подвійний щит від перегріву та конденсації.

Нижня колоскова луска овальної форми, характеризується вузьким (0,5–0,7 мм) піднесеним плечем. Зубець колоскової луски помірно вигнутий. Опушення зовнішньої поверхні варіює від слабкого до помірного, внутрішньої — слабке. Нижня квіткова луска має ледве помітний зубець (або остюкоподібний відросток), що є характерною ознакою даного генотипу. Зернівка червона, крупна, із середніми довжиною (5,5–6,0 мм) та шириною (3,0–3,5 мм), співвідношенням довжина/ширина середнім (1,6–1,8) (рис. 2).

The lower glume tooth is long (6–8 mm) and strongly curved (bending angle over 45°), which adds functional awnedness and enhances the photosynthetic activity of the spike. The apical segment of the rachis has dense pubescence (density over 50 hairs/mm²), which, combined with the high waxiness of the leaf, creates a "double shield" against overheating and condensation.

The lower glume is oval-shaped, with a narrow (0.5–0.7 mm) elevated shoulder. The glume tooth is moderately curved. The pubescence of the outer surface varies from weak to moderate, while the inner surface is weakly pubescent. The lemma has a barely perceptible tooth (or an awn-like process), which is a characteristic feature of this genotype. The caryopsis is red and large, with a medium length of 5.5–6.0 mm and width of 3.0–3.5 mm, and a medium length-to-width ratio of 1.6–1.8 (Fig. 2).



Рис. 2. Насіння пшениці м'якої озимої сорту Володарка Носівщини
Fig. 2. Seeds of the common winter wheat cultivar 'Volodarka Nosivshchyny'

Відсутність забарвлення у фенолі свідчить про низьку активність поліфенолоксидази, що важливо для технологічної переробки: зерно не темніє, борошно має стабільний колір. Маса 1000 зерен становить близько 50,7 г, що забезпечує стабільну натуру та високий потенціал продуктивності.

Перехід від морфології до господарської придатності логічний: ранній старт колосіння,

The absence of phenol coloration indicates low polyphenol oxidase activity, which is crucial for industrial processing: the grain does not darken, and the flour maintains a stable color. The thousand-kernel weight is approximately 50.7 g, ensuring a stable test weight and high yield potential.

The transition from morphology to economic suitability is logical: the early heading

висока восковість листка, функціональна остистість і сильне опушення верхівкового сегмента стрижня колоса формують «стрес-адаптивний» фенотип, який прямо конвертується у стабільність урожаю та якості. У Лісостепу сорт демонструє 8,18 т/га, що на 0,77 т/га (+10,4%) перевищує середній показник за п'ять років (7,41 т/га); у Поліссі – 7,31 т/га (+0,57 т/га; +8,5% до середнього); у Степу – 5,65 т/га, на рівні середнього (табл. 3).

start, strong waxy bloom of leaves, functional awnedness, and dense pubescence of the apical rachis segment form a stress-adaptable phenotype. This phenotype directly translates into yield stability and grain quality. In the forest-steppe, the cultivar yields 8.18 t/ha, which is 0.77 t/ha (+10.4%) higher than the five-year average (7.41 t/ha). In the mixed forests, the yield reached 7.31 t/ha (+0.57 t/ha; +8.5% above the average), and in the steppe, it was 5.65 t/ha, remaining at the average level (Table 3).

Таблиця 3. Середні показники господарської придатності сортів озимої пшениці за результатами державного сортовипробування (<http://sort.sops.gov.ua/cultivar/view/23148>)

Table 3. Average economic suitability indicators of winter wheat cultivars based on state variety trial results (<http://sort.sops.gov.ua/cultivar/view/23148>)

Показник / Parameter	Степ / Steppe	Лісостеп / Forest-steppe	Полісся / Mixed forests
Усереднена урожайність за 5 років, т/га / Five-year mean yield, t/ha	5.77	7.41	6.74
Урожайність (14% вологості), т/га / Yield (14% moisture), t/ha	5.65	8.18	7.31
± до середньої, т/га / ± to the mean value, t/ha	-0.12	0.77	0.57
± до середньої, % / ± to the mean value, %	-2.1	10.4	8.5
Довірчий інтервал, т/га / Confidence interval, t/ha	0.08	0.05	0.04
Тривалість вегетації, днів / Vegetation length, days	253	264	268
Висота рослини, см / Висота рослини, cm	90.6	88.9	91.4
Маса 1000 зерен, г / 1000-kernel weight, g	44.6	50.7	50
Вміст білка, % / Protein content, %	13.5	13.4	13.5
Вміст сирої клейковини, % / Crude gluten content, %	27.8	26.1	26.2
Альвеограф (W), о.а. / Flour strength (W)	156	178	138
Об'єм хліба зі 100 г борошна, мл / Loaf volume from 100 g of flour, cm ³	510	573.3	540

Така диференціація узгоджується з морфологічним профілем: ранньостиглість і восковість зменшують втрати від теплових хвиль у Лісостепу, а опушення стрижня та середня щільність колоса покращують аерацію і знижують ризик конденсації у Поліссі.

Варто зазначити, що новий сорт має високу стійкість до вилягання (9 балів) та обсіпання (9 балів). Стійкість до посухи оцінена на рівні 6–8 балів, що підтверджує роль воскового нальоту та остистості у збереженні води.

Реакція генотипу на ураження фітопатогенами в розрізі еколого-географічних зон:

Such differentiation aligns with the morphological profile: early maturity and waxy bloom reduce losses from heat waves in the forest-steppe, while rachis pubescence and medium spike density improve aeration and lower the risk of condensation in the mixed forests.

It is worth noting that the new cultivar is highly resistant to lodging (9 points) and shedding (9 points). Drought tolerance is rated at 6–8 points, confirming the role of the waxy bloom and functional awnedness in water conservation.

The genotype's response to phytopathogen infection across different eco-geographical zones is as follows:

- борошниста роса (*Blumeria graminis*): сорт характеризується високою польовою стійкістю (7–9 балів), що особливо виражено в умовах Степу; у зоні Полісся, за сприятливих для патогенезу гідротермічних показників, резистентність залишається на стабільному середньому рівні (6 балів).

- бура іржа (*Puccinia recondita*): імунологічний відгук становить 5–8 балів; найвищу адаптивність сорт демонструє в умовах Лісостепу, тоді як на жорсткому інфекційному фоні перехідної зони Полісся спостерігається помірне ураження.

- фузаріоз колоса (*Fusarium* spp.): висока толерантність (7–9 балів) є стратегічною перевагою генотипу, що мінімізує ризики деградації якості зерна та накопичення мікотоксинів у регіонах із надлишковим зволоженням у фазу цвітіння.

- стійкість проти летючої та твердої сажки – 8–9 балів.

- стійкість проти шкідників (муха шведська, клоп-черепашка) – 9 балів, що відповідає вимогам сучасного виробництва.

Зимостійкість і морозостійкість посівів – 7 балів, що забезпечує стабільність у континентальних умовах. Така комплексна оцінка морфологічних та адаптивних властивостей сорту Володарка Носівщини дозволяє узагальнити його профіль у порівнянні з сучасними українськими та зарубіжними сортами (табл. 4).

Аналіз фенологічних характеристик показує, що ранній початок колосіння у сорту Володарка Носівщини забезпечує уникнення літньої спеки та знижує ризик фузаріозного ураження колоса в пізні терміни. Така особливість узгоджується з глобальним трендом скорочення тривалості вегетаційного періоду у стресових регіонах і ставить сорт у ряд із ранньостиглими лініями США, зокрема Hard Red Winter, TAM 114, SY Monument, а також Німеччини – Julius, RGT Reform, Patras. Водночас він демонструє кращу адаптацію до континентальної вологості Полісся, що є важливим чинником стабільності врожаю. У контексті українського сортименту Володарка Носівщини стоїть поруч із сортами Смуглянка, МПП Візерунок, Царівна, які також мають скорочений період вегетації для виходу з літньої спеки, але новий сорт вирізняється додатковим захисним механізмом – сильним опушенням стрижня колоса, що посилює його адаптивність у зоні Полісся.

• Powdery mildew (*Blumeria graminis*): The cultivar is highly resistant in the field (7–9 points), which is particularly pronounced in the steppe. In the mixed forest zone, where the hydrothermal conditions are favorable for pathogenesis, resistance remains at a stable medium level (6 points).

• Leaf rust (*Puccinia recondita*): The immunological response ranges from 5–8 points. The cultivar demonstrates the highest adaptability in the forest-steppe, whereas moderate infection is observed on severe infectious backgrounds of the Polissia transition zone.

• Fusarium head blight (*Fusarium* spp.): High tolerance (7–9 points) is a strategic advantage of the genotype, minimizing the risks of grain quality degradation and mycotoxin accumulation in regions with excessive wetting during anthesis.

• Resistance to loose smut and common smut: 8–9 points.

• Pest resistance (frit fly, Sunn pest): 9 points, which meets the requirements of modern production.

Winter hardiness and frost tolerance are rated at 7 points, ensuring stability under continental conditions. This comprehensive evaluation of the morphological and adaptive features of the 'Volodarka Nosivshchyny' allows for its profile to be generalized in comparison with modern Ukrainian and foreign cultivars (Table 4).

Analysis of phenological characteristics shows that the early heading onset in 'Volodarka Nosivshchyny' ensures avoidance of summer heat and reduces the risk of Fusarium head blight in late stages. This feature aligns with the global trend of shortening the growing season in stress-prone regions and places the cultivar alongside early-ripening lines from the USA (specifically 'Hard Red Winter', 'TAM 114', 'SY Monument') and Germany ('Julius', 'RGT Reform', 'Patras'). At the same time, it is better adapted to the continental humidity of Polissia, which is a key factor in yield stability. Within the Ukrainian assortment, 'Volodarka Nosivshchyny' stands alongside cultivars such as 'Smuhlianka', 'MIP Vizerunok', and 'Tsarivna', which also have shortened vegetation periods for heat escape; however, the new cultivar is distinguished by an additional protective mechanism—dense pubescence of the rachis, enhancing its adaptability in the mixed forest zone.

Таблиця 4. Морфолого-технологічний профіль сорту Володарка Носівщини у системі сучасних селекційних тенденцій

Table 4. Morphological and technological profile of the 'Volodarka Nosivshchyny' within the framework of modern breeding trends.

Ознаки та властивості / Traits and Features	Володарка Носівщини / Volodarka Nosivshchyny	Тренд сучасних українських сортів / Trend of Modern Ukrainian Cultivars	Тренд сучасних зарубіжних сортів / Trend of Modern Foreign Cultivars
Ранньостиглість / Early maturity	Ранній початок колосіння / Early heading onset	Середньоранні, адаптовані до виходу з літньої спеки (Вежа, Княжна, Калита) / Medium-early, adapted to summer heat escape ('Vezha', 'Kniazhna', 'Kalyta')	Ранньо-/середньостиглі для оптимізації використання вологи (Benchmark, LG Skyscraper, Toborzo) / Early- to medium-ripening for optimal moisture utilization ('Benchmark', 'LG Skyscraper', 'Toborzo')
Восковість / Waxy bloom	Сильна (листок), помірна (колос) / Strong (leaf), moderate (spike)	Підвищена для посухостійкості (Центилівка, Славна, Солоха) / Increased for drought resistance ('Tsentylivka', 'Slavna', 'Solokha')	Висока у остистих лініях для стресових умов (Anapurna, Genius, RGT Kilimanjaro) / High in awned lines for stressfull conditions ('Anapurna', 'Genius', 'RGT Kilimanjaro')
Остюки / Awns	Наявні; зубець довгий, зігнутий / Present; glume tooth is long and curved	Часто остисті для стресових сезонів (Диканька, Говерла, Вежа) / Often awned for stressful seasons ('Dykanka', 'Hoverla', 'Vezha')	Переважають остисті у посушливих регіонах (Patras, Apache, Julius) / Predominantly awned in arid regions ('Patras', 'Apache', 'Julius')
Опушення стрижня / Rachis pubescence	Сильне / Strong	Варіює, іноді поєднане з високою восковістю (Княжна, Калита, Харківська Славна) / Varies, sometimes combined with high waxy bloom ('Kniazhna', 'Kalyta', 'Kharkivska Slavna')	Зустрічається, але не завжди стабільне (Genius, RGT Kilimanjaro) / Occurs, but not always stable ('Genius', 'RGT Kilimanjaro')
Висота/щільність / Height / Density	Середня/середня / Medium / Medium	Баланс для стійкості й продуктивності (Харківська 118, Харківська 120, Центилівка) / Balance for stability and productivity ('Kharkivska 118', 'Kharkivska 120', 'Tsentylivka')	Баланс під інтенсивні технології (Benchmark, KWS Livius, LG Skyscraper) / Balance for intensive technologies ('Benchmark', 'KWS Livius', 'LG Skyscraper')
Зерно / Grain	Крупне, червоне; низька активність поліфенолоксидази / Large, red; low polyphenol oxidase activity	Орієнтація на якість (натура, білок, клейковина) (Славна, Калита, Вежа) / Focus on quality (test weight, protein, gluten) ('Slavna', 'Kalyta', 'Vezha')	Висока продуктивність за належної технології (Apache, Julius, Genius) / High productivity under appropriate technology ('Apache', 'Julius', 'Genius')

Сильний восковий наліт листка виступає маркером посухостійкості. У зарубіжних остистих лініях, таких як TAM 304 і SY Ovation у США чи KWS Emil та RGT Reform у Німеччині, ця ознака працює синергійно з остистістю, формуючи додатковий механізм збереження води. Володарка Носівщини доповнює цей комплекс ще й сильним опушенням верхівкового сегмента стрижня колоса, що рідко зустрічається у європейських сортів і створює додатковий бар'єр проти конденсації та перегріву. За восковістю листка він співставний із українськими сортами МІП Дніпрянка та МІП Вежа, які відзначаються високою посухостійкістю, проте новий сорт має додатковий бар'єр – поєднання восковості та опушення, що підсилює його стійкість у стресових умовах.

Остистість сорту виражена довгим і зігнутих зубцем довжиною 6–8 мм при куті вигину понад 45°, що підсилює фотосинтетичну активність колоса. За функціональністю ця ознака порівнювана з українськими сортами Смуглянка, МІП Візерунок, Царівна та американськими TAM 114 і SY Monument, але Володарка Носівщини має більш збалансовану верхівкову остистість завдовжки 2–3 мм, що полегшує обмолот і зменшує травмування зерна.

Крупна червона зернівка з низькою активністю поліфенолоксидази забезпечує стабільність кольору і натури зерна, що є важливою технологічною перевагою. За цими показниками сорт конкурує з німецькими лініями RGT Reform і Patras та американськими HRW сортами TAM 114 і SY Ovation, демонструючи високий рівень придатності для хлібопекарської і кондитерської промисловості. Водночас він співставний із українськими сортами МІП Вежа та МІП Дніпрянка, які орієнтовані на стабільну якість борошна, але Володарка Носівщини демонструє вищу стабільність кольору завдяки низькій активності поліфенолоксидази.

З огляду на селекційну цінність сорту, особливу увагу було приділено вивченню його фотоперіодичної реакції – ознаки, що визначає темпи розвитку, адаптацію до строків сівби та потенціал урожайності. Дослідження, проведені у співпраці з С.В. Чеботар та ін. (Bakuma et al., 2020), дозволили детально охарактеризувати сорт Володарка Носівщини за ознакою фотоперіодичної чутливості. Генотип сорту несе

The strong waxy bloom of the leaf serves as a marker for drought resistance. In foreign awned lines, such as 'TAM 304' and 'SY Ovation' in the USA or 'KWS Emil' and 'RGT Reform' in Germany, this trait works synergistically with awnedness to form an additional water conservation mechanism. 'Volodarka Nosivshchyny' complements this complex with dense pubescence of the apical rachis segment—a trait rarely found in European cultivars—which creates an extra barrier against condensation and overheating. In terms of leaf waxiness, it is comparable to the Ukrainian cultivars 'MIP Dniprianka' and 'MIP Vezha', known for high drought resistance, but the new cultivar provides a dual barrier—the combination of waxy bloom and pubescence, strengthening its stability under stressful conditions.

The awnedness of the cultivar is expressed by a long and curved tooth (6–8 mm) with a bending angle exceeding 45°, which enhances the photosynthetic activity of the spike. Functionally, this trait is comparable to that in the Ukrainian cultivars 'Smuhlianka', 'MIP Vizerunok', and 'Tsarivna' and the American cultivars 'TAM 114' and 'SY Monument'; however, 'Volodarka Nosivshchyny' features a more balanced apical awnedness (2–3 mm), facilitating threshing and reducing grain damage.

The large red caryopsis with low polyphenol oxidase activity ensures color stability and high test weight, representing a significant technological advantage. According to these indicators, the cultivar competes with the German lines 'RGT Reform' and 'Patras' and the American HRW cultivars 'TAM 114' and 'SY Ovation', demonstrating better suitability for the baking and confectionery industries. At the same time, it is comparable to the Ukrainian cultivars 'MIP Vezha' and 'MIP Dniprianka', which focus on stable flour quality, yet 'Volodarka Nosivshchyny' demonstrates higher color stability due to its low polyphenol oxidase activity.

Given the breeding value of the cultivar, particular attention was paid to its photoperiodic response—a trait determining development rates, adaptation to sowing time, and yield capacity. A study conducted in collaboration with S.V. Chebotar et al. (Bakuma et al., 2020)

гаплотип VII гена *Ppd-D1*, що зумовлює помірну фотоперіодичну реакцію – ключовий адаптивний механізм, який прямо впливає на тривалість вегетації, час колосіння та продуктивність. Фенологічний профіль сорту демонструє пізніше колосіння порівняно з нечутливими генотипами: середня дата – 23 доби, цвітіння – 27 доби від початку травня. Це дозволяє культурі ефективно використовувати запаси зимової та ранньовесняної вологи, що є критично важливим для формування високої біомаси. У польових умовах Лісостепу та Полісся-Лісостепу Володарка Носівщини забезпечує врожайність на рівні 623–624 г/м². Водночас, саме помірна фотоперіодична чутливість лежить в основі високої дисперсії врожайності, що підтверджує залежність сорту від метеорологічних умов сезону.

Проте, саме помірна фотоперіодична чутливість лежить в основі високої дисперсії врожайності, що підтверджує залежність сорту від метеорологічних умов сезону. Така реакція на довжину світлового дня впливає не лише на темпи розвитку рослини, а й на формування біохімічного складу зерна, зокрема на вміст білка та якість клейковини, які є критичними для хлібопекарського використання.

Комплексна оцінка технологічних властивостей сорту Володарка Носівщини підтверджує його високий продовольчий потенціал. Натура зерна на рівні 790 г/л свідчить про високу виповненість та потенційно високий вихід борошна вищих сортів. Показник склоподібності (46 %) у поєднанні з вмістом клейковини (22–27 %) забезпечує формування еластичного тіста з добрими структурно-механічними властивостями. За сукупністю показників (ІДК — 75 од., сила борошна — 138–178 о.а.) сорт класифікується як пшениця II групи якості (цінна), що відповідає вимогам до стабільних філерних сортів універсального призначення. Індекс еластичності (42 %) та стабільний об'ємний вихід хліба (450–510 см³) підтверджують ефективну реалізацію генетичного потенціалу генотипу навіть за умов варіативного гідротермічного та фотоперіодичного режиму. Це визначає стратегічну перевагу сорту для вирощування в нестабільних агрокліматичних умовах перехідних зон України (табл. 5).

allowed for a detailed characterization of 'Volodarka Nosivshchyny' regarding photoperiodic sensitivity. The genotype carries haplotype VII of the *Ppd-D1* gene, which determines a moderate photoperiodic response—a key adaptive mechanism directly influencing vegetation length, heading time, and performance. The phenological profile of the cultivar shows later heading compared to insensitive genotypes: an average of 23 days for heading and 27 days for anthesis from the beginning of May. This allows the crop to effectively utilize winter and early spring moisture reserves, which is critical for high biomass formation. Under the field conditions of the forest-steppe and the mixed forest/forest-steppe transition subzone, 'Volodarka Nosivshchyny' yields 623–624 g/m². However, it is the moderate photoperiodic sensitivity underlies the high yield variance, confirming the cultivar's dependence on the season's meteorological conditions. Such a response to day length affects not only the plant development rate but also the grain biochemical composition, particularly protein content and gluten quality, which are critical for bread-making.

The comprehensive evaluation of the technological properties of 'Volodarka Nosivshchyny' confirmed its high food-grade potential. A test weight of 790 g/L indicates good grain filling and a potentially high yield of premium-grade flour. The vitreousness index (46%) combined with the gluten content (22–27%) ensures the formation of elastic dough with desirable structural and mechanical properties. Based on the aggregate indicators (GDI = 75, flour strength (W) = 138–178), the cultivar is classified as Group II quality wheat (valuable wheat), meeting the requirements for stable, multipurpose "filler" cultivars. The elasticity index (42%) and stable loaf volume (450–510 cm³) confirm the effective realization of the genotype's genetic potential even under variable hydrothermal and photoperiodic regimes. This determines the strategic advantage of the cultivar for cultivation in the unstable agro-climatic conditions of the Ukrainian transition subzones (Table 5).

Таблиця 5. Характеристики якості зерна та хлібопекарський потенціал сорту Володарка Носівщини
Table 5. Grain quality characteristics and bread-making potential of 'Volodarka Nosivshchyny'

Показник / Parameter	Значення / Value	Інтерпретація / значення для технології / Interpretation / Technological Significance
Натура зерна / Test weight	790 г/л / g/L	Висока виповненість та щільність ендосперму; забезпечує стабільно високий вихід борошна вищих сортів / Good grain filling and dense endosperm; consistently high yield of premium-grade flour
Склоподібність / Vitreousness	46%	У поєднанні з високим вмістом білкових фракцій (клейковина 22–27 %) забезпечує формування еластичного тіста з добрими структурно-механічними властивостями / In combination with a high content of protein fractions (gluten 22–27%), it ensures the formation of elastic dough with desirable structural and mechanical properties.
Клейковина / Gluten	22-27%	Високий вміст, забезпечує еластичність тіста / A high content ensures dough elasticity
Група якості / Quality group	II	Стабільний філер універсального призначення. Це характеризує сорт як стабільну філерну основу для формування помольних партій та використання в універсальних хлібопекарських технологіях. / A stable multipurpose filler. The characteristics make the cultivar a stable filler base for producing milling batches and using in universal bread-making technologies.
ВДК (валориметрична оцінка) / GDI	75	Клейковина відповідає I групі якості, що гарантує оптимальні пружно-еластичні характеристики та запобігає надмірному розрідженню тіста під час ферментації. / Gluten corresponds to Quality Group I, guaranteeing optimal resilience and elasticity while preventing excessive dough softening during fermentation.
Сила борошна / Flour strength	138-178 о.а.	Категорія «філерної» (середньої за силою) пшениці. / "Filler" category (medium-strength) wheat
Індекс еластичності / Elasticity index	42%	Збалансована еластичність тіста / Balanced dough elasticity
Об'ємний вихід хліба / Loaf volume	540 мл / 540 cm ³	Конкурентоспроможний рівень якості зерна, що є репрезентативним показником для високопродуктивних пшениць даної категорії та підтверджує високу хлібопекарську якість сорту. / A competitive level of grain quality that is representative of high-yielding wheats in this category and confirms the high bread-making quality of the cultivar.

На рис. 3 наведено зразок хліба, випеченого з зерна цього сорту, що демонструє його технологічну придатність для хлібопекарської промисловості.

Fig. 3 shows a loaf of bread baked from the grain of this cultivar, demonstrating its technological suitability for the baking industry.

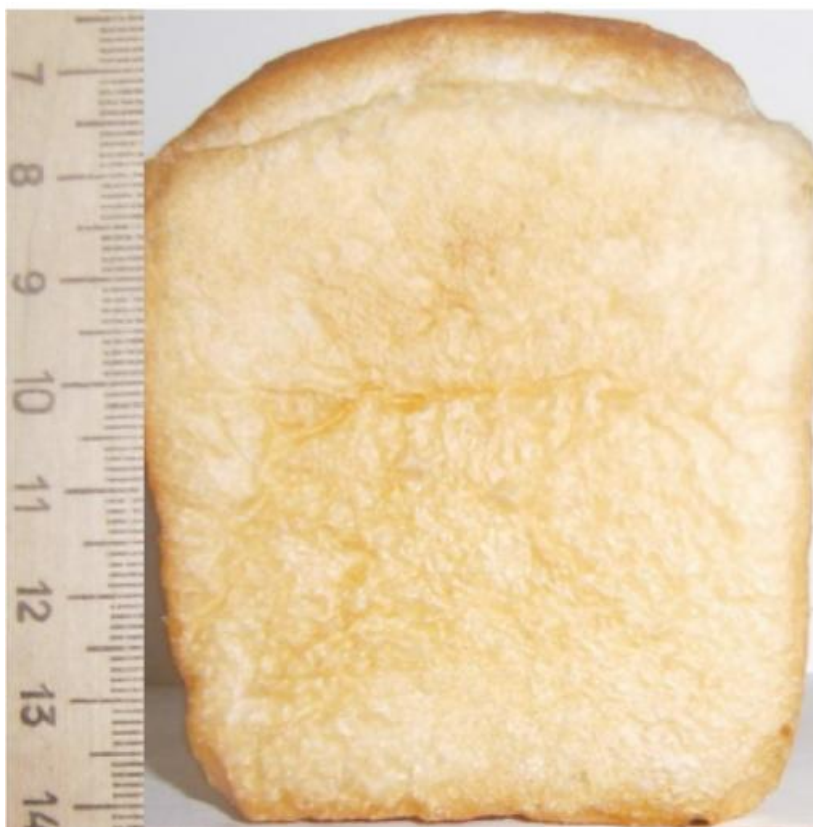


Рис. 3. Хліб, випечений із пшениці м'якої сорту Володарка Носівщини
Fig. 3. Bread baked from the common winter wheat cultivar 'Volodarka Nosivshchyny'

У контексті вищезазначених селекційних характеристик особливої ваги набувають результати виробничої апробації сорту Володарка Носівщини, проведеної на базі Носівської СДС протягом 2022–2025 років (табл. 6). Даний етап досліджень дозволив не лише верифікувати потенційну врожайність генотипу за різних систем основного обробітку ґрунту, а й проаналізувати норму реакції його морфо-технологічних ознак на зміну агротехнічних факторів.

Отримані дані підтверджують, що архітектура рослин та стабільність якісних показників зерна сорту повністю корелюють із сучасними глобальними трендами селекції на високу адаптивність та ресурсну ощадливість. Це дозволяє позиціонувати Володарку Носівщини як пластичний генотип, здатний ефективно реалізувати свій біоенергетичний потенціал як за інтенсивних, так і за мінімізованих технологій вирощування.

Результати багаторічних випробувань (2022–2025 рр.) свідчать, що система основного обробітку ґрунту є критичним чинником у реалізації потенціалу продуктивності сорту Володарка Носівщини, особливо в умовах наростаючого дефіциту вологи.

In the context of the aforementioned breeding characteristics, the production trial results on 'Volodarka Nosivshchyny' obtained at Nosivka BRS in 2022–2025, are of particular importance (Table 6). This stage of the research allowed not only for the verification of the genotype's potential yield under different primary tillage methods but also for the analysis of the reaction norm of its morpho-technological traits to changes in agronomic factors.

Our findings confirmed that the plant architecture and the stability of the grain quality indicators of the cultivar fully correlate with current global breeding trends focused on high adaptability and resource efficiency. This allows for positioning 'Volodarka Nosivshchyny' as a plastic genotype capable of effectively realizing its bioenergetic potential under both intensive and minimized cultivation technologies.

Results of multi-year trials (2022–2025) indicate that the primary tillage method is a critical factor in realizing the yield potential of 'Volodarka Nosivshchyny', particularly under increasing water deficits.

Таблиця 6. Урожайність і маса 1000 зерен пшениці озимої сорту «Володарка Носівщини» за різних систем основного обробітку ґрунту (Носівська СДС, 2022–2025 рр.)

Table 6. Yield and thousand-kernel weight of the winter wheat cultivar ‘Volodarka Nosivshchyny’ under different primary tillage methods (Nosivka BRS, 2022–2025)

Рік / Year	Спосіб обробітку ґрунту / Tillage method			
	дискування / Disking		Оранка / Plowing	
	Урожайність зерна, т/га / Grain yield, t/ha	Маса 1000 зерен, г / 1000-kernel weight, g	Урожайність зерна, т/га / Grain yield, t/ha	Маса 1000 зерен, г / 1000-kernel weight, g
2022	9.8	53.0	7.6	46.4
2023	8.5	51.5	6.6	45.1
2024	10.7	54.0	8.3	47.3
2025	7.5	51.0	5.8	44.7
Середнє / Mean	9.1	52.4	7.1	45.9
HP _{0,05} / LSD _{0,05}	0.7	0.6	1.2	1.0

Встановлено, що застосування поверхневого обробітку (дискування) забезпечило формування максимальної врожайності на рівні 9,1 т/га при стабільно високій масі 1000 зерен (52,4 г). Такий ефект пояснюється збереженням цілісності ґрунтових капілярів та створенням мульчувального шару пожнивних решток, що мінімізує випаровування вологи з верхніх горизонтів. Це стало вирішальним фактором виживання та продуктивності посівів у гостропосушливі періоди 2023 та 2025 років, коли дефіцит опадів у фазі кущення та наливу зерна був найбільш відчутним. Натомість за умови полицевої оранки спостерігалось суттєве зниження продуктивності до 7,1 т/га, а маси 1000 зерен — до 45,9 г. Глибоке розпушення ґрунту призвело до надмірної аерації та швидкої втрати залишкових запасів продуктивної вологи, що в умовах водного стресу спричинило передчасне припинення вегетації та "запал" зерна.

Таким чином, сорт Володарка Носівщини демонструє високу адаптивну здатність нівелювати негативний вплив дефіциту вологи за умови застосування енерго- та вологозберігаючих технологій. Перевага дискування (+2,0 т/га) підтверджує генетичну схильність сорту до ефективної водоспоживаючої здатності, що робить його стратегічно важливим для посушливих регіонів України в умовах глобальних кліматичних змін.

It was found that surface tillage (disking) ensured a maximum yield of 9.1 t/ha with a consistently high thousand-kernel weight (52.4 g). This effect is explained by the preservation of soil capillary integrity and the creation of a mulch layer of crop residues, which minimizes water evaporation from the upper horizons. This became a decisive factor for the crop survival and performance during the severely arid periods of 2023 and 2025, when precipitation deficits during the tillering and grain-filling stages were most pronounced. Conversely, under moldboard plowing, a significant reduction in the yield to 7.1 t/ha was observed, with the thousand-kernel weight dropping to 45.9 g. Deep soil loosening led to excessive aeration and rapid loss of residual productive moisture reserves, causing premature termination of vegetation and grain shriveling under water stress.

Thus, ‘Volodarka Nosivshchyny’ demonstrates a high adaptive capacity to mitigate the negative impact of water deficit when energy- and water-saving technologies are applied. The advantage of disking (+2.0 t/ha) confirms the genotype's genetically determined ability to efficiently absorb water, making it strategically important for the arid regions of Ukraine amidst global climate change.

Висновки.

Сорт озимої пшениці Володарка Носівщини визначено як пластичний генотип універсального призначення, що поєднує оптимізовану морфологічну архітектуру, високу фотоперіодичну стабільність та консервативність білкового профілю, що забезпечує стабільну реалізацію продуктивності в широкому діапазоні агроecологічних умов.

Виробничі випробування (2022–2025 рр.) підтвердили високий потенціал продуктивності сорту: середня врожайність становила 5,65–9,10 т/га, що на 8–10 % перевищує середні багаторічні показники регіону, причому максимальна врожайність досягається за умов мінімізації обробітку ґрунту (дискування), що сприяє нівелюванню дефіциту вологи.

Показники якості зерна (натура — 790 г/л, білок — до 14 %, клейковина — 22–27 %, сила борошна — 138–178 о.а.) дозволяють класифікувати сорт як цінну продовольчу пшеницю (II група якості), а низька активність поліфенолоксидази забезпечує стабільність кольору борошна, що є конкурентною перевагою порівняно з європейськими та американськими аналогами.

Наявність житньої транслокації 1BL/1RS (маркер Gli-R1) забезпечує сорту комплексну резистентність до бурої іржі та борошнистої роси, при цьому потенційна деструктивна дія секалінів на якість тіста ефективно нівелюється синергічною дією глютенінових алелів та високим білковим потенціалом.

Сорт вирізняється оптимальною довжиною верхівкових остей (2–3 мм), яка забезпечує високу технологічність обмолоту та мінімізує мікротравмування зернівки.

Сукупність ідентифікаційних ознак позиціонує сорт як стратегічно важливий ресурс для національної продовольчої безпеки та перспективну платформу для інтеграції у селекційні програми.

Конфлікт інтересів: Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів.

Фінансування: дослідження не отримувало зовнішнього фінансування.

Доступність даних: усі дані наведені в тексті статті.

Внесок авторів: усі автори зробили рівнозначний внесок у дослідження та підготовку рукопису.

Conclusions.

The winter wheat cultivar ‘Volodarka Nosivshchyny’ is recognized as a plastic, multipurpose genotype that combines optimized morphology, high photoperiodic stability, and a stable protein profile, ensuring consistent performance across a wide range of agroecological conditions.

The production trials (2022–2025) confirmed the high yield potential of the cultivar: the mean yields ranged from 5.65 to 9.10 t/ha, exceeding the regional multi-year average values by 8–10%. It is noteworthy that maximum yields were achieved under minimized tillage (disking), which helps mitigate moisture deficits.

The grain quality indicators (the test weight is 790 g/L; the protein content amounts to 14%; the gluten content is 22–27%; the flour strength is 138–178) allow the cultivar to be classified as valuable food-grade wheat (Quality Group II). Low polyphenol oxidase activity ensures flour color stability, providing a competitive advantage over European and American counterparts.

The 1BL/1RS rye translocation (marker Gli-R1) confers comprehensive resistance to leaf rust and powdery mildew. Potential negative effects of secalins on dough quality are effectively mitigated by synergistic action of glutenin alleles and high protein potential.

The cultivar boasts an optimal length of apical awns (2–3 mm), ensuring easy threshing and minimizing micro-damage to the caryopsis.

The combination of identifying traits positions the cultivar as a strategically important resource for national food security and a promising platform for integration into breeding programs.

Conflict of Interest: The authors declare no conflict of interest.

Funding: This research received no external funding.

Data Availability: All data are presented in the article.

Author Contributions: All authors contributed equally to the research and the preparation of the manuscript.

References

- Abiola, S. O., Lacasa, J., Carver, B. F., Arnall, B. D., Ciampitti, I. A., & de Oliveira Silva, A. (2024). Nitrogen uptake dynamics of high and low protein wheat genotypes. *Frontiers in Plant Science*, 15, 1493901. <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1493901>
- Bakuma, A. O., Chebotar, G. O., Tkachuk, A. V., Chebotar, S. V., Moskalets, T. Z., & Moskalets, V. V. (2020). Alleles of Ppd-1 genes that control sensitivity to photoperiod in a number of bread winter wheat genotypes. *Plant Varieties Studying and Protection*, 16(3), 253–261. <https://doi.org/10.21498/2518-1017.16.3.2020.214926>
- Biuleten. (2026). Information-reference system “Sort”: Official descriptions of plant varieties and indicators of economic suitability based on qualifying examination results (Application No. 22012049). [in Ukrainian]
- Demydov, O., Zamlila, N., Novytska, N., Kyrylenko, V., & Miliar, B. (2024). Evaluation of stability of winter bread wheat breeding lines in multi-environment trials. *Science Horizon*, 27(7), 112–120. [in Ukrainian]
- Holodna, A. V., & Holyk, L. M. (2021). Evaluation of new winter bread wheat varieties for yield, winter hardiness, disease resistance and grain quality. *Naukovi Dopovidi Instytutu Zemlerobstva NAAN*, 2, 69–78. [in Ukrainian]
- Khoroshun, I. V., & Nazarenko, M. M. (2024). Yield and grain quality of new winter wheat varieties in the northern Steppe. *Agrarni Innovatsii*, 24, 88–94. [in Ukrainian]
- Lama, S., Leiva, F., Vallenback, P., Chawade, A., & Kuktaite, R. (2023). Impacts of heat, drought, and combined heat–drought stress on yield, phenotypic traits, and gluten protein traits: Capturing stability of spring wheat in excessive environments. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1179701. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1179701>
- Liubych, V. V. (2022). Winter bread wheat performance depending on growth regulators. *Novitni Ahrotekhnolohii*, 10(1). <https://doi.org/10.47414/na.10.1.2022.264385> [in Ukrainian]
- Mujeeb-Kazi, A., Rosas, V., Roldan, S., Delgado, R., Cano Sira, E., Amri, A., Kishii, M., Dreisigacker, S., & Braun, H. J. (2019). Breeding strategies for improving wheat adaptation to climate change. *Crop Science*, 59(6), 2364–2378. <https://doi.org/10.2135/cropsci2019.03.0174>
- Nature Climate Change. (2025). Could these five future agricultural innovations slow down climate change? *Nature Climate Change*, d41586-025-02321-3. <https://doi.org/10.1038/d41586-025-02321-3>
- Reynolds, M. P., Saint Pierre, C., Vargas, M., Cossani, C. M., Lopes, M. S., Sukumaran, S., He, X., Molero, G., Joshi, A. K., Govindan, V., Mondal, S., Crespo-Herrera, L. A., Gaju, O., Elazab, A., Pinto, F., Li, Y., Sonder, K., Crossa, J., & Braun, H. J. (2022). International wheat improvement through physiological and genetic strategies. *Agronomy*, 12(3), 635. <https://doi.org/10.3390/agronomy12030635>
- Tyshchenko, V. M., Kryvoruchko, L. M., Kolisnyk, A. V., Husenkova, O. V., Sakalo, M. V., Makaova-Melamud, B. E., & Dubenets, M. V. (2023). Genetic correlations between quantitative traits and breeding indices of winter wheat varieties and lines in the Forest-Steppe of Ukraine. *Tavriiskyi Naukovyi Visnyk APK*, 134, 135–142. [in Ukrainian]
- Waites, J., Achary, V. M. M., Syombua, E. D., Hearne, S. J., & Bandyopadhyay, A. (2025). CRISPR-mediated genome editing of wheat for enhancing disease resistance. *Frontiers in Genome Editing*, 5, 1542487. <https://doi.org/10.3389/fgeed.2025.1542487>
- Zhang, T., Zhang, Y., Ding, Y., Yang, Y., Zhao, D., Wang, H., Ye, Y., Shi, H., Yuan, B., Liang, Z., Guo, Y., Cui, Y., Liu, X., & Zhang, H. (2025). Research on the regulation mechanism of drought tolerance in wheat. *Plant Cell Reports*, 44, 77. <https://doi.org/10.1007/s00299-025-03465-2>

УДК 633.2

В.М. Горенський*, В.Д. Бугайов

Продуктивність люцерни (*Medicago L.*) в екологічному сортовипробуванні

Інститут кормів та сільського господарства Поділля НААН України, Вінниця, Україна

*E-mail: gorenskij.vitalij@ukr.net

UDC 633.2

V.M. Gorensky*, V.D. Buhayov

Productivity of Alfalfa (*Medicago L.*) in an Ecological Variety Trial

Institute of Feeds and Agriculture of Agriculture of Podillia of NAAS of Ukraine, Vinnytsia, Ukraine

*E-mail: gorenskij.vitalij@ukr.net

Реферат: Проведено оцінку шести сортів люцерни у екологічному сортовипробуванні виявлено підвищену кормову продуктивність сортів Синюха, Радослава, Antane та Birute порівняно з іншими. Особливо слід відзначити сорти Радослава (12,99 т/га) та Birute (12,67 т/га). За два роки використання за насінневою продуктивністю виділились сорти Радослава (0,477 т/га) та Antane (0,502 т/га +8% або 0,038 т/га до стандарту Синюха та 5% або 0,025 т/га до стандарту Радослава). Підвищеним вмістом протеїну характеризувались сорти Синюха (19,13%), Радослава (19,29%), Malvina (19,89) та Antane (19,05), а найменший результат виявлено у сорту Birute, лише 16,24 %. У сортів Синюха, Радослава, Antane збір білка склав 2,14, 2,51 та 2,22 т/га відповідно. Тим часом у сорту Birute, за відносно високої кормової продуктивності (12,67 т/га) збір білка становив лише 2,06 т/га.

Ключові слова: *Medicago L.*, продуктивність, збір сухої речовини, урожай насіння, кислотність ґрунту

Abstract: Six alfalfa cultivars were evaluated in an environmental trial. Increased fodder productivity was revealed in 'Syniukha', 'Radoslava', 'Antane', and 'Birute' compared to others. 'Radoslava' (12.99 t/ha) and 'Birute' (12.67 t/ha) should be particularly noted. Over two years of use, 'Radoslava' (0.477 t/ha) and 'Antane' (0.502 t/ha; +8% or 0.038 t/ha to the check cultivar 'Syniukha' and 5% or 0.025 t/ha to the check cultivar 'Radoslava') stood out in terms of seed productivity. 'Syniukha' (19.13%), 'Radoslava' (19.29%), 'Malvina' (19.89%), and 'Antane' (19.05%) were characterized by an increased protein content, while the lowest protein content was found in 'Birute' (only 16.24%). In 'Syniukha', 'Radoslava', and 'Antane', the protein yield amounted to 2.14, 2.51, and 2.22 t/ha, respectively. Meanwhile, in 'Birute', despite a relatively high fodder productivity (12.67 t/ha), the protein yield was only 2.06 t/ha.

Key words: *Medicago L.*, productivity, dry matter yield, seed yield, soil acidity.

Вступ

Актуальність проведення досліджень з визначення кормової та насінневої продуктивності люцерни в екологічному сортовипробуванні обумовлена необхідністю виділення високопродуктивних сортів адаптованих до певних ґрунтово-кліматичних умов з метою подальшого використання в селекційному процесі та виробництві.

Introduction

The relevance of research to determine the fodder and seed productivity of alfalfa in environmental trials is determined by the need to identify high-yielding cultivars adapted to specific pedo-climatic conditions for further use in breeding and production.

Люцерна (*Medicago* L.) є найбільш широко культивованою кормовою бобовою культурою у світі та вирощується у понад 80 країнах. Площа посівів становить 30-40 мільйонів гектарів із загальним річним виробництвом близько 450 млн. т. Як багаторічна бобова рослина люцерна може зберігати свою продуктивність впродовж 3-7 років (Tedesco et al., 2022), вона має сильно розвинену (зазвичай стрижневу) кореневу систему, яка здатна проникати в ґрунт на глибину 4-6 м, що дозволяє ефективно використовувати вологу з більш глибоких запасів (Carlini et al., 2024); збагачує ґрунт азотом, що дозволяє зменшити норми внесення мінеральних добрив на 30-70 % (Desta et al., 2026); поліпшує його структуру й родючість (Chen et al., 2022); запобігає ерозійним процесам (Qin et al., 2025); активно використовується як кормова культура (Mielmann, 2013).

Рослини люцерни добре відростають на достатньо широкому спектрі ґрунтів з pH 5,5-8,5 за інокуляції штамми відповідних азотфіксувальних мікроорганізмів, проте найбільш оптимальними є добре дреновані суглинки з pH 6,5-7,5 (Zhang et al., 2024). Кислі, перезволожені та важкі глинисті ґрунти сильно знижують продуктивність люцерни (Du et al., 2025), що пов'язують з активністю алюмінію та обмеженням доступності фосфору (Öztürk et al., 2022), припиненням азотфіксації або сильним її обмеженням (Mendoza-Soto et al., 2015). Негативний вплив підвищеної кислотності ґрунту в першу чергу відображується на насіннєвій продуктивності люцерни, суттєво зменшуючи її (Ferreira et al., 2012). Значна частина (більше 24 %) ґрунтів в Україні є кислими. Зокрема в зоні Полісся їх 48,4%, у Житомирській, Вінницькій, Чернігівській та Закарпатській областях від 57 до 66% (Romanova et al., 2023). У світі площа таких ґрунтів становить близько 50% (Liatukienė, Skuodienė, 2024). Таким чином, підбір сортів найбільш адаптованих до конкретних ґрунтово-кліматичних умов є одним із основних чинників, що дозволяє максимально реалізувати потенціал насіннєвої та кормової продуктивності люцерни (Tkachyk et al., 2015; Shi et al., 2017; Lakić et al., 2022).

Метою роботи була оцінка кормової, насіннєвої продуктивності та хімічного складу сухої речовини люцерни посівної в розсаднику екологічного сортовищепробування.

Алфалфа (*Medicago* L.) is the most widely cultivated fodder legume in the world and is grown in over 80 countries. Its acreage is 30–40 million hectares, with a total annual production of about 450 million tons. As a perennial legume, alfalfa can maintain its productivity for 3–7 years (Tedesco et al., 2022). It has a highly developed (usually taproot) root system capable of penetrating the soil to a depth of 4–6 m, which allows plants to effectively use moisture from deeper reserves (Carlini et al., 2024); it enriches the soil with nitrogen, allowing for a reduction in mineral fertilizer application doses by 30–70% (Desta et al., 2026), improves soil structure and fertility (Chen et al., 2022), prevents erosion (Qin et al., 2025); and is extensively used as a forage crop (Mielmann, 2013).

Alfalfa plants grow well on a fairly wide range of soils with a pH of 5.5–8.5 when inoculated with strains of appropriate nitrogen-fixing microorganisms; however, well-drained loams with a pH of 6.5–7.5 are the most optimal soil types (Zhang et al., 2024). Acidic, waterlogged, and heavy clay soils significantly reduce alfalfa performance (Du et al., 2025), which is associated with aluminum activity and limited phosphorus availability (Öztürk et al., 2022), as well as the cessation or severe limitation of nitrogen fixation (Mendoza-Soto et al., 2015). The negative impact of increased soil acidity is primarily reflected in the seed productivity of alfalfa, significantly reducing it (Ferreira et al., 2012). A significant portion (over 24%) of the soils in Ukraine are acidic. Specifically, in the Ukrainian Polissia (mixed forest zone), they account for 48.4%, and in the Zhytomyrska, Vinnytska, Chernihivska, and Zakarpatska Oblasts, from 57 to 66% (Romanova et al., 2023). Globally, the area of such soils is about 50% (Liatukienė, Skuodienė, 2024). Thus, the selection of cultivars most adapted to specific pedo-climatic conditions is one of the main factors allowing for the maximum realization of the seed and forage productivity potentials of alfalfa (Tkachyk et al., 2015; Shi et al., 2017; Lakić et al., 2022).

The purpose of this study was to assess the fodder and seed productivity of alfalfa and to determine the chemical composition of alfalfa dry matter of, in an environmental trial nursery.

Методика

Дослідження проводили у 2021–2023 рр. на полях Інституту кормів та сільського господарства Поділля НААН. Ґрунти – сірі опідзолені з показником рН сольової витяжки 5,2–5,3 та гідролітичною кислотністю 2,1–2,4 мг/екв. на 100 г ґрунту. Як матеріал для досліджень використано шість колекційних зразків люцерни посівної та мінливої: стандарт Синюха (UJ0700134), стандарт Радослава (UJ0700798), Родена (UJ0700800) (Україна) та Malvina (UJ0700641), Antane (UJ0700669), Birute (UJ0700670) (Литва). Закладання селекційних розсадників проводили в 2021 р. літнім безпокровним способом сівби ширококорядно (45 см) для обліку насінневої продуктивності та суцільно (15 см) для обліку кормової. Площа облікової ділянки 24 м² повторність дворазова. Польові дослідження, обліки, спостереження та вимірювання проводили згідно з рекомендаціями (Andriushchenko et al., 2004; Tkachyk et al., 2022) (Liatukienė, Skuodienė, 2018; Xu et al., 2025). Гідротермічні умови за роки проведення досліджень характеризувалися неоднорідними розподілом опадів та температурним режимом порівняно з середньобагаторічними значеннями (рис. 1).

Methods

The study was conducted on the fields of the Institute of Feeds and Agriculture of Podillia of NAAS in 2021–2023. The soils are gray podzolic with a salt extract pH of 5.2–5.3 and a hydrolytic acidity of 2.1–2.4 meq per 100 g of soil. Six collection accessions of alfalfa (*Medicago sativa* L. and *Medicago varia* Martyn) were investigated: the check cultivar 'Syniukha' (UJ0700134), the check cultivar 'Radoslava' (UJ0700798), 'Rodena' (UJ0700800) (Ukraine), 'Malvina' (UJ0700641), 'Antane' (UJ0700669), and 'Birute' (UJ0700670) (Lithuania). The breeding nurseries were established in 2021 using a summer coverless sowing method: wide-row (45 cm) for seed productivity recording and continuous (15 cm) for fodder productivity recording. The plot area was 24 m² with two replications. The field observations, assessments, records, and measurements were carried out in compliance with the guidelines (Andriushchenko et al., 2004; Tkachyk et al., 2022; Liatukienė, Skuodienė, 2018; Xu et al., 2025). The hydrothermal conditions during the research years were characterized by uneven precipitation distribution and temperature regimes compared to the long-term average values (Fig. 1).

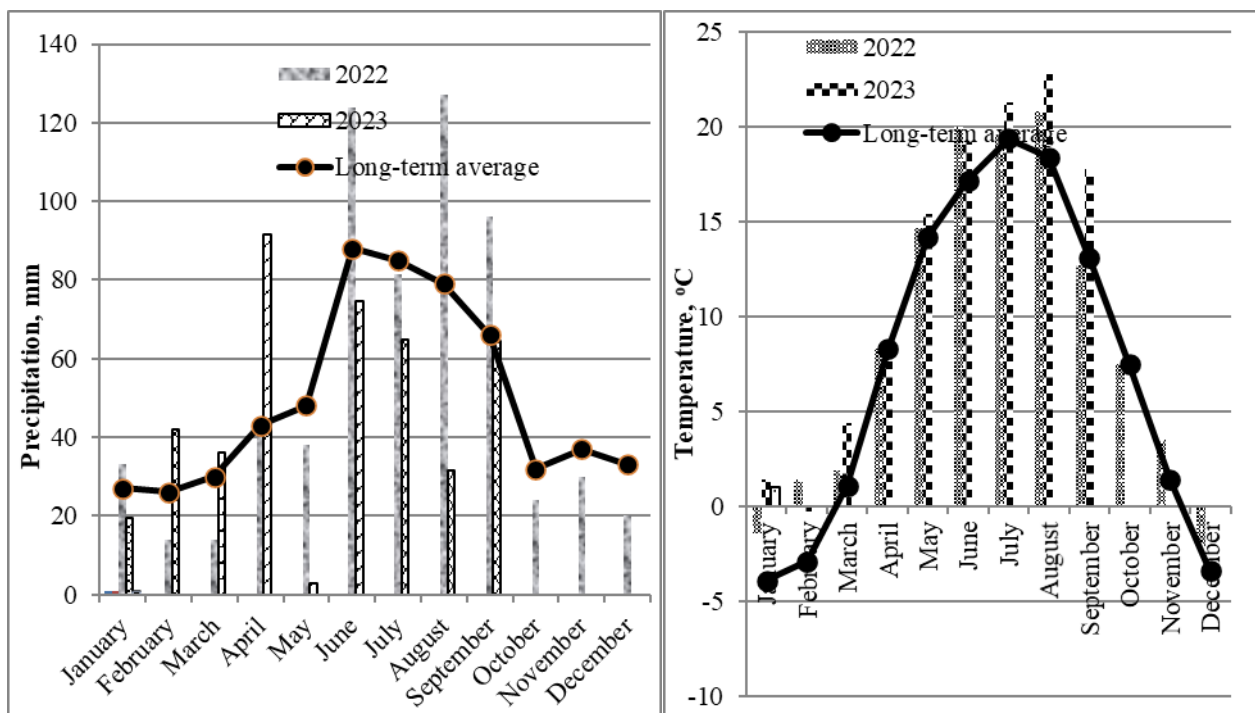


Рис. 1 Кількість опадів та температурний режим 2022–2023 рр.

Fig. 1. Precipitation amount and temperature in 2022–2023.

Більш оптимальними для формування кормової продуктивності рослин люцерни виявився 2023 р., а для насіннєвої – 2022 р. За основний період вегетації (травень-вересень) у 2022 р. спостерігалися такі умови: невелика посуха у травні (ГТК – 0,87), а з червня до вересня – кількість опадів відповідала надлишковим умовам зволоження (ГТК – 2,07, 1,34, 1,97, 2,52) (табл. 1).

2023 proved to be more optimal for alfalfa forage productivity, while 2022 was more favorable for seed productivity. In 2022, during the major part of the growing season (May–September) of 2022, the following meteorological events were documented: a minor drought in May (HTC = 0.87), whereas from June to September, the precipitation amount corresponded to excessive wetting (HTC = 2.07, 1.34, 1.97, and 2.52, respectively) (Table 1).

Таблиця 1. Основні значення гідротермічних ресурсів за період досліджень (2022-2023 рр.).

Table 1. Key parameters of hydrothermal resources during the research period (2022–2023).

Показник / Parameter	Травень / May	Червень / June	Липень / July	Серпень / August	Вересень / September	За весь період / Entire period
Середня температура повітря, °C / Average air temperature, °C	14.7/15.4*	20/19.2	19.6/21.3	20.8/22.8	12.7/17.8	17.6/19.3
Сума опадів, мм / Precipitation amount, mm	38/2.8	124/74.8	81.6/64.8	127/31.5	96/64.4	466.6/238.2
Сума активних температур, °C / Sum of active temperatures, °C	455.7/477.4	600/576	607.6/660.3	644.8/706.8	381/534	2689.1/2954.5
ГТК Селянинова / Selyaninov's HTC	0.83/0.06	2.07/1.3	1.34/0.98	1.97/0.45	2.52/1.21	1.74/0.81

Примітка * — 2022 р./2023 р.

Note: * — 2022 / 2023.

В цілому за 2022 р. ГТК становив 1,74, що відповідає надмірному зволоженню. У 2023 р. з оптимальним та дещо надлишковим вологозабезпеченням були тільки червень, липень та вересень (ГТК – 1,3, 0,98 та 1,21 відповідно) а в наступні місяці спостерігалась посуха різної інтенсивності (ГТК – 0,06, 0,45), в цілому за весь період відзначено ГТК на рівні 0,81, що відповідає умовам слабкої посухи. Статистичне опрацювання даних виконували за допомогою програмного забезпечення “Agrostat”, “Microsoft Excel”.

Overall, in 2022, the HTC was 1.74, which corresponds to excessive wetting. In 2023, optimal or slightly excessive wetting was observed only in June, July, and September (HTC = 1.3, 0.98, and 1.21, respectively), while droughts of varying intensity occurred in the following months (HTC = 0.06, 0.45). Overall, for the entire period, the HTC was 0.81, which corresponds to a mild drought. Data were statistically processed in Agrostat and Microsoft Excel.

Результати та обговорення

За результатами оцінки шести сортів люцерни у екологічному сортовипробуванні впродовж двох років використання виявлено дещо підвищену кормову продуктивність сортів Синюха, Радослава, Antane та Birute порівняно з іншими (табл. 2). Особливо слід відмітити сорти Радослава (12,99 т/га) та Birute (12,67 т/га). У стандартного сорту Синюха збір сухої речовини виявився в межах 11,21 т/га, середній

Results and Discussion

The two-year evaluation of six alfalfa cultivars in the environmental trial demonstrated a slightly increased fodder productivity in 'Syniukha', 'Radoslava', 'Antane', and 'Birute' compared to the others (Table 2). 'Radoslava' (12.99 t/ha) and 'Birute' (12.67 t/ha) should be particularly noted. For the check cultivar 'Syniukha', the dry matter yield was 11.21 t/ha, while the mean interpopulation level (MIL) was

міжпопуляційний рівень становив – 11,08 т/га. Досліджувані сорти продемонстрували дещо зменшений рівень кормової продуктивності в перший рік використання (окрім сортів Синюха та Радослава) та істотно підвищили його на другий рік використання (крім сорту Malvina), що на нашу думку пов'язано з кращим розвитком рослин другого року у порівнянні з першим. При цьому слід відзначити, що умови вологозабезпечення першого року були кращими ніж наступного. Окремо слід відзначити сорт люцерни Antane, який в місці походження також демонстрував підвищену кормову продуктивність (Liatukienė, Skuodienė, 2022). В умовах недостатнього зволоження збір сухої речовини люцерни може складати 3-6 т/га (Xu et al., 2025), при достатньому зволоженні може становити 10-15 т/га, а при зрошенні – 18-20 т/га (Ilić, 2025). Встановлено, що саме волога в умовах глобальних змін клімату є одним із визначальних чинників продуктивності люцерни (Liatukienė, Skuodienė, 2023; Xu, 2025).

11.08 t/ha. The studied cultivars exhibited a slightly decreased fodder productivity in the first year of use (except for 'Synyukha' and 'Radoslava') and significantly increased it in the second year (except for 'Malvina'). In our opinion, this is related to the better development of second-year plants compared to the first-year ones. It should also be noted that the wetting conditions in the first year were more favorable than those in the next year. Specifically, 'Antane' stood out, as it also demonstrated increased fodder productivity in its place of origin (Liatukienė, Skuodienė, 2022). Under insufficient wetting, the dry matter yield of alfalfa can range from 3 to 6 t/ha (Xu et al., 2025), whereas under sufficient wetting, it can reach 10–15 t/ha, and under irrigation — 18–20 t/ha (Ilić, 2025). It was reported that moisture, under global climate change, is one of the determining factors of alfalfa productivity (Liatukienė, Skuodienė, 2023; Xu, 2025).

Таблиця 2. Кормова продуктивність зразків люцерни посівної у розсаднику екологічного сортовипробування у 2022-2023 рр. (2021 р. посіву, рН 5,2–5,3)

Table 2. Fodder productivity of the alfalfa cultivars grown in the environmental trial nursery in 2022–2023 (sown in 2021, pH 5.2–5.3)

Назва зразка, країна походження / Cultivars, country of origin	Збір сухої речовини / Dry matter yield								
	т/га / t/ha			до стандарту Синюха / Relative to 'Syniukha'		до стандарту Радослава / 'Radoslava'		до СМР / Related to MIL	
	2022 р.	2023 р.	Середнє 2022-2023	±	%	±	%	±	%
St Синюха (UKR) / Syniukha, check cultivar (UKR)	10.18	12.23	11.21	-	-	-1.78	86	0.13	101
St Радослава (UKR) / Radoslava, check cultivar (UKR)	10.88	15.11	12.99	1.78	116	-	-	1.91	117
Родена (UKR) / Rodena (UKR)	8.24	10.75	9.50	-1.71	85	-3.49	73	-1.58	86
Malvina (LTU) / Malvina (LTU)	9.21	7.70	8.46	-2.75	75	-4.53	65	-2.62	76
Antane (LTU) / Antane (LTU)	8.15	15.15	11.65	0.44	104	-1.34	90	0.57	105
Birute (LTU) / Birute (LTU)	9.43	15.90	12.67	1.46	113	-0.32	98	1.59	114
СМР* / MIL*	9.35	12.81	11.08						
НІР _{0,05} / LSD _{0,05}	0.53	0.73							

Note: * AIL = mean interpopulation level.

На відміну від кормової продуктивності для формування достатньо високого рівня насінневої, з точки зору забезпеченості елементами живлення, на кислих ґрунтах зростає потреба у високому забезпеченні фосфором, калієм, бором та кальцієм (Baidoo et al., 2025). Оскільки за таких

In contrast to fodder productivity, a sufficiently high level of seed productivity on acidic soils requires a higher supply of phosphorus, potassium, boron, and calcium (Baidoo et al., 2025). This is because, under such conditions, their mobility in the soil and

умов різко зменшується їх мобільність в ґрунті та доступність для рослин, внаслідок чого насіннєва продуктивність різко зменшується (Liatukienė et al., 2025).

За два роки використання серед досліджуваних зразків за насіннєвою продуктивністю виділились сорти Радослава (0,477 т/га) та Antane (0,502 т/га +8 % або 0,038 т/га до St Синюха та 5% або 0,025 т/га St Радослава) (табл. 3). Урожайність насіння становила у стандарту Синюха – 0,464 т/га, СМР – 0,434 т/га. Слід окремо відзначити, що майже всі досліджувані сорти формували свою максимально високу насіннєву продуктивність у перший, більш оптимальний рік використання травостою, а наступного вона зменшувалась більш ніж удвічі. Єдиним винятком можна вважати сорт Birute, який в цілому за два роки сформував урожай насіння не такий високий порівняно з іншими, проте він був відносно сталий за роками (2022 р. – 0,443 т/га та 2023 р. – 0,371 т/га). Створений за умов підвищеної кислотності ґрунту сорт Birute й надалі залишається одним із найбільш продуктивних у Литві (Skuodienė et al., 2023), а отриманий достатньо високий врожай насіння і у наших дослідженнях підтверджує ефективність ведення селекції в таких умовах (Lorenzo et al., 2020).

availability to plants decrease sharply, leading to a significant reduction in seed yield (Liatukienė et al., 2025).

Over two years of use among the studied cultivars, 'Radoslava' (0.477 t/ha) and 'Antane' (0.502 t/ha; +8% or 0.038 t/ha related to 'Synyukha' and 5% or 0.025 t/ha over 'Radoslava') stood out in terms of seed productivity (Table 3). The seed yield from 'Synyukha' was 0.464 t/ha, while the MIL was 0.434 t/ha. It should be separately noted that almost all studied cultivars had their maximum seed productivity in the first, more optimal year of sward use, while in the following year, it decreased by more than half. The only exception was 'Birute', which, while yielding fewer seeds than the other cultivars, remained relatively stable across the study years (0.443 t/ha in 2022 and 0.371 t/ha in 2023). Developed on increased soil acidity, 'Birute' remains one of the most productive cultivars in Lithuania (Skuodienė et al., 2023), and the sufficiently high seed yield harvested in our study confirms the effectiveness of breeding under such conditions (Lorenzo et al., 2020).

Таблиця 3. Насіннєва продуктивність зразків люцерни посівної у розсаднику екологічного сортовипробування у 2022-2023 рр. (2021р. посіву, рН 5,2–5,3)

Table 3. Yield and expression of the valuable economic traits in the winter triticale lines, mean for 2024–2025.

Назва зразка, країна походження / Cultivars, country of origin	Урожайність насіння / Seed yield								
	т/га / t/ha			до стандарту Синюха / Relative to 'Syniukha'		до стандарту Радослава /'Radoslava'		до СМР / Related to MIL	
	2022 р.	2023 р.	Середнє 2022- 2023 рр.	±	%	±	%	±	%
St Синюха (UKR) / Syniukha, check cultivar (UKR)	0.612	0.317	0.464	-	-	- 0.013	97	0.030	107
St Радослава (UKR) / Radoslava, check cultivar (UKR)	0.703	0.251	0.477	0.013	103	-	-	0.043	110
Родена (UKR) / Rodena (UKR)	0.433	0.274	0.354	-0.110	76	- 0.123	74	-0.080	81
Malvina (LTU) / Malvina (LTU)	0.594	0.205	0.400	-0.064	86	- 0.077	84	-0.034	92
Antane (LTU) / Antane (LTU)	0.744	0.260	0.502	0.038	108	0.025	105	0.068	116
Birute (LTU) / Birute (LTU)	0.443	0.371	0.407	-0.057	88	- 0.070	85	-0.027	94
СМР* / MIL *	0.588	0.280	0.434						
HIP _{0,05} / LSD _{0,05}	0.03	0.014							

З метою об'єктивної оцінки якості кормової маси та кількості рослинного білку, якого можна отримати із зазначених зразків, було проведено хімічний аналіз складу сухої речовини (таблиця 4). Підвищеним вмістом протеїну характеризувались сорти Синюха (19,13%), Радослава (19,29%), Malvina (19,89%) та Antane (19,05%), а найменший результат виявлено у сорту Birute лише 16,24 %. Це відповідним чином відобразилося на зборі білка з гектару. Так у сортів Синюха, Радослава, Antane збір сухої речовини становив 11,21, 12,99 та 11,65 т/га при достатньо високому вмісту протеїну їх збір білку склав 2,14, 2,51 та 2,22 т/га відповідно. Тим часом у сорту Birute, при відносно високій кормовій продуктивності (12,67 т/га), забезпечив збір білка лише на рівні 2,06 т/га, що менше стандартного сорту Радослава на 0,45 т/га. Достатньо значними були розбіжності і за рештою ознак.

In order to objectively evaluate the fodder mass quality and plant protein amount obtainable from these cultivars, we conducted a chemical analysis of the dry matter composition (Table 4). An increased protein content was intrinsic to 'Syniukha' (19.13%), 'Radoslava' (19.29%), 'Malvina' (19.89%), and 'Antane' (19.05%), while the lowest protein content was recorded for 'Birute' (16.24%). This was correspondingly reflected in the protein yield per hectare. For 'Syniukha', 'Radoslava', and 'Antane', the dry matter yield was 11.21, 12.99, and 11.65 t/ha, respectively; with a sufficiently high protein content, their protein yield reached 2.14, 2.51, and 2.22 t/ha, respectively. Meanwhile, 'Birute', despite its relatively high fodder productivity (12.67 t/ha), provided a protein yield of only 2.06 t/ha, which is 0.45 t/ha less than from the check cultivar ('Radoslava'). Significant differences were also observed for the other traits.

Таблиця 4. Хімічний аналіз сухої речовини зразків люцерни посівної у розсаднику екологічного сортовипробування у 2022-2023 рр.

Table 4. Chemical analysis of the dry matter in the alfalfa cultivars grown in the environmental trial nursery in 2022–2023.

Назва зразка, країна походження / Cultivars, country of origin	Гігроволога, % / Hygroscopic moisture, %	Масова частка, % у перерахунку на абсолютно суху речовину / Mass fraction, % on a dry matter basis				Збір білка, т/га (середнє 2022-2023 рр.) / Protein yield, t/ha (mean for 2022–2023)
		протеїн / Protein	жир / Fat	клітковина / Fiber	зола / Ash	
St Синюха (UKR) / Syniukha, check cultivar (UKR)	8.04	19.13	5.04	26.08	10.94	2.14
St Радослава (UKR) / Radoslava, check cultivar (UKR)	7.96	19.29	5.58	24.90	12.00	2.51
Родена (UKR) / Rodena (UKR)	7.93	18.70	4.83	23.75	10.75	1.78
Malvina (LTU) / Malvina (LTU)	8.55	19.89	5.39	24.92	12.40	1.68
Antane (LTU) / Antane (LTU)	8.27	19.05	4.89	24.89	10.40	2.22
Birute (LTU) / Birute (LTU)	8.19	16.24	5.70	24.62	9.96	2.06
CMP / MIL	8.16	18.71	5.24	24.86	11.07	2.06
HIP _{0.05} / LSD _{0.05}	0.43	0.99	0.28	1.32	0.59	0.11

За рахунок симбіотичної азотфіксації люцерна здатна накопичувати в межах 15-22 % протеїну (Lorenzo et al., 2020). Досліджувані сорти виділялись середнім рівнем накопичення протеїну в межах 16,24-19,29 %, що є цілком очікувано в умовах підвищеної кислотності ґрунтового середовища, де симбіотична азотфіксація дещо обмежена. На основі відносно

Due to symbiotic nitrogen fixation, alfalfa is capable of accumulating 15–22% of protein (Lorenzo et al., 2020). The studied cultivars were characterized by a medium protein accumulation within 16.24–19.29%, which is entirely expected on increased soil acidity, where symbiotic nitrogen fixation is somewhat limited. Based on the relatively low fiber content

невисоких значень вмісту клітковини (23,75–26,08 %) подібно до інших досліджень (Muir et al., 2025), можна зробити висновки, що клітковина (як і інші показники якості) є динамічними та залежать від реакції рослин на абіотичні та біотичні чинники умов середовища.

Висновки.

Таким чином, проведена оцінка кормової та насінневої продуктивності сортів люцерни в екологічному сорто випробуванні підтверджує складність ведення селекції цієї культури на підвищення насінневої та кормової продуктивності в поєднанні з високою якістю кормової маси та певним рівнем адаптивності до конкретних ґрунтово-кліматичних умов. Виділені сорти Радослава (за кормовою та насінневою продуктивністю, вмістом протеїну та жиру), Синюха (за кормовою продуктивністю, вмістом протеїну та жиру), Antane (за кормовою та насінневою продуктивністю, вмістом протеїну), Birute (за кормовою продуктивністю, вмістом жиру), як донори цінних господарських ознак, можуть бути залучені до селекційного процесу.

Заява про доступність даних: Опубліковані в статті дані знаходяться у відкритому доступі для всіх науковців.

Використання штучного інтелекту (ШІ): При формуванні матеріалів статті штучний інтелект не використовувався.

Відповідність етичним стандартам: Стаття не містить будь-яких досліджень з використанням людей і тварин як об'єктів.

Конфлікт інтересів: Конфлікт інтересів відсутній.

Фінансування: Дослідження фінансувались за рахунок бюджетних коштів в межах виконання завдання 25.01.01.01.Ф «Проведення оцінки генофонду люцерни посівної різного еколого-географічного походження за біологічними та господарсько-цінними ознаками в умовах підвищеної кислотності ґрунтів Правобережного Лісостепу, виділення вихідного матеріалу для створення сортів-синтетиків з рівнем гетерозису 15–20 %» (номер державної реєстрації 0121U107539).

(23.75–26.08%), similar to findings in other studies (Muir et al., 2025), it can be concluded that fiber content (as well as other quality indicators) is dynamic and depends on the plants' response to abiotic and biotic environmental factors.

Conclusions.

Thus, the assessments of fodder and seed productivity of the alfalfa cultivars in the environmental trial confirmed the complexity of breeding this crop for increased seed and fodder productivity in combination with high forage quality and a sufficient adaptability to specific pedo-climatic conditions. 'Radoslava' (due to fodder and seed productivity, protein and fat contents), 'Syniukha' (fodder productivity, protein and fat contents), 'Antane' (fodder and seed productivity, protein content), and 'Birute' (fodder productivity, fat content) are identified as donors of valuable economic traits and can be involved in breeding programs.

Data Availability Statement: The data published in the article are in open access for all researchers.

Use of Artificial Intelligence (AI): Artificial intelligence was not used during the preparation of this article.

Compliance with Ethical Standards: This article does not contain any studies involving human participants or animals as subjects.

Conflict of Interest: The authors declare no conflict of interest.

Funding: The research was funded from the state budget within the project 25.01.01.01.F "Evaluation of the Alfalfa (*Medicago sativa* L.) Gene Pools of Different Eco-geographical Origins for Biological and Economically Valuable Traits on Increased Soil Acidity in the Right-Bank Forest-Steppe and Identification of Starting Materials to Develop Synthetic Cultivars with a Heterosis Level of 15–20%" (State Registration Number 0121U107539).

References

- Baidoo, M. M., Islam, M. A., Atiemo, M. B., Munkaila, M., & Shilpakar, C. (2025). Phosphorus and potassium management in alfalfa production under varied calcium and magnesium soil conditions with harvesting regimes. *Crop Science*, 65(3). <https://doi.org/10.1002/csc2.70065>
- Berenji, S., Moot, D. J., Moir, J. L., Ridgway, H., & Rafat, A. (2017). Dry matter yield, root traits, and nodule occupancy of lucerne and Caucasian clover when grown in acidic soil with high aluminium concentrations. *Plant and Soil*, 416(1–2), 227–241. <https://doi.org/10.1007/s11104-017-3203-3>
- Carlini, B., Lucini, C., & Velázquez, J. (2024). The role of legumes in the sustainable Mediterranean diet: Analysis of the consumption of legumes in the Mediterranean population over the last ten years using PRISMA methodology. *Sustainability*, 16(7), 3081. <https://doi.org/10.3390/su16073081>
- Desta, A. G. (2026). The role of alfalfa (*Medicago sativa* L.) in soil health and greenhouse gas mitigation in integrated crop–livestock systems: A review. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 72(1), 1–16. <https://doi.org/10.1080/03650340.2025.2610090>
- Du, W., Huang, H., Wang, Z.-Y., Yang, G., & Pang, Y. (2025). The calcium-regulated kinase MsCIPK4 confers drought and salt stress tolerance in alfalfa by enhancing ROS scavenging. *Plant Science*. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2025.112646>
- Ferreira, P. A. A., Bomfeti, C. A., Soares, B. L., & Moreira, F. M. D. S. (2012). Efficient nitrogen-fixing *Rhizobium* strains isolated from Amazonian soils are highly tolerant to acidity and aluminum. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 28, 1947–1959. <https://doi.org/10.1007/s11274-011-0997-7>
- Ilić, A., Uhlarik, A., & Mamlić, Z. (2025). Drought stress and production of legumes in Europe. In *Marker-assisted breeding in legumes for drought tolerance* (pp. 77–105). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-96-4112-3_4
- Lakić, Ž., Popović, V., Ćosić, M., & Antić, M. (2022). Genotypic variation of *Medicago sativa* (L.) seed yield components in acid soil under conditions of cross-fertilization. *Genetika*, 54(1), 1–14. <https://doi.org/10.2298/GENSR2201001L>
- Chen, L., Beiyuan, J., Hu, W., Zhang, Z., Duan, C., Cui, Q., Zhu, X., He, H., Huang, X., & Fang, L. (2022). Phytoremediation of potentially toxic elements (PTEs) contaminated soils using alfalfa (*Medicago sativa* L.): A comprehensive review. *Chemosphere*, 293. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.13>
- Liatukienė, A., & Skuodienė, R. (2023). The response of alfalfa cultivars to mobile aluminum toxicity. *Grassland Science*, 69(1), 79–86. <https://doi.org/10.1111/grs.12389>
- Liatukienė, A., Skuodienė, R., Kemešytė, V., & Buhayov, V. (2024). Crops of alfalfa genotypes in soil with very low and very toxic concentrations of mobile aluminium. *Cogent Food & Agriculture*, 10(1). <https://doi.org/10.1080/23311932.2023.2294543>
- Lorenzo, C. D., García-Gagliardi, P., Antonietti, M. S., Sánchez-Lamas, M., Mancini, E., Dezar, C. A., Vazquez, M., Watson, G., Yanovsky, M. J., & Cerdán, P. D. (2020). Improvement of alfalfa forage quality and management through the down-regulation of MsFTa1. *Plant Biotechnology Journal*, 18, 944–954.
- Mendoza-Soto, A. B., Naya, L., Leija, A., & Hernandez, G. (2015). Responses of symbiotic nitrogen-fixing common bean to aluminum toxicity and delineation of nodule responsive microRNAs. *Frontiers in Plant Science*, 6, 587. <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00587>
- Andriushchenko, A. V., Kryvytskyi, K. M., & Veselovska, O. B. (Eds.). (2010). *Methods for examination of alfalfa (Medicago sativa L., M. × varia Martyn) varieties for distinctness, uniformity and stability*. [in Ukrainian]
- Miao, X., Wang, G., Xu, B., Li, R., Tian, D., Ren, J., Li, Z., Fan, T., Zhang, Z., & Xu, Q. (2025). Study on alfalfa water use efficiency and optimal irrigation strategy in agro-pastoral ecotone, northwestern China. *Agronomy*, 15(2), 258. <https://doi.org/10.3390/agronomy15020258>
- Mielmann, A. (2013). The utilisation of lucerne (*Medicago sativa*): A review. *British Food Journal*, 115(4), 590–600. <https://doi.org/10.1108/00070701311317865>
- Muir, J. P., Batista Dubeux, J. C., Santos, M. V. F., et al. (2025). Sustainable warm-climate forage legumes: Versatile products and services. *Grasses*, 4(2), 16. <https://doi.org/10.3390/grasses4020016>
- Öztürk, M. E., Yirün, A., Başak Erdemli-Köse, S., et al. (2022). Evaluation of the toxic effects of thimerosal and/or aluminum hydroxide in SH-SY5Y cell line. *Human & Experimental Toxicology*, 41. <https://doi.org/10.1177/09603271221136206>
- Qin, Q., Qi, J., Xin, X., Xu, D., & Yan, R. (2025). Enhanced wind erosion control by alfalfa grassland compared to conventional crops in Northern China. *Agronomy*, 15, 387. <https://doi.org/10.3390/agronomy15020387>
- Romanova, S. A., Palamarchuk, R. P., & Hryshchenko, O. M. (2023). *Scientific research on monitoring and survey of agricultural lands of Ukraine based on the results of the XI round (2016–2020)*. [in Ukrainian]
- Shi, S., Nan, L., & Smith, K. F. (2017). The current status, problems, and prospects of alfalfa (*Medicago sativa* L.) breeding in China. *Agronomy*. <https://doi.org/10.3390/agronomy7010001>

- Skuodienė, R., Liatukienė, A., & Petrauskas, G. (2023). Comparison of productivity and agro-biological traits of alfalfa populations resistant to mobile Al grown on acidic and neutral soils. *Agronomy*, 13, 156. <https://doi.org/10.3390/agronomy13010156>
- Tedesco, D., Nieto, L., Hernández, C., Rybecky, J. F., Min, D., Sharda, A., Hamilton, K. J., & Ciampitti, I. A. (2022). Remote sensing on alfalfa as an approach to optimize production outcomes: A review of evidence and directions for future assessments. *Remote Sensing*, 14(19), 4940. <https://doi.org/10.3390/rs14194940>
- Tkachyk, S. O. (2015). *Methods for examination of varieties of technical and fodder plants for suitability for dissemination in Ukraine* (3rd ed.). <https://sops.gov.ua/uploads/page/5b7e6970317ba.pdf> [in Ukrainian]
- Xu, L. (2025). *Key ecophysiological adaptations of alfalfa (Medicago sativa L.) to saline environments: Paving the way for salinity-smart crop development* (Doctoral dissertation, University of Groningen). <https://doi.org/10.33612/diss.1206366741>
- Zhang, F., Long, R., Ma, Z., Zhang, Z., Zhou, Y., & Yang, Q. (2024). Evolutionary genomics of climatic adaptation and resilience to climate change in alfalfa. *Molecular Plant*, 17(6), 867–883. <https://doi.org/10.1016/j.molp.2024.04.013>

УДК 635.615:631.527

Л.О. Радченко, О.В. Сергієнко*, Л.Д. Солодовник, С.О. Немченко,
Т.М. Гарбовська

Прояв гетерозису та ступеня домінування за цінними господарськими ознаками у гібридів F1 огірка в умовах захищеного ґрунту

Інститут овочівництва і баштанництва НААН,

селище Селекційне, Харківський р-н, Харківська обл., Україна

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

UDC 635.615:631.527

L.O. Radchenko, O.V. Serhiienko*, L.D. Solodovnyk, S.O. Nemchenko,
T.M. Harbovska

Heterosis and Dominance Degree for Valuable Economic Traits in F1 Cucumber Hybrids Grown in a Greenhouse

Institute of Vegetable and Melon Growing of NAAS,

Selektsiine Village, Kharkivskyi District, Kharkivska Oblast, Ukraine

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

Реферат: Метою дослідження було комплексно оцінити прояв гетерозису та ступінь домінування за основними цінними господарськими ознаками у партенокарпічних гібридів F1 огірка та визначити найбільш перспективні комбінації для селекційного використання. Дослідження проводили впродовж 2021–2025 рр. в Інституті овочівництва і баштанництва НААН в умовах захищеного ґрунту. Встановлено, що урожайність гібридів варіювала від 14,6 до 22,8 кг/м², товарність – від 76 до 90 %, середня маса плоду становила 82–91 г. Відзначено переважання неадитивних генетичних ефектів ($h_p > 1$) за ознаками урожайності. Рівень гетерозису за урожайністю варіював в межах 84–120 %. Найвищий ефект (120 %) і виражене наддомінування ($h_p = 7,3$) виявлено у гібрида F1 (Кузя / Парк). Показники гетерозису за товарністю ($X = 91–106$ %) та скоростиглістю ($X = 94–106$ %) свідчать про переважання адитивного або частково домінантного характеру спадкування цих ознак. РСА-аналіз підтвердив домінуючий внесок показників урожайності у формуванні загальної фенотипової варіабельності досліджуваних генотипів. Після стандартизації показників (Z_{ij}) у межах експерименту обчислено інтегральний індекс селекційної цінності як суму зважених стандартизованих величин. Найвище значення індексу встановлено у гібридів F1 (Парк / Кузя) – 0,948 та F1 (Кузя / Парк) – 0,936, що свідчить про їх високу комплексну цінність. Водночас комбінації за участю ліній Кузя, №11 та Парк характеризувалися найвищими показниками гетерозису та наддомінування за досліджуваними ознаками, що підтверджує їх доцільність як джерела високої комбінаційної здатності у селекції інтенсивних тепличних гібридів. Таким чином, комплексне застосування показників гетерозису, ступеня домінування, індексу селекційної цінності та багатовимірного аналізу дозволяє обґрунтовано виділяти перспективні генотипи для створення конкурентоспроможних гібридів огірка. Поєднання ліній із високим індексом комплексної цінності та джерел інтенсивного гетерозису створює передумови для подальшого удосконалення селекційних програм.

Ключові слова: *Cucumis sativus*, селекція, урожайність, товарність, скоростиглість

Abstract: The purpose of the study was to comprehensively evaluate heterosis and dominance degree for the main valuable economic traits in parthenocarpic F₁ cucumber hybrids and to identify the most promising combinations for breeding practice. The study was conducted in a greenhouse of the Institute of Vegetable and Melon Growing of NAAS in 2021–2025. Hybrids yielded 14.6–22.8 kg/m²; the marketability ranged from 76 to 90%; and the average fruit weight was 82–91 g. The predominance of non-additive genetic

ARTICLE HISTORY. Received: April 12, 2026; revised: April 14, 2026; accepted: April 24, 2026.

CITATION. Radchenko, L. O., Serhiienko, O. V., Solodovnyk, L. D., Nemchenko, S. O., & Harbovska, T. M. (2026). Heterosis and dominance degree for valuable economic traits in F₁ cucumber hybrids grown in a greenhouse. *Plant Breeding and Seed Production*, (129), 65–76. <https://doi.org/10.30835/2413-7510.2026.129.05>

© Radchenko L. O., Serhiienko O. V., Solodovnyk L. D., Nemchenko S. O., Harbovska T. M., 2026

effects ($hp > 1$) for yield traits was noted. The heterosis level for yield varied within 84–120%. The highest effect (120%) and pronounced overdominance ($hp = 7.3$) were found in the F_1 hybrid ‘Kuzia / Park’. Heterosis for marketability ($X = 91$ –106%) and earliness ($X = 94$ –106%) indicate the prevalence of additive or partially dominant inheritance of these traits. PCA confirmed the dominant contribution of yield to the overall phenotypic variability of the studied genotypes. After standardizing the indicators (Z_{ij}) within the experiment, the cumulative index, i.e. breeding value, was calculated as the sum of weighted standardized values. The highest index was recorded for F_1 ‘Park / Kuzia’ (0.948) and F_1 ‘Kuzia / Park’ (0.936), indicating their high complex value. Combinations involving the lines ‘Kuzia’, ‘No. 11’, and ‘Park’ had the highest heterosis and overdominance for the studied traits, confirming their usefulness as sources of high combining ability in the breeding of intensive greenhouse hybrids. Thus, the complex application of several parameters (heterosis, dominance degree, and breeding value) and multivariate analysis allows for the justified identification of promising genotypes for developing competitive cucumber hybrids. The combination of lines with a high complex value and sources of intensive heterosis creates prerequisites for further improvement of breeding programs.

Key words: *Cucumis sativus*, breeding, yield, marketability, earliness.

Вступ

Огірок (*Cucumis sativus* L.) є однією з основних овочевих культур як відкритого, так і захищеного ґрунту. У сучасному овочівництві значну роль відіграють гібриди першого покоління (F_1), створені з використанням ефекту гетерозису, що забезпечує їх перевагу над батьківськими формами за комплексом цінних господарських ознак (Serhiienko et al., 2022; Dhall et al., 2025). Оцінка прояву гетерозису за ключовими продуктивними ознаками є важливим інструментом підвищення врожайності, якості та однорідності гібридів у комерційному виробництві.

Разом із тим, гетерозис має генотип-специфічний характер і значною мірою залежить від поєднання батьківських форм. У огірка відзначається істотна варіабельність прояву гібридного ефекту, що залежить від генетичної віддаленості батьківських форм, їх комбінаційної здатності та напрямку схрещування (Kumari et al., 2021; Serhiienko et al., 2025). Це зумовлює необхідність комплексного вивчення ефекту гетерозису та ступеня домінування за основними ознаками продуктивності для науково обґрунтованого добору вихідного матеріалу.

Численні дослідження вітчизняних та іноземних авторів свідчать, що гетерозис залишається основним фактором створення високопродуктивних гібридів огірка, особливо в умовах тепличного вирощування, де генетичний потенціал F_1 максимально проявляється. За даними Kaur & Dhall (2017), гетерозис сприяє підвищенню загальної та ранньої врожайності, а також покращенню якості плодів.

Introduction

Cucumber (*Cucumis sativus* L.) is a major vegetable crop cultivated both outdoors and indoors. In current olericulture, first-generation (F_1) hybrids play a pivotal role. These hybrids are developed by exploiting heterosis, which ensures their superiority over parental forms in a complex of agronomically important traits (Serhiienko et al., 2022; Dhall et al., 2025). Evaluating heterosis for key performance components is an essential tool for enhancing yield, quality, and uniformity of hybrids in commercial production.

However, heterosis is genotype-specific and largely depends on the combination of parental forms. In cucumber, significant variability in the hybrid effect is observed; it is determined by genetic distance between parents, their combining ability, and crossing direction (Kumari et al., 2021; Serhiienko et al., 2025). This necessitates comprehensive research into heterosis and dominance degree for primary yield traits to ensure a science-based selection of starting materials.

Numerous studies by domestic and foreign researchers indicate that heterosis remains the fundamental factor in creating high-yielding cucumber hybrids, particularly under greenhouse conditions where the genetic potential of F_1 is maximized. According to Kaur & Dhall (2017), heterosis contributes to increased total and early yield, as well as improved fruit quality. Some hybrids were reported to demonstrate significant heterobeltiosis—exceeding the best parent's yield by up to 68.22%, especially when using monoecious or inbred lines (Dhall et al., 2025; Simi et al., 2018). Preethi et al. (2019) achieved a 6–27% increase in the number of fruits per plant in hybrids compared to their parents. At the same time, negative heterosis for the period until the

Повідомлялося, що деякі гібриди демонструють значний гетеробельтіоз – до 68,22 % перевищення врожайності порівняно з найкращим батьком, особливо при використанні одностомних чи інбредних ліній (Dhall et al., 2025; Simi et al., 2018). Preethi et al. (2019) встановили перевищення кількості плодів на рослині у гібридів на 6–27 % порівняно з батьківськими формами. Водночас негативний гетерозис за тривалістю періоду до першого збору врожаю розглядається як селекційно цінна ознака, що забезпечує ранньостиглість і підвищення ринкової привабливості продукції.

Рівень гетерозису суттєво варіює залежно від генотипу батьківських форм і умов вирощування. У тепличних умовах регульовані фактори середовища (температура, вологість, освітлення) мінімізують екологічну варіабельність і створюють сприятливі умови для оцінки генетичних ефектів (Kravchenko et al., 2008; Serhiienko et al., 2026).

Ступінь домінування (h_p) є інформативним показником для характеристики дії генів, що лежать в основі гетерозису. Значення $h_p > 1$ вказують на надмірне домінування (наддомінування), тоді як значення, близькі до нуля, відображають адитивні ефекти. Виявлення гібридів із вираженим наддомінуванням має важливе значення для створення високопродуктивних і стабільних тепличних форм. Разом із тим, в літературі наявні суперечливі дані щодо впливу реципрокних схрещувань і генотипних особливостей батьків на прояв гетерозису, що обмежує можливість прогнозування селекційного ефекту. Окремі автори вказують на переважання позитивного наддомінування за урожайністю, тоді як інші відзначають випадки часткового домінування або навіть гетерозисної депресії, особливо за товарністю та якістю плодів (Lytun & Proskurnyn, 1992; Herath et al., 2021).

У зв'язку з цим актуальним є дослідження ступеня домінування та ефекту гетерозису нових гібридів огірка для відбору найбільш перспективних комбінацій для подальшої селекції та впровадження у виробництво.

Мета дослідження – оцінити прояв гетерозису та ступінь домінування за ознаками врожайності у гібридів партенокарпового огірка F_1 в умовах захищеного ґрунту.

Методика

Дослідження проводили протягом 2021–2025 рр. на базі Інституту овочівництва і баштанництва НААН (Харківська область). Об'єктом досліджень були гібриди F_1 огірка, які

first harvest is considered a valuable breeding trait, as it ensures earliness and enhances the market appeal of the produce.

Heterosis level varies significantly depending on the parental genotypes and growing conditions. In greenhouses, controlled factors (temperature, humidity, illumination) minimize environmental variability, creating favorable conditions for evaluating genetic effects (Kravchenko et al., 2008; Serhiienko et al., 2026).

The dominance degree (h_p) is an informative indicator for characterizing the gene action underlying heterosis. Values of $h_p > 1$ indicate overdominance, while values close to zero reflect additive effects. Identifying hybrids with pronounced overdominance is crucial for developing high-yielding and stable greenhouse forms. However, the literature contains conflicting data regarding the impact of reciprocal crosses and the genotypic characteristics of parents on heterosis, which limits our ability to predict breeding effects. Some authors point to the predominance of positive overdominance for yield, while others note cases of partial dominance or even heterotic depression, particularly regarding marketability and fruit quality (Lytun & Proskurnyn, 1992; Herath et al., 2021).

Therefore, investigating the dominance degree and heterosis in new cucumber hybrids is highly relevant for selecting the most promising combinations for further breeding and commercial introduction.

The purpose of this study was to evaluate the heterosis and dominance degree for yield traits in parthenocarpic F_1 cucumber hybrids grown in a greenhouse.

Methods

The study was conducted at the Institute of Vegetable and Melon Growing of NAAS (Kharkivska Oblast) in 2021–2025. We studied F_1 cucumber hybrids derived by crossing six

були отримані шляхом схрещування 6 інбредних ліній селекції ІОБ НААН: Кузя, Парк, №11, Лор, Арт, Зелений потік (селекції ІОБ НААН). Як стандарти використовували гібриди Лірик F1 St1 (ІОБ НААН) та Кібрія F1 St2 (Нідерланди).

Технологія вирощування відповідала загальноприйнятим рекомендаціям (Chernyshenko et al., 2017). Збір плодів проводили вручну через добу згідно з чинними вимогами стандарту ДСТУ UNECE FFV-15:2012 (2012). Оцінку гібридів здійснювали за показниками урожайності (кг/м²), товарності (%) та середньої маси плоду (г) відповідно до методики випробування на відмінність, однорідність і стабільність (ВОС) (2004).

Ефект гетерозису визначали як відхилення показників гібридів F1 відносно кращого з батьків та стандартів (Acquaah, 2012). Ступінь домінування (hp) розраховували за формулою Griffing для кількісних ознак (Griffing, 1956).

Для оцінки структури взаємозв'язків між цінними господарськими ознаками та виявлення основних джерел фенотипової варіабельності застосовано аналіз головних компонент (Principal Component Analysis, PCA). Інтерпретацію здійснювали за величиною власних значень та факторних навантажень. Графічну візуалізацію результатів представлено у вигляді біplotу першої та другої головних компонент.

З метою комплексної оцінки генотипів розраховано інтегральний індекс селекційної цінності (ІСЦ). Індекс визначали на основі стандартизованих значень показників (Z-score), отриманих у межах досліджуваної вибірки. Вагові коефіцієнти встановлено з урахуванням селекційної значущості ознак і становили відповідно 0,4 – урожайність; 0,3 – продуктивність; 0,2 – товарність та 0,1 – скоростиглість. ІСЦ обчислювали як суму добутків стандартизованих значень показників на відповідні вагові коефіцієнти (Mendes et al., 2009).

Статистичну обробку результатів здійснювали методом дисперсійного аналізу (ANOVA). Значимість різниць оцінювали за критерієм найменшої істотної різниці (LSD) при рівнях значущості $p \leq 0,05$ та $p \leq 0,01$.

Результати та обговорення

Результати сортовипробування свідчать про значний розподіл гібридів F1 за комплексом цінних господарських ознак, що зумовлено генетичною специфікою батьківських

інбредних ліній з селекційної програми Інституту: 'Kuzia', 'Park', 'No. 11', 'Lor', 'Art', and 'Zelenyi Potok'. The hybrids 'Liryk F1' (Ukraine) and 'Kybria F1' (Netherlands) were used as check hybrids (CH₁ and CH₂, respectively).

The cultivation technology followed conventional guidelines (Chernyshenko et al., 2017). Cucumbers were harvested manually every 1 day in accordance with the current requirements of DSTU UNECE FFV-15:2012 (2012). The hybrids were evaluated for yield (kg/m²), marketability (%), and average fruit weight (g) according to the methods for testing for Distinctness, Uniformity, and Stability (DUS) (2004).

The heterosis effect was determined as the deviation of F₁ hybrid performance relative to the better parent and the check hybrids (Acquaah, 2012). The dominance degree (hp) was calculated using Griffing's formula for quantitative traits (Griffing, 1956).

To evaluate relationships between agronomically important traits and to identify the primary sources of phenotypic variability, Principal Component Analysis (PCA) was applied. Interpretation was based on eigenvalues and factor loadings. Results were visualized as a biplot of the first and second principal components.

For a comprehensive assessment of genotypes, the integral index, i.e. breeding value (BV), was calculated. This index was based on standardized values (Z-scores) obtained within the studied sample. Weighting coefficients were established according to the breeding significance of the traits: 0.4 for yield; 0.3 for productivity; 0.2 for marketability; and 0.1 for earliness. The BV was calculated as the sum of the products of standardized trait values and their corresponding weighting coefficients (Mendes et al., 2009).

Statistical processing was performed using Analysis of Variance (ANOVA). The significance of differences was evaluated using the Least Significant Difference (LSD) test at significance levels of $p \leq 0.05$ and $p \leq 0.01$.

Results and Discussion

The trial results indicate a significant distribution of F₁ hybrids across several agronomically important traits, driven by the genetic specificity of the parental components

компонентів (табл. 1). Результати дисперсійного аналізу засвідчили наявність значимих відмінностей між досліджуваними гібридами F₁ за досліджуваними ознаками ($p \leq 0,05$), що підтверджує суттєвий вплив генотипу на формування продуктивності.

(Table 1). ANOVA results revealed significant differences among the studied F₁ hybrids for the evaluated traits ($p \leq 0.05$), confirming the substantial influence of genotype on performance.

Таблиця 1. Характеристика гібридів F₁ огірка за цінним господарськими ознаками в сортовипробуванні (середнє за 2021–2025 рр.)

Table 1. Important agronomic traits of the F₁ cucumber hybrids in trials (average for 2021-2025)

Гібрид / Hybrid	Урожайність / Yield			Товарність, % / Marketability, %	Середня маса товарного плоду, г / Mean marketable fruit weight, g
	кг/м ² / kg/m ²	% до St ₁ / % related to the check hybrid-1	% до St ₂ / % related to the check hybrid-2		
Лірик F ₁ (St ₁) / Liryk F ₁ (check hybrid-1)	20.4	100	-	85	83
Кібрія F ₁ (St ₂) / Kibriia F ₁ (check hybrid-2)	16.1	-	100	80	83
F ₁ (Парк / Кузя) / F ₁ (Park / Kuzia)	19.3	95	120	88	87
F ₁ (Кузя / Парк) / F ₁ (Kuzia / Park)	22.1	109	138	89	86
F ₁ (№11 / Кузя) / F ₁ (№11 / Kuzia)	22.6	111	140	87	84
F ₁ (Кузя / №11) / F ₁ (Kuzia / №11)	22.8	112	142	90	82
F ₁ (Лор / Арт) / F ₁ (Lor / Art)	15.6	77	97	76	89
F ₁ (Арт / Лор) / F ₁ (Art / Lor)	14.6	72	91	77	91
F ₁ (Лор / Зел. пот.) / F ₁ (Lor / Zel. pot.)	16.1	79	100	80	87
F ₁ (Зел.пот. / Лор) / F ₁ (Zel.pot. / Lor)	19.3	95	120	85	84
CV, %	8.2	-	-	5.6	6.4
HP _{0,05} / LSD _{0,05}	1.6	-	-	4.5	5.8

Примітка: вірогідно при $p \leq 0.05$.

Note: significant at $p \leq 0.05$.

Урожайність у стандарту Лірик F₁ (St₁) становила 20,4 кг/м², тоді як Кібрія F₁ (St₂) – 16,1 кг/м². Найвищі показники отримано у гібридів: F₁ (Кузя / №11) – 22,8 кг/м², F₁ (№11 / Кузя) – 22,6 кг/м² та F₁ (Кузя / Парк) – 22,1 кг/м², що перевищувало стандарт Лірик F₁ на 9–12% ($p \leq 0,05$) та Кібрию F₁ – на 38–42 % ($p \leq 0,01$). Суттєво найнижчі показники урожайності ($p \leq 0,05$) відзначено у гібридів за участю ліній Лор та Арт.

Відсоток товарності плодів варіював в межах 76–90% у порівнянні зі стандартасми 80–85 %. Максимальне значення (90%) виявлено у гібрида F₁ (Кузя / №11), що підтверджує поєднання високої врожайності з високою

The yield of ‘Liryk F₁’ (St₁) was 20.4 kg/m², while ‘Kybria F₁’ (St₂) yielded 16.1 kg/m². The highest yields were harvested from the F₁ hybrids ‘Kuzia / No. 11’ (22.8 kg/m²), ‘No. 11 / Kuzia’ (22.6 kg/m²), and ‘Kuzia / Park’ (22.1 kg/m²). They outyielded ‘Liryk F₁’ by 9–12% ($p \leq 0.05$) and ‘Kybria F₁’ by 38–42% ($p \leq 0.01$). Significantly lower yields ($p \leq 0.05$) were harvested from hybrids originating from ‘Lor’ and ‘Art’.

The fruit marketability ranged from 76% to 90%, compared to 80–85% for the check hybrids. The maximum marketability (90%) was documented for ‘Kuzia / No. 11’, confirming the

часткою стандартної продукції. Водночас у гібридів F₁ (Лор / Арт) та F₁ (Арт / Лор) товарність знижувалася до 76–77% ($p \leq 0,05$), що поєднувалося з низькою урожайністю (14,6–15,6 кг/м²).

Середня маса плоду варіювала у межах 82–91 г. Найбільші показники характерні для гібридів за участю лінії Арт (до 91 г), що дозволяє розглядати її як потенційне джерело ознаки крупноплідності. Водночас гібриди з максимальною врожайністю формували плоди 82–84 г, що відповідає вимогам товарного корнішонного типу.

Таким чином, статистичний аналіз підтвердив істотний вплив генотипу на формування продуктивності та якості плодів. Комбінації за участю ліній Кузя та №11 істотно перевищували стандарти за урожайністю без зниження товарності, що обґрунтовує їх використання як батьківських компонентів при створенні високопродуктивних гібридів F₁ інтенсивного типу.

Після комплексної оцінки проведено аналіз прояву ефекту гетерозису і характеру успадкування основних цінних господарських ознак у гібридів F₁ огірка (табл. 2).

combination of high yield with a high proportion of standard produce. Conversely, in ‘Lor / Art’ and ‘Art / Lor’, the marketability decreased to 76–77% ($p \leq 0.05$), which was associated with low yields (14.6–15.6 kg/m²).

The average fruit weight varied between 82 and 91 g. The highest weights were intrinsic to hybrids derived from ‘Art’ (up to 91 g), allowing it to be considered a potential source of the large-fruit trait. At the same time, the hybrids with maximum yields formed fruits weighing 82–84 g, which meets the requirements to commercial gherkins.

Thus, statistical analysis confirmed the significant influence of genotype on fruit productivity and quality. Combinations with ‘Kuzia’ and ‘No. 11’ were significantly superior to the check hybrids in terms of yield without a decline in marketability, justifying their use as parental components in creating high-yielding intensive F₁ hybrids.

Following the comprehensive evaluation, the heterosis effect and inheritance patterns for the main agronomically important traits in the F₁ cucumber hybrids were analyzed (Table 2).

Таблиця 2. Ефект гетерозису та ступінь домінування гібридів F₁ огірка за господарсько-цініми ознаками (середнє за 2021–2025 рр.)

Table 2. Heterosis effect and degree of dominance of F₁ cucumber hybrids based on agronomic traits (average for 2021–2025)

Гібрид / Hybrid	Урожайність / Yield		Товарність / Marketability		Скоростиглість / Earliness	
	hp	X, %	hp	X, %	hp	X, %
F ₁ (Парк / Кузя) / F ₁ (Park / Kuzia)	1.4	101	-1.6	98	1.0	101
F ₁ (Кузя / Парк) / F ₁ (Kuzia / Park)	7.3	120	1.2	101	0.3	100
F ₁ (№11 / Кузя) / F ₁ (№11 / Kuzia)	2.5	114	-3.3	96	-0.8	94
F ₁ (Кузя / №11) / F ₁ (Kuzia / №11)	2.5	114	3.6	102	0.3	95
F ₁ (Лор / Арт) / F ₁ (Lor / Art)	-1.5	90	-3.0	91	1.5	103
F ₁ (Арт / Лор) / F ₁ (Art / Lor)	-2.7	84	-0.7	97	0.9	101
F ₁ (Лор / Зел. пот.) / F ₁ (Lor / Zel. pot.)	-1.6	88	-0.3	95	2.4	106
F ₁ (Зел.пот. / Лор) / F ₁ (Zel.pot. / Lor)	2.2	107	2.2	106	-0.2	99

Примітка: вірогідно при $p \leq 0.05$.

Note: significant at $p \leq 0.05$.

Встановлено суттєву диференціацію комбінацій за напрямом і силою гетерозисної реакції залежно від ознаки. Отримані результати підтверджують загальну закономірність, встановлену сучасними дослідженнями гетерозису огірка, згідно з якою гібриди F₁ здатні суттєво перевищувати батьківські форми за комплексом продуктивних показників. За даними Bhutia et al. (2017), Kumari et al. (2017), Simi et al. (2018), гетерозис у огірка найчастіше проявляється за врожайністю, скоростиглістю та масою плоду, що повністю узгоджується з результатами наших досліджень.

За показником урожайності більшість перспективних комбінацій характеризувалася позитивним наддомінуванням ($hp > 1$), що свідчить про виражений гетерозисний ефект ($X = 107\text{--}120\%$). Найвищий рівень гетерозису ($X = 120\%$, $hp = 7,3$) встановлено у гібрида F₁ (Кузя / Парк), що поєднувалося з високою урожайністю ($22,1 \text{ кг/м}^2$) та вказує на суттєву перевагу гібридного потомства над кращим із батьків. Подібні значення відповідають результатам Kumari et al. (2024, 2025), де гетерозис за врожайністю перевищував 100%. Високий позитивний ефект гетерозису відзначено у гібридів: F₁ (№11 / Кузя) ($X = 114\%$; $hp = 2,5$), F₁ (Кузя / №11) ($X = 114\%$; $hp = 2,5$) та F₁ (Зел.пот. / Лор) ($X = 107\%$; $hp = 2,2$). Високі значення ступеня домінування свідчать про переважання неадитивної генетичної дії, що підтверджує висновки Patil et al. (2024) та Ene et al. (2019) щодо ролі наддомінування у формуванні продуктивності огірка. Натомість гібриди за участю ліній Лор та Арт виявляли гетерозисну депресію ($X = 84\text{--}90\%$; $hp < 0$). Наші висновки узгоджуються з результатами Bisht et al. (2025), які пов'язують негативний гетерозис із недостатньою генетичною дистанцією між батьківськими формами або несприятливими алельними взаємодіями. Подібний розмах варіювання відповідає результатам Malav et al. (2018) та Kumari et al. (2025), які відзначали значні коливання гетеробельтіозу в огірка.

За показником товарності характер прояву гетерозису був різноспрямованим. Позитивний ефект гетерозису відзначено у гібридів F₁ (Кузя / Парк) ($X = 101\%$; $hp = 1,2$), F₁ (Кузя / №11) ($X = 102\%$; $hp = 3,6$) та F₁ (Зел. пот. / Лор) ($X = 106\%$; $hp = 2,2$). У частини гібридів спостерігалася часткове домінування або незначна депресія ($X = 91\text{--}98\%$), що свідчить про складну полігенну природу ознаки та значний вплив адитивного характеру успадкування.

There was a considerable differentiation of combinations based on the direction and strength of the heterotic response depending on the trait. The results confirm a general pattern established in recent studies on heterotic cucumbers, stating that F₁ hybrids can significantly exceed parental forms in several performance indicators. According to Bhutia et al. (2017), Kumari et al. (2017), and Simi et al. (2018), heterosis in cucumber most often manifests in yield, earliness, and fruit weight, which is fully consistent with our findings.

In terms of yield, most promising combinations were characterized by positive overdominance ($hp > 1$), indicating a pronounced heterotic effect ($X = 107\text{--}120\%$). The highest level of heterosis ($X = 120\%$, $hp = 7.3$) was recorded for 'Kuzia / Park' and was combined with a high yield of 22.1 kg/m^2 , indicates a substantial superiority of the hybrid over the better parent. These results are in agreement with those of Kumari et al. (2024, 2025) who reported about heterosis for yield exceeding 100%. A strong positive heterotic effect was also noted in 'No. 11 / Kuzia' ($X = 114\%$; $hp = 2.5$), 'Kuzia / No. 11' ($X = 114\%$; $hp = 2.5$), and 'Zelenyi Potok / Lor' ($X = 107\%$; $hp = 2.2$). High dominance degree indicates the predominance of non-additive genetic action, confirming the conclusions of Patil et al. (2024) and Ene et al. (2019) regarding the role of overdominance in cucumber performance. In contrast, hybrids originating from 'Lor' and 'Art' exhibited heterotic depression ($X = 84\text{--}90\%$; $hp < 0$). Our findings align with the results of Bisht et al. (2025), who link negative heterosis to insufficient genetic distance between parents or unfavorable allelic interactions. Such a range of variation is consistent with the results of Malav et al. (2018) and Kumari et al. (2025), who noted significant fluctuations in heterobeltiosis in cucumber.

As to fruit marketability, the heterosis manifestation was multidirectional. There was a positive heterotic effect in 'Kuzia / Park' ($X = 101\%$; $hp = 1.2$), 'Kuzia / No. 11' ($X = 102\%$; $hp = 3.6$), and 'Zelenyi Potok / Lor' ($X = 106\%$; $hp = 2.2$). In some hybrids, partial dominance or minor depression was observed ($X = 91\text{--}98\%$), indicating a complex polygenic nature of the trait and the significant influence of additive

Загалом товарність виявилася більш стабільною ознакою з меншим розмахом варіювання ступеня домінування порівняно з урожайністю. Подібні результати відзначали Thapliyal et al. (2023), які встановили варіювання стандартного гетерозису за врожайністю до +45,9%, тоді як за якісними ознаками ефект був меншим.

За скоростиглістю більшість гібридів мали незначний позитивний ефект гетерозису ($X = 100\text{--}106\%$), який здебільшого мав характер часткового домінування ($h_p = -0,8\text{...}2,4$). Найкращі показники отримано у гібридів F1 (Лор / Зел. пот.) ($X = 106\%$; $h_p = 2,4$) та F1 (Лор / Арт) ($X = 103\%$; $h_p = 1,5$), що свідчить про прискорене формування врожаю. У гібридів за участю лінії №11 спостерігалася тенденція до деякого зниження скоростиглості ($X = 94\text{--}95\%$), що може вказувати на наявність антагонізму між ранньостиглістю та високою продуктивністю. Подібні переваги жіночого типу цвітіння для формування раннього врожаю встановлені у роботі Bhutia et al. (2017).

Виявлене переважання наддомінування за урожайністю і продуктивністю, що опосередковано свідчить про високий рівень специфічної взаємодії генотипів і відповідає результатам Abd Rabou (2020) та Ene et al. (2019). Поєднання ліній Кузя, №11 і Парк у наших дослідженнях забезпечило високий рівень специфічної взаємодії, що відповідає концепції оптимальної генетичної дистанції між батьківськими формами.

Проведений PCA-аналіз показав, що перша головна компонента (PC1) пояснює близько 80% загальної варіації та тісно пов'язана з показниками урожайності й рівнем гетерозису, тоді як друга компонента (PC2), на яку припадає близько 14 % мінливості, асоційована переважно із середньою масою плоду (рис.1). Такий розподіл підтверджує домінуючу роль гетерозисної продуктивності у формуванні загальної мінливості та узгоджується з класичними уявленнями про переважання неадитивних генетичних ефектів у контролі врожайності (Kumari et al., 2024; Patil et al., 2024). Результати аналізу показують, що гібриди з високим ступенем домінування та ефектом гетерозису (Кузя / №11; Кузя / Парк) розміщені у правому секторі PC1, що підтверджує, що перша головна компонента відображає саме гетерозисну продуктивність. Гібрид F1 (Лор / Арт) розташований у протилежному секторі, що узгоджується з їх негативним ступенем домінування та проявом гетерозисної депресії.

Таким чином, PCA-аналіз PCA продемонстрував узгодженість варіаційної

inheritance. Overall, marketability appeared to be a more stable trait with a narrower range of dominance degree variation compared to yield. Similar findings were reported by Thapliyal et al. (2023), who found that standard heterosis for yield varied up to +45.9%, while the effect on quality traits was less pronounced.

Regarding earliness, most hybrids exhibited a slight positive heterotic effect ($X = 100\text{--}106\%$), which primarily took the form of partial dominance ($h_p = -0.8\text{...}2.4$). The best results were recorded for 'Lor / Zelenyi Potok' ($X = 106\%$; $h_p = 2.4$) and 'Lor / Art' ($X = 103\%$; $h_p = 1.5$), indicating accelerated crop formation. In hybrids derived from 'No. 11', there was a downward trend in earliness ($X = 94\text{--}95\%$), which may suggest an antagonism between early maturity and high productivity. Similar advantages of female flowering for early yield formation were noted by Bhutia et al. (2017).

The identified predominance of overdominance for yield and performance indirectly indicates a high level of specific genotype interaction and aligns with the findings of Abd Rabou (2020) and Ene et al. (2019). In our study, the combinations of 'Kuzia', 'No. 11', and 'Park' ensured a high level of specific interaction, corresponding to the concept of optimal genetic distance between parents.

The PCA showed that the first principal component (PC1) accounts for about 80% of the total variation and is closely related to yield and heterosis levels. Meanwhile, the second component (PC2), accounting for approximately 14% of the variability, is primarily associated with average fruit weight (Fig. 1). This distribution confirms the dominant role of heterotic productivity in shaping overall variability and is consistent with classical views on the predominance of non-additive genetic effects in yield control (Kumari et al., 2024; Patil et al., 2024). The analysis results show that hybrids with a high dominance degree and heterosis effect ('Kuzia / No. 11'; 'Kuzia / Park') are located in the right sector of PC1, confirming that the first principal component reflects heterotic productivity. 'Lor / Art' is situated in the opposite sector, consistent with its negative dominance degree and heterotic depression.

Thus, PCA demonstrated consistency between the variation structure of the traits and heterosis levels in yield formation, a clear

структури ознак із показниками гетерозису у формуванні врожайності, чітку кластеризацію гібридів за рівнем гетерозису та розмежування високопродуктивних і депресивних комбінацій.

clustering of hybrids by heterosis level, and a distinct differentiation between high-yielding and depressive combinations.

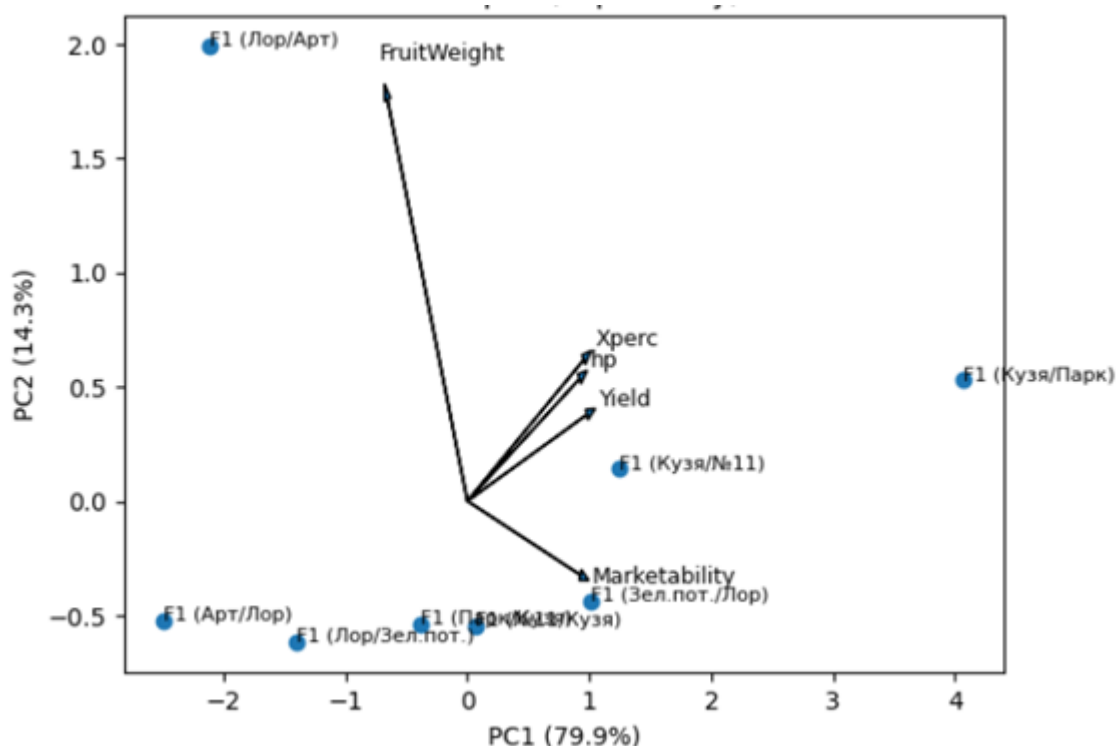


Рис. 1. Біпловт-аналіз головних компонент (PCA), що відображає взаємозв'язок між господарсько-цінними ознаками та просторове розміщення гібридів F1 огірка (2021–2025 pp.)

Fig. 1. Principal component analysis (PCA) biplot visualizing the relationship between economically important traits and the spatial distribution of F1 cucumber hybrids (2021–2025)

Отже, результати аналізу засвідчили системний характер прояву гетерозису у перспективних поєднаннях. Найбільш цінними подальшої для селекції є гібриди: F₁ (Кузя / №11), F₁ (№11 / Кузя), F₁ (Кузя / Парк), що свідчить про високу специфічну комбінаційну здатність ліній Кузя та №11. Загалом встановлено, що урожайність і продуктивність контролюються переважно неадитивними генетичними ефектами, тоді як товарність і скоростиглість мають більш адитивний характер успадкування.

Дані щодо урожайності, товарності та скоростиглості гібридів F₁ були стандартизовані (Z_{ij}) у межах досліджуваної вибірки. На основі суми стандартизованих значень з урахуванням вагових коефіцієнтів розраховано інтегральний індекс селекційної цінності (ІСЦ) (табл. 3). Встановлено, що отриманий індекс дозволяє ефективно ідентифікувати та відбирати найбільш цінні генотипи за комплексом господарсько-цінних ознак. Найвищі значення індексу встановлено у гібридів за участю ліній Кузя та №11, що

Thus, the analysis results demonstrated the systemic nature of heterosis manifestation in promising combinations. The most valuable F₁ hybrids for further breeding are 'Kuzia / No. 11', 'No. 11 / Kuzia', and 'Kuzia / Park', indicating the high specific combining ability of 'Kuzia' and 'No. 11'. Overall, it was established that yield and performance are primarily controlled by non-additive genetic effects, while marketability and earliness exhibit a more additive inheritance pattern.

Data on the yield, marketability, and earliness of the F₁ hybrids were standardized (Z -scores) within the studied sample. Based on the sum of standardized values and considering the weighting coefficients, the integral index (breeding value, BV) was calculated (Table 3). It was established that this index allows for the effective identification and selection of the most valuable genotypes based on a set of economically important traits. The highest index values were detected in hybrids obtained from 'Kuzia' and 'No. 11', confirming their high

підтверджує їх високу селекційну перспективність та доцільність подальшого використання у гібридизації. Гібриди F₁ (Лор / Зел.пот.) і F₁ (Зел. пот. / Лор) мали мінімальне значення індексу, що узгоджується з результатами аналізу гетерозису та PCA-аналізу і свідчить про низький рівень реалізації продуктивного потенціалу.

Отримані результати підтверджують системний характер виявлених закономірностей і узгоджуються з даними гетерозисного та багатовимірного статистичного аналізу.

breeding potential and the feasibility of their further use in hybridization. ‘Lor / Zelenyi Potok’ and ‘Zelenyi Potok / Lor’ had the minimum index values, which aligns with the results of the heterosis and PCA analyses and indicates a low level of productive potential realization.

The obtained results confirm the systemic nature of the identified patterns and are consistent with the data from the heterosis and multivariate statistical analyses.

Таблиця 3. Інтегральний індекс селекційної цінності гібридів F₁ огірка (2021-2025 pp.)

Table 3. Breeding value for F₁ cucumber hybrids (2021–2025)

Гібрид / Hybrid	ІЦІ / BV	Ранг / Range
F ₁ (Парк / Кузя) / F ₁ (Park / Kuzia)	0,948	1
F ₁ (Кузя / Парк) / F ₁ (Kuzia / Park)	0,936	2
F ₁ (№11 / Кузя) / F ₁ (№11 / Kuzia)	0,389	3
F ₁ (Кузя / №11) / F ₁ (Kuzia / №11)	0,156	4
F ₁ (Лор / Арт) / F ₁ (Lor / Art)	0,038	5
F ₁ (Арт / Лор) / F ₁ (Art / Lor)	–0,752	6
F ₁ (Лор / Зел.пот.) / F ₁ (Lor / Zel. pot.)	–0,806	7
F ₁ (Зел. пот. / Лор) / F ₁ (Zel.pot. / Lor)	–0,910	8

Висновки

У результаті досліджень встановлено значну диференціацію гібридів F₁ огірка за рівнем прояву цінних господарських ознак і характером їх успадкування. За врожайністю та продуктивністю більшість перспективних комбінацій виявили виражений гетерозис ($X = 107\text{--}120\%$) із переважанням наддомінування, що свідчить про провідну роль неадитивних генетичних ефектів.

РСА-аналіз підтвердив, що основну частку варіації (80%) формує гетерозисна продуктивність, чітко розмежовуючи високопродуктивні та депресивні комбінації. Ранжування за інтегральним індексом селекційної цінності дозволило виокремити найбільш перспективні гібриди – F₁ (Кузя / Парк), F₁ (Кузя / №11), F₁ (№11 / Кузя). Встановлено, що врожайність контролюється переважно неадитивними ефектами, тоді як товарність і скоростиглість мають більш адитивний характер успадкування.

Лінії Кузя та №11 рекомендовані як цінні джерела для створення високопродуктивних гібридів інтенсивного типу, оскільки виявили високу комбінаційну цінність за більшістю ознак, особливо у поєднаннях між собою та з лінією Парк. Гібриди за участю ліній Лор і Арт

Conclusions

The study demonstrated a significant differentiation in the expression of agronomically important traits and their inheritance patterns among F₁ cucumber hybrids. For yield and performance, most promising combinations exhibited pronounced heterosis ($X = 107\text{--}120\%$) with a predominance of overdominance, indicating the leading role of non-additive genetic effects.

The PCA confirmed that the major portion of the variation (80%) is attributed to heterotic productivity, clearly distinguishing between high-yielding and depressive combinations. Ranking by the cumulative integral index (breeding value) allowed for the identification of the most promising F₁ hybrids ‘Kuzia / Park’, ‘Kuzia / No. 11’, and ‘No. 11 / Kuzia’. It was found that yield is primarily controlled by non-additive effects, while marketability and earliness exhibit a more additive inheritance pattern.

The lines ‘Kuzia’ and ‘No. 11’ are recommended as valuable sources for developing high-yielding intensive hybrids, as they demonstrated high combining ability across most traits, especially in combinations with each other and with the line ‘Park’. The hybrids derived

виявили гетерозисну депресію та мають обмежену селекційну перспективність.

Таким чином, результати не лише підтверджують дані світових досліджень, а й доповнюють їх у контексті тепличного вирощування партенокарпічних гібридів, формуючи практичні рекомендації для подальшої селекційної роботи.

Заява про доступність даних: Основні дані включені до статті. Дані, що підтверджують результати цього дослідження, доступні при зверненні до автора для кореспонденції.

Використання штучного інтелекту (ШІ): При виконанні роботи генеративний штучний інтелект не використовувався.

Відповідність етичним стандартам: Стаття не містить будь-яких досліджень з використанням людей і тварин як об'єктів.

Конфлікт інтересів: Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів.

Фінансування: Робота виконана в рамках ПНД НААН 20 «Овочівництво і баштанництво» за завданням 20.00.01.06. Ф «Розроблення методичних підходів для використання стійких до стресових факторів зовнішнього середовища ліній та створення толерантного гетерозисного гібриду огірка з високою адаптивною здатністю».

from 'Lor' and 'Art' showed heterotic depression and have limited breeding potential.

Thus, the results not only confirm the global findings but also complement them in the context of greenhouse cultivation of parthenocarpic hybrids, providing operational recommendations for further breeding practice.

Data Availability Statement: The basic data are included in the article. The data that support the findings of this study are available from the corresponding author.

Use of Artificial Intelligence (AI): No generative artificial intelligence was used during the preparation of this paper.

Compliance with Ethical Standards: This article does not contain any studies involving human participants or animals as subjects.

Conflict of Interest: The authors declare no conflict of interest.

Funding: This study was conducted within the NAAS Scientific Research Program 20 "Vegetable and Melon Growing," project No. 20.00.01.06.F: "Development of Methodical Approaches for Using Lines Resistant to Environmental Stressors and Creating a Tolerant Heterotic Cucumber Hybrid with High Adaptive Capacity."

References

- Abd Rabou, A. M. (2020). Heterosis and combining ability in cucumber under salt condition. *Plant*, 20(2), 9643–9650.
- Acquaah, G. (2012). *Principles of plant genetics and breeding* (2nd ed.). Wiley-Blackwell.
- Bhutia, T. L., Munshi, A. D., Behera, T. K., Sureja, A. K., & Lal, S. K. (2017). Combining ability for yield and yield related traits and its relationship with gene action in cucumber. *Indian Journal of Horticulture*, 74(1), 51–55. <https://doi.org/10.5958/0974-0112.2017.00013.5>
- Bisht, Y. S., Singh, D. K., Bhatt, R., Rawat, A. S., Kumar, M., Singh, S. S., & Bisht, C. (2025). Exploitation of heterosis and combining ability in cucumber (*Cucumis sativus*) for earliness and yield contributing traits. *The Indian Journal of Agricultural Sciences*, 95(11), 1387–1392. <https://doi.org/10.56093/ijas.v95i11.153972>
- Chernyshenko, V. I., Pashkovskiy, A. Kh., & Kyrii, P. I. (2017). *Modern open-field olericulture technologies*. Kyiv. [in Ukrainian]
- Griffing, B. (1956). Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems. *Australian Journal of Biological Sciences*, 9, 463–493.
- Dhall, R. K., Hegde, S. N., Singathiya, P., & Manchanda, P. (2025). Heterotic potential and combining ability for yield and quality attributes in slicing cucumber (*Cucumis sativus* L.). *Scientific Reports*, 15, 43937. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-27768-2>
- DSTU UNECE FFV-15:2012. (2012). *Fresh cucumbers: Specifications*. [in Ukrainian]
- Ene, C. O., Ogbonna, P. E., Agbo, C. U., & Chukwudi, U. P. (2019). Heterosis and combining ability in cucumber (*Cucumis sativus* L.). *Information Processing in Agriculture*, 6(1), 150–157. <https://doi.org/10.1016/j.inpa.2018.07.008>
- Herath, H. M. S. N., Rafii, M. Y., Ismail, S. I., Nakasha, J. J., & Ramlee, S. I. (2021). Improvement of important economic traits in chilli through heterosis breeding: A review. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 96, 14–23. <https://doi.org/10.1080/14620316.2020.1780162>
- Kaur, K., & Dhall, R. K. (2017). Heterosis and combining ability for yield and yield attributes in cucumber (*Cucumis sativus* L.). *SABRAO Journal of Breeding and Genetics*, 49, 94–103.

- Kravchenko, V. A., Prylipka, O. V., & Yanchuk, N. I. (2008). *Cucumber: Breeding, seed production, technologies*. Kyiv. [in Ukrainian]
- Kumari, P., Dhall, R. K., Garg, N., Lnu, R., & Singathiya, P. (2024). Heterosis and combining ability for yield and quality traits in monoecious, gynoeceous and parthenocarpic parental lines of cucumber (*Cucumis sativus* L.) under tropical condition. *Euphytica*, 220. <https://doi.org/10.1007/s10681-024-03349-8>
- Kumari, P., Dhall, R. K., Lnu, R., Singathiya, P., Praveen, S., & Manchanda, P. (2025). Studies on heterotic pattern for earliness, yield and quality traits in cucumber. *Tropical Plant Biology*, 18. <https://doi.org/10.1007/s12042-024-09390-0>
- Kumari, R., Kumar, R., & Kumar, S. (2017). Combining ability and heterosis for TSS and seed traits in cucumber (*Cucumis sativus* L.). *Vegetable Science*, 44(1), 12–17. <https://doi.org/10.61180/5n4j4x71>
- Kumari, R., Kumar, R., & Mehta, D. K. (2021). Expression of heterosis and residual heterosis for traits of earliness and yield in cucumber. *Scientia Horticulturae*, 277. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109781>
- Lytun, P. P., & Proskurnyn, N. V. (1992). *Genetics of quantitative traits: Genetic crosses and genetic analysis*. Kyiv. [in Russian]
- Malav, N., Mohan, L. Y., & Maurya, I. B. (2018). Heterosis and combining ability in cucumber (*Cucumis sativus* L.). *International Journal of Chemical Studies*, 6(3), 457–460.
- Mendes, F. F., Ramalho, M. A. P., & Abreu, Â. F. B. (2009). Selection index for choosing segregating populations of common bean. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 44(10), 1312–1318. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2009001000015>
- Protection of Plant Variety Rights. (2004). *Methodology for conducting examination of varieties for distinctness, uniformity, and stability (DUS)* (pp. 56–66). Kyiv. [in Ukrainian]
- Patil, N. S., Bhalekar, M. N., Dhakare, B. B., Latke, S. B., & Shinde, G. C. (2024). Heterosis for important quantitative traits in cucumber (*Cucumis sativus* L.). *International Journal of Advanced Biochemistry Research*, 8(5), 807–818. <https://doi.org/10.33545/26174693.2024.v8.i5j.1191>
- Preethi, G. P., Anjanappa, M., Ramachandra, R. K., & Vishnuvardhana. (2019). Heterosis studies for yield and quality traits in cucumber (*Cucumis sativus* L.). *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 8(3), 925–932. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2019.803.110>
- Serhiienko, O. V., Harbovska, T. M., Solodovnyk, L. D., Radchenko, L. O., Chaiuk, O. O., & Nemchenko, S. O. (2025). *Methodological approaches in heterosis breeding of cucumber for stress resilience*. Vinnytsia. <https://doi.org/10.32717/agroscience.book.2025.02> [in Ukrainian]
- Serhiienko, O. V., Shabetia, O. M., Ivchenko, T. V., Harbovska, T. M., Solodovnyk, L. D., & Radchenko, L. O. (2022). Evaluation of new indoor-grown parthenocarpic F1 cucumber hybrids. *Vegetable and Melon Growing*, 71, 25–32. <https://doi.org/10.32717/01310062-2022-71-16-24> [in Ukrainian]
- Serhiienko, O., Radchenko, L., Solodovnyk, L., Nemchenko, S., & Harbovska, T. (2026). New tolerant parthenocarpic cucumber hybrid Miiia F1 for protected ground. *Vegetable and Melon Growing*, 78, 32–41. <https://doi.org/10.32717/0131-0062-2025-78-32-41> [in Ukrainian]
- Simi, F., Ivy, N., Saif, H., Akter, S., & Anik, M. (2018). Heterosis in cucumber (*Cucumis sativus* L.). *Bangladesh Journal of Agricultural Research*, 42(4), 731–747. <https://doi.org/10.3329/bjar.v42i4.35801>
- Thapliyal, V., Dhall, R. K., Manchanda, P., & Kaur, H. (2023). Utilizing novel parthenocarpic gynoeceous cucumber inbreds for exploiting heterotic potential. *Euphytica*, 219, 1–18. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-2635338/v1>

УДК: 633.854.78 : 631.527 : 575 : 632.9

Д.В. Курилич*, К.М. Макляк, О.Г. Супрун, Н.В. Кузьмишена, Т.М. Кираш
**Мінливість цінних господарських ознак та стійкості до вовчка у
високоолеїнових гібридів соняшнику**

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

*E-mail: kurilich94@gmail.com

UDC: 633.854.78 : 631.527 : 575 : 632.9

D.V. Kurylych*, K.M. Makliak, O.H. Suprun, N.V. Kuzmyshena, T.M. Kyrash
**Variability of Valuable Economic Traits and Broomrape Resistance in High-
Oleic Sunflower Hybrids**

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

*E-mail: kurilich94@gmail.com

Реферат: Селекцію сучасних гібридів соняшнику спрямовано на поєднання в одному генотипі кількох господарських ознак. У статті викладено результати досліджень особливостей прояву в першому гібридному поколінні соняшнику таких цінних ознак, як висока врожайність та крупність насіння, високий вміст олії в насінні, високий вміст олеїнової кислоти в олії, ранньостиглість, стійкість до вовчка. Вивчено мінливість досліджених ознак залежно від генотипу та року випробувань гібридів. Виділено гібридні комбінації, що поєднують високий і підвищений вміст олеїнової кислоти в олії з іншими господарськими ознаками. За показником «ступінь фенотипового домінування» визначено особливості успадкування цінних господарських ознак у першому гібридному поколінні.

Ключові слова: *Helianthus annuus*, гібрид, *Orobanche cumana*, стійкість до вовчка, жирнокислотний склад олії, господарські ознаки, ступінь фенотипового домінування.

Abstract: Modern sunflower hybrid breeding is focused on combining multiple economic traits within a single genotype. The article presents results on the expression of valuable traits in the first hybrid generation of sunflower, such as high yield, large seeds, high oil content, high oleic acid content, early maturity, and broomrape resistance. The variability of these traits was examined in relation to the genotype and the year of hybrid testing. Hybrid combinations were identified that combine high oleic acid content with other economic traits. Based on phenotypic dominance degree, inheritance patterns for valuable economic traits in the first hybrid generation were determined.

Key words: *Helianthus annuus*, hybrid, *Orobanche cumana*, broomrape resistance, fatty acid composition of oil, economic traits, phenotypic dominance degree.

Вступ

Соняшник є провідною технічною і рентабельною культурою, яка займає в нашій країні більше 70% від загальної площі під олійними культурами. Незважаючи на це, стрімке розширення площ та недотримання сівозмін під соняшником призвело до низки негативних наслідків, зокрема, до зниження родючості ґрунтів, зростання дефіциту доступної вологи та посилення деградаційних процесів у чорноземах,

Introduction

Sunflower is a leading industrial and profitable crop, occupying more than 70% of the total oilseed acreage in our country. Despite this, the rapid expansion of its acreage and non-compliance with crop rotations have led to several negative consequences, including decreased soil fertility, an increasing deficit of available moisture, intensification of degradation

ARTICLE HISTORY. Received: April 17, 2026; revised: April 23, 2026; accepted: April 24, 2026.

CITATION. Kurylych, D. V., Makliak, K. M., Suprun, O. H., Kuzmyshena, N. V., & Kyrash, T. M. (2026). Variability of valuable economic traits and broomrape resistance in high-oleic sunflower hybrids. *Plant Breeding and Seed Production*, (129), 77–92. <https://doi.org/10.30835/2413-7510.2026.129.06>

© Kurylych D. V., Makliak K. M., Suprun O. H., Kuzmyshena N. V., Kyrash T. M.

поширення шкідників, хвороб, бур'янів та рослини-паразита вовчка (Sydiakhina et al., 2023; Shevchenko et al., 2024). Вовчок соняшниковий приєднується до судинної системи кореня рослини-хазяїна, використовуючи її як джерело води та поживних речовин, що призводить до фізіологічного виснаження рослин. Внаслідок цього утворюється щупле насіння, зменшується врожайність, збільшується ураженість збудниками хвороб, а втрати врожаю в крайніх випадках можуть досягти 100 % (Velasco et al., 2012).

Впровадження нових високоврожайних стійких гібридів та інтенсивних технологій вирощування є однією з основних умов розширення виробництва насіння соняшнику (Alberio et al., 2015; Akkaya et al., 2018; Alberio et al., 2018). Селекцію сучасних гібридів соняшнику спрямовано на поєднання цінних господарських ознак – високої урожайності та її складових, ранньостиглості, високого вмісту олії в насінні, високого вмісту олеїнової кислоти в олії, низькорослості, стійкості до біотичних та абіотичних факторів. На вітчизняному селекційному матеріалі доведено можливість поєднання стійкості до вірулентних рас вовчка соняшникового з цінними господарськими ознаками (Kurylych, Makliak, 2024).

Соняшникова олія з високим вмістом олеїнової кислоти Омега 9 (мононенасичений тип) вважається корисною для здоров'я людини. Така олія повільніше окислюється та має довший термін зберігання (Rauf et al., 2017; Aşkın et al., 2020). За використання системи органічного землеробства вирощування високоолеїнового соняшнику забезпечить екологічну рівновагу в структурі посівних площ, дотримання науково обґрунтованих обсягів посіву соняшнику без зменшення економічної ефективності (Yurkevych et al., 2022).

В Інституті рослинництва ім. В.Я. Юр'єва НААН програму з поліпшення якісного складу олії соняшнику селекціонери здійснюють впродовж останніх 30 років (Kyrychenko et al., 2000; Kyrychenko et al., 2004; Kyrychenko et al., 2011). Основними жирними кислотами в олії соняшнику є ненасичені кислоти – олеїнова та лінолева, співвідношення яких може змінюватися в широких межах залежно від генотипу, погодних і ґрунтових умов. Для отримання гібридів соняшнику найчастіше залучають у селекцію лінії лінолевого типу. Але нині більш перспективними вважають гібриди соняшнику з високим вмістом олеїнової кислоти. Залучення в селекцію двох батьківських компонентів олеїнового типу призводить до отримання гібридних комбінацій, насіння яких містить

processes in chernozems, and the spread of pests, diseases, weeds, and the parasitic plant broomrape (Sydiakhina et al., 2023; Shevchenko et al., 2024). Sunflower broomrape attaches to the vascular system of the host plant's root, using it as a source of water and nutrients, which leads to physiological depletion of the plant. Consequently, shriveled seeds are formed, yield decreases, susceptibility to pathogens rises, and in extreme cases, yield losses can reach 100% (Velasco et al., 2012).

New high-yielding, resistant hybrids and intensive cultivation technologies are prerequisites for expanding sunflower seed production (Alberio et al., 2015; Akkaya et al., 2018; Alberio et al., 2018). Current sunflower breeding aims to combine valuable economic traits: high yield and its components, early maturity, high seed oil content, high oleic acid content in oil, short stature, and resistance to biotic and abiotic factors. On domestic breeding material, it was proven that combining resistance to virulent races of sunflower broomrape with valuable economic traits is possible (Kurylych & Makliak, 2024).

Sunflower oil with a high content of Omega-9 oleic acid (monounsaturated) is considered beneficial for human health. Such oil oxidizes more slowly and has a longer shelf life (Rauf et al., 2017; Aşkın et al., 2020). In organic farming, the cultivation of high-oleic sunflower will ensure ecological balance in the acreage structure and adherence to scientifically based sunflower planting volumes without reducing economic efficiency (Yurkevych et al., 2022).

At the Yuriev Plant Production Institute of NAAS, breeders have been striving to improve sunflower oil quality for the past 30 years (Kyrychenko et al., 2000; Kyrychenko et al., 2004; Kyrychenko et al., 2011). The major fatty acids in sunflower oil are unsaturated ones—oleic and linoleic—the ratio of which can vary within wide limits depending on the genotype, weather, and soil. Linoleic lines are most commonly involved in breeding to develop sunflower hybrids. However, high-oleic sunflower hybrids are currently considered more promising. Involving two oleic parents in breeding results in hybrid combinations whose seeds contain top-quality oil with the highest oleic acid content.

високоякісну олію з найвищим вмістом олеїнової кислоти.

Метою досліджень стало визначення рівня прояву та мінливості цінних ознак, що включають покращений жирнокислотний склад олії, стійкість до вовчка, ранньостиглість та високий рівень прояву ознак продуктивності у F1 гібридів соняшнику; дослідження особливостей поєднання в першому гібридному поколінні цих важливих господарських ознак та встановлення закономірностей успадкування досліджених ознак.

Методика

Польові дослідження проведені протягом 2023–2024 рр. на дослідних полях Інституту рослинництва ім. В.Я. Юр'єва НААН у лабораторії селекції та генетики соняшнику. Як стандарт (ст.) у групі гібридів з середнім та високим вмістом олеїнової кислоти в олії використовували гібрид Кадет.

У польових дослідах проводили фенологічні спостереження. Відзначали фазу сходів рослин при появі на поверхні ґрунту сім'ядоль. Фазу повної стиглості визначали за кольором кошика, коли на ділянці залишалось приблизно 10-15 % рослин з жовтими кошиками, а решта набувала жовто-бурого та бурого кольору та була сухою.

Для визначення вмісту олії в насінні та маси 1000 насінин, після очищення насіння від домішок і висушування до стандартної вологості відбирали робочу пробу з кожної облікової ділянки. Масу 1000 насінин визначали згідно з ДСТУ 4138-2002. Вміст олії в насінні визначали методом ядерно-магнітного резонансу на приладі Oxford instruments MQC-5 згідно з ДСТУ ISO 10565. Для аналізу вмісту олії відбирали насіння з вільно запилюваних рослин.

Склад жирних кислот визначали на газовому хроматографі «Селміхром 1» за модифікованою методикою Пейскера (Prokhorova, 1982). Для аналізу жирнокислотного складу олії відбирали насіння з рослин, ізольованих під час цвітіння одинарними ізоляторами, виготовленими з агроволокон.

Для визначення врожайності, насіння збирали на кожній ділянці шляхом суцільного зрізування кошиків з наступним обмолотом. Вагу насіння з ділянки перераховували на тонни з гектара та приводили до вологості 10%.

Оцінку зразків на стійкість до вовчка проводили в умовах теплиці (Кириченко та ін., 1987). Насіння зразків висівали в пластикові стакани об'ємом 0,5 л з інфікованою ґрунтовою сумішшю (2 г суміші насіння вовчка на 5 кг ґрунту). Для досліджень використовували насіння

The purpose of this study was to determine levels of the expression and variability of valuable traits, including improved fatty acid composition of the oil, broomrape resistance, early maturity, and performance in F1 sunflower hybrids; to study the patterns of combining these important economic traits in the first hybrid generation and to establish inheritance patterns of the traits under investigation.

Methods

The field investigations were conducted during at the experimental fields of the Yuriev Plant Production Institute of NAAS in the Laboratory of Sunflower Breeding and Genetics in 2023–2024. 'Kadet' was used as the check hybrid for the group of hybrids with medium and high oleic acid content in the oil.

Phenological observations were performed during the field experiments. The emergence was recorded when the cotyledons appeared on the soil surface. Full maturity was determined by head color, when approximately 10-15% of the plants in the plot retained yellow heads, while the rest turned yellow-brown or brown and were dry.

To determine the oil content and thousand-seed weight, a sample was taken from each record plot after the seeds were cleaned of impurities and dried to standard moisture levels. The thousand-seed weight was determined in accordance with DSTU 4138-2002. The seed oil content was determined by nuclear magnetic resonance on an Oxford Instruments MQC-5 analyzer in accordance with DSTU ISO 10565. For oil content analysis, seeds were collected from open-pollinated plants.

The fatty acid composition was determined using a Selmikhrom-1 gas chromatograph by the modified Peisker method (Prokhorova, 1982). For analysis of the fatty acid composition of the oil, seeds were harvested from plants isolated during anthesis under individual agrofiber bags.

To determine the yield, seeds were harvested from each plot by head-to-head cutting, followed by threshing. The seed weight from the plot was converted to tons per hectare and adjusted to 10% moisture.

Broomrape resistance was assessed in a greenhouse (Kyrychenko et al., 1987). Seeds were sown in 0.5 L plastic cups filled with an infected soil mixture (2 g of broomrape seed mixture per 5 kg of soil). For the research, broomrape seeds

вовчка, зібране в популяції виду на промислових посівах соняшнику в Харківському районі Харківської області, на полях з суттєвим ураження паразитом, де ступінь ураження становив 8 і більше бульбочок на рослину.

Необхідні параметри для розвитку вовчка: температура повітря +24...+28 °C; відносна вологість повітря 70...80 %; 16-ти годинний період освітленості; регулярний полив. Облік кількості бульбочок паразита проводили через 40 діб після сівби насіння соняшнику. Для цього рослини виймали з ґрунту й промивали у воді. Ураження вовчком визначали візуально, шляхом підрахунку кількості бульбочок паразита на корінні кожної рослини, що оцінювали. Обчислювали ступінь ураження шляхом поділу суми бульбочок паразиту на всіх рослинах зразка на загальну кількість рослин зразка, що оцінювали.

У F₁ визначали ступінь фенотипового домінування (hp) цінних господарських ознак за стійкістю до вовчка, врожайністю насіння, тривалістю періоду «сходи–повна стиглість» (ТПСПС), масою 1000 насінин, вмістом олії в насінні, вмістом олеїнової кислоти в олії (Griffing, 1950).

Упродовж 2023–2024 рр. досліджено 22 гібридні комбінації та 20 ліній – їх батьківських компонентів. Для більшості ознак за кращий рівень прояву вважали більше значення. Для ступеня ураження вовчком кращим проявом вважали більшу стійкість, тобто менший ступінь ураження. Для ТПСПС за краще вираження вважали менше вираження ознаки, тобто ранньостиглість. Інтерпретацію значень hp здійснювали за Beil et al. (1965). Згідно зі значеннями hp, виділяли такі типи успадкування ознак: позитивне наддомінування (ПН); часткове позитивне домінування (ЧПН), проміжне успадкування (ПУ); часткове негативне домінування (ЧНД); негативне наддомінування (НН).

Достовірність різниці між варіантами досліду визначали на 5% рівні значимості. Статистичний параметр $HP_{0.05}$ обчислювали за загальноприйнятою методикою (Rozhkov et al., 2016).

Результати та обговорення

З метою визначення особливостей прояву вмісту олеїнової кислоти в олії та стійкості до вовчка в першому гібридному поколінні, до тест-схрещування залучено лінії, різноманітні за вмістом олеїнової кислоти в олії (табл. 1).

were used that had been taken from a population in commercial sunflower fields in the Kharkivskyi District of the Kharkivska Oblast, specifically in fields with significant parasite infestation where the infection intensity was 8 or more tubercles per plant.

The necessary parameters for broomrape development included: air temperature +24...+28 °C; relative humidity 70...80%; a 16-hour photo-period; and regular watering. The number of parasite tubercles was recorded 40 days after sowing the sunflower seeds. For this purpose, the plants were removed from the soil and washed in water. Broomrape infection was determined visually by counting the number of parasite tubercles on the roots of each evaluated plant. The infection intensity was calculated by dividing the total number of parasite tubercles on all plants of the sample by the total number of evaluated plants in the sample.

In F₁, the phenotypic dominance degree (hp) for valuable economic traits—broomrape resistance, seed yield, length of the "emergence–full maturity" period (EFMP), thousand-seed weight, seed oil content, and oleic acid content in the oil—was determined (Griffing, 1950).

In 2023–2024, 22 hybrid combinations and 20 lines (their parental components) were studied. For most traits, a higher value was considered the better level of expression. For broomrape infection intensity, better expression meant higher resistance, i.e., a lower degree of infection. For EFMP, a weaker expression of the trait, indicating early maturity, was considered better. The interpretation of hp values was performed according to Beil et al. (1965). Based on hp values, the following types of inheritance were identified: positive overdominance (POD); partial positive dominance (PPD); intermediate inheritance (II); partial negative dominance (PND); and negative overdominance (NOD).

The statistical significance of differences between experimental variants was assessed at a 5% level. LSD 0.05 was calculated by the traditional method (Rozhkov et al., 2016).

Results and Discussion

To determine expression patterns of the "oleic acid content" and "broomrape resistance" traits in the first hybrid generation, lines with various oleic acid content in the oil were involved in test crosses (Table 1).

Таблиця 1. Вміст олеїнової кислоти в олії насіння ліній-батьківських компонентів гібридів соняшнику, % до суми кислот, 2023–2024 рр.

Table 1. Oleic acid content in the seed oil of the parental lines of sunflower hybrids, % of total fatty acids, 2023–2024

Лінія / Line	2023	2024	Середнє / Mean	Лінія / Line	2023	2024	Середнє / Mean
Cx 1006 A / Skh 1006 A	25.5	27.5	26.5	X3Y 3 B / KhZU 3 V	19.0	21.0	20.0
Cx 808 A / Skh 808 A	19.3	22.7	21.0	X3Y 8 B / KhZU 8 V	25.0	29.0	27.0
Cx 81 A / Skh 81 A	25.0	31.1	28.0	X3Y 22 B / KhZU 22 V	24.0	27.4	25.7
Cx 83 A / Skh 83 A	85.5	87.2	86.4	X3Y 30 B / KhZU 30 V	21.0	23.5	22.3
X3Y 37 B / KhZU 37 V	19.0	18.3	18.6	IU 075136 / IU 075136	49.3	52.9	51.1
X3Y 39 B / KhZU 39 V	18.0	18.9	18.5	IU 075135 / IU 075135	19.4	27.0	23.2
X 1814 B / Kh 1814 V	24.3	26.2	25.2	IU 075139 / IU 075139	20.5	27.0	23.8
X 1817 B / Kh 1817 V	28.9	33.8	31.4	IU 075137 / IU 075137	44.6	56.5	50.6
X3Y 10 B / KhZU 10 V	21.1	24.6	22.8	IU 075138 / IU 075138	86.9	84.9	85.9
X3Y 23 B / KhZU 23 V	20.3	30.4	25.3	IU 075134 / IU 075134	25.0	26.9	26.0

У середньому за два роки, лініям Cx 83 A та IU 075138 був притаманний високий вміст олеїнової кислоти (86,4 та 85,9%, відповідно), лініям IU 075136 та IU 075137 – середній вміст олеїнової кислоти (51,1 та 50,6%, відповідно). Інші лінії, залучені до схрещувань, віднесено до групи ліній низькоолеїнового (лінолевого) типу. Середній за два роки вміст олеїнової кислоти в їх олії варіював від 18,5% (X3Y 39 B) до 31,4 % (X 1817 B).

З порівняння даних за 2023 і 2024 рр. видно, що вміст олеїнової кислоти за роками варіював несуттєво. Незначні варіювання цього показника за роками досліджень підтверджують відносну стабільність ознаки в різних умовах середовища, що узгоджується з даними щодо контролю вмісту олеїнової кислоти в соняшниковій олії генетичними факторами. Водночас встановлено певну тенденцію до підвищення вмісту олеїнової кислоти в умовах 2024 року, що може бути пов'язане з особливостями температурного режиму в період наливу насіння, а саме з залежністю між підвищеними температурами повітря та інтенсивністю синтезу олеїнової кислоти (Makliak et al., 2014).

Не виявлено ліній, які в один рік випробувань можна віднести до групи високо- або середньоолеїнових, у другий рік – до групи низькоолеїнових. Серед ліній групи низькоолеїнових, залежно від погодних умов року найбільшою мірою вміст олеїнової кислоти варіював у лінії X3Y 23 B – від 20,3 % у 2023 році

On average across two years, the lines ‘Skh 83 A’ and ‘IU 075138’ were characterized by a high oleic acid content (86.4% and 85.9%, respectively), while the lines ‘IU 075136’ and ‘IU 075137’ showed a medium oleic acid content (51.1% and 50.6%, respectively). Other lines involved in the crosses were classified as low-oleic (linoleic) lines. Their two-year mean values of oleic acid content in the oil varied from 18.5% (‘KhZU 39 V’) to 31.4% (‘Kh 1817 V’).

A comparison of the 2023 and 2024 data shows that the oleic acid content varied insignificantly across the years. Minor variations in this parameter confirm the relative stability of the trait under different environmental conditions, which is consistent with data regarding the genetic control of oleic acid content in sunflower oil. At the same time, there was an upward trend in oleic acid content in 2024, which may be related to the specific temperature regime during the seed filling period, namely the correlation between elevated air temperatures and oleic acid synthesis intensity (Makliak et al., 2014).

No lines were identified that could be classified into the high- or medium-oleic groups in one year of testing and into the low-oleic group in the other. Among the low-oleic lines, depending on the weather, the oleic acid content varied most significantly in ‘KhZU 23 V’ – from

до 30,4% у 2024 році, тобто збільшився на 10,1%. У середньоолеїнової лінії ІУ 075137 вміст олеїнової кислоти залежно від погодних умов року варіював від 44,6 у 2023 році до 56,5% у 2024 році, тобто збільшився на 11,9%. Мінливість вмісту олеїнової кислоти в олії насіння інших ліній була менш помітною, його зростання у 2024 році варіювало від 0,9% у лінії ХЗУ 39 В до 7,6% у лінії ІУ 075135.

Оцінка успадкування цінних господарських ознак у першому гібридному поколінні за показником «ступінь фенотипового домінування» була успішною на соняшнику як для ознак продуктивності (Носаль та ін., 2017), так і для ознак стійкості до збудників хвороб (Левицька та ін., 2023). Відомості про особливості успадкування різних цінних господарських ознак у гібридів F1 можуть бути використані в селекційному процесі при створенні гібридів відповідно до ринкових вимог.

Вміст олеїнової кислоти в олії 12-ти стійких до вовчка гібридних комбінацій соняшнику, створених з участю наведених вище ліній олеїнового типу, у 2023 році варіював від 45,0 до 86,5% та у 2024 році від 48,8 до 86,9% (табл. 2). Ступінь фенотипового домінування ознаки варіював у 2023 році від -0,01 до 1,04, а у 2024 році від -0,23 до 0,74. Гібриди цієї групи порівнювали з високоолеїновим гібридом Кадет, із середнім за два роки вмістом олеїнової кислоти в олії 83,9% та ступенем ураження вовчком 3,60 та 11,3 бульбочки на рослину у 2023 і 2024 році, відповідно.

За вмістом олеїнової кислоти перевищила стандарт одна гібридна комбінація – Сх 83 А × ІУ 075138, із вмістом олеїнової кислоти 86,5 і 86,9%. Оскільки ступінь ураження вовчком цієї комбінації становив 0,00 та 0,23 бульбочки у 2023 і 2024 році, відповідно. Цю комбінацію охарактеризовано як високоолеїнову та стійку до вовчка. Виявлення подібної гібридної комбінації підтверджує можливість одночасного поєднання якісних та адаптивних ознак в одному генотипі соняшника, що є одним із ключових завдань сучасної гетерозисної селекції.

Ступінь фенотипового домінування ознаки стійкості до вовчка досліджених 12 гібридів варіював у 2023 році від 0,77 до 2,51, а у 2024 році від 0,30 до 1,03, тобто за ступенем гібриди можна віднести до типів від проміжного успадкування ознаки до позитивного наддомінування (гетерозису).

Особливу увагу привернула лінія Сх 83 А, використання якої у схрещуваннях забезпечило формування гібридних комбінацій із стабільно високим або середнім вмістом олеїнової кислоти. Це може свідчити про наявність у генотипі

20,3% in 2023 to 30,4% in 2024, i.e., it increased by 10,1%. In the medium-oleic line 'IU 075137', the oleic acid content varied from 44.6% in 2023 to 56.5% in 2024, meaning an increase of 11.9%. The variability of oleic acid content in the seed oil of the other lines was less noticeable: in 2024, the increase in this parameter ranged from 0.9% in 'KhZU 39 V' to 7.6% in 'IU 075135'.

The evaluation of the inheritance of valuable economic traits in the first hybrid generation using phenotypic dominance degree was successful in sunflower both for performance traits (Nosal et al., 2017) and for resistance to pathogens (Levytska et al., 2023). Information on the inheritance patterns of different valuable economic traits in F1 hybrids can be utilized in breeding to create hybrids that meet market requirements.

The oleic acid content in the oil of 12 broomrape-resistant sunflower hybrids, which had been originated from the aforementioned oleic lines, varied from 45.0 to 86.5% in 2023 and from 48.8 to 86.9% in 2024 (Table 2). The phenotypic dominance degree (hp) for the trait varied from -0.01 to 1.04 in 2023 and from -0.23 to 0.74 in 2024. The hybrids of this group were compared with the high-oleic hybrid 'Kadet', which had a two-year mean oleic acid content of 83.9% and a broomrape infection intensity of 3.60 and 11.3 tubercles per plant in 2023 and 2024, respectively.

One hybrid combination - 'Skh 83 A × IU 075138' – was superior to the check cultivar in terms of oleic acid content, with values of 86.5% and 86.9%. Since the broomrape infection intensity in this combination was 0.00 and 0.23 tubercles in 2023 and 2024, respectively, it was classified as high-oleic and broomrape-resistant. Such a hybrid combination confirms that it is possible to combine qualitative and adaptive traits within a single sunflower genotype, which is a key objective of current heterosis breeding.

The phenotypic dominance degree (hp) for the "broomrape resistance" trait in the 12 studied hybrids varied from 0.77 to 2.51 in 2023 and from 0.30 to 1.03 in 2024. Thus, based on the dominance degree, the hybrids can be categorized into groups ranging from intermediate inheritance of the trait to positive overdominance (heterosis).

Particular attention was drawn to 'Skh 83 A', crossing of which resulted in hybrids with consistently high or medium oleic acid content. This may indicate the presence of effective alleles in this genotype controlling the "oleic acid

ефективних алелів, що контролюють відповідну ознаку, а також про їх домінантний характер успадкування. Господарські ознаки кращих за врожайністю гібридних комбінацій з лінією Сх 83 А наведено в таблиці 3.

content” trait and their dominant inheritance. The economic traits of the hybrids derived from ‘Skh 83 A’ that performed best in terms of yield are presented in Table 3.

Таблиця 2. Вміст олеїнової кислоти в олії насіння стійких до вовчка гібридних комбінацій соняшнику, % до суми кислот, і ступінь ураження вовчком, шт., 2023–2024 рр.

Table 2. Oleic acid content in the seed oil of broomrape-resistant sunflower hybrids (% of total fatty acids) and broomrape infection intensity (tubercles/plant), 2023–2024

Гібридна комбінація / Hybrid combination	Вміст олеїнової кислоти, % до суми кислот / Oleic acid content, % of total fatty acids				Ступінь ураження вовчком, шт. / Broomrape infection intensity, tubercles/plant			
	2023	h _p	2024	h _p	2023	h _p	2024	h _p
Cx 1006 A × IU 075137 / Skh 1006 A × IU 075137	45.0	1.04	48.8	0.47	0.00	1.40	0.34	0.84
Cx 1006 A × IU 075138 / Skh 1006 A × IU 075138	57.6	0.05	60.9	0.16	0.00	2.51	0.56	0.74
Cx 83 A × X1814 B / Skh 83 A × Kh1814 V	65.5	0.35	71.4	0.48	0.26	0.77	0.78	0.30
Cx 83 A × X1817 B / Skh 83 A × Kh1817 V	64.7	0.27	68.4	0.30	0.00	1.12	0.22	0.88
Cx 83 A × X3Y 3 B / Skh 83 A × KhZU 3 V	65.2	0.39	67.2	0.40	0.00	1.02	0.12	0.89
Cx 83 A × X3Y 8 B / Skh 83 A × KhZU 8 V	61.0	0.19	63.0	0.17	0.00	1.04	0.22	0.80
Cx 83 A × X3Y 10 B / Skh 83 A × KhZU 10 V	70.4	0.53	69.8	0.44	0.34	0.86	0.00	1.03
Cx 83 A × X3Y 22 B / Skh 83 A × KhZU 22 V	68.0	0.43	69.1	0.40	0.26	0.77	0.56	0.50
Cx 83 A × IU 075134 / Skh 83 A × IU 075134	61.0	0.19	62.3	0.17	0.00	1.20	0.22	0.80
Cx 83 A × IU 075137 / Skh 83 A × IU 075137	71.9	0.34	77.8	0.39	0.00	2.25	0.00	1.01
Cx 83 A × IU 075138 / Skh 83 A × IU 075138	86.5	0.43	86.9	0.74	0.00	1.41	0.23	0.83
Cx 83 A × IU 075139 / Skh 83 A × IU 075139	52.6	–0.01	50.1	–0.23	0.17	1.19	0.56	0.58
Кадет – ст. / Kadet, check hybrid	85.4	–	82.4	–	3.60	–	11.3	–

Table 3. Economic traits of the top-yielding sunflower hybrids derived from ‘Skh 83 A’, 2023–2024

Гібридна комбінація /	Урожайність насіння, т/га / Seed yield, t/ha				ТПСПС, діб / EFMP, days				Вміст олії в насінні, % / Seed oil content, %			
	2023	hp	2024	hp	2023	hp	2024	hp	2023	hp	2024	hp
Cx 83 A × X 1814 B / Skh 83 A × Kh 1814 V	2.27	1.51	2.31	2.81	111 ¹⁾	–3.33	110 ¹⁾	–0.33	49.4	5.46	53.6	–0.57
Cx 83 A × X3Y 10 B / Skh 83 A × KhZU 10 V	1.61 ²⁾	4.04	2.11	2.16	106	–0.33	105 ²⁾	1.52	47.8	25.0	52.9	0.75
Cx 83 A × X3Y 22 B / Skh 83 A × KhZU 22	2.19	1.43	2.23	2.37	104 ²⁾	–1.00	103 ²⁾	15.0	44.6 ²⁾	0.90	48.9 ²⁾	0.49
Cx 83 A × X3Y 30 B / Skh 83 A × KhZU 30 V	2.08	1.29	2.12	2.00	104 ²⁾	–0.94	103 ²⁾	0.28	47.3 ²⁾	2.08	51.6 ²⁾	–6.50
Cx 83 A × X3Y 37 B / Skh 83 A × KhZU 37 V	2.07	1.37	2.11	2.31	103 ²⁾	–0.88	102 ²⁾	–0.08	49.5	2.00	53.7	1.57
Cx 83 A × X3Y 39 B / Skh 83 A × KhZU 39 V	1.98	1.42	2.02	2.09	104 ²⁾	–0.95	103 ²⁾	–0.02	50.4	3.04	54.6	1.68
Cx 83 A × IU 075136 / Skh 83 A × IU 075136	2.06	1.35	2.10	2.72	108	–2.85	107	0.72	46.9 ²⁾	1.64	51.2 ²⁾	0.30
Cx 83 A × IU 075137 / Skh 83 A × IU 075137	1.75 ²⁾	0.76	1.97	1.50	102 ²⁾	–0.15	106	0.18	40.6 ²⁾	–3.00	52.9	0.88
Cx 83 A × IU 075138 / Skh 83 A × IU 075138	1.91	1.04	2.08	2.32	101 ²⁾	–0.10	112 ¹⁾	–3.60	45.7 ²⁾	1.14	50.2 ²⁾	–59.0
Кадет ст. / Kadet, check hybrid	2.30	–	2.35	–	108	–	113	–	49.4	–	57.5	–
HIP _{0.05} порівняння з середнім значенням / LSD _{0.05} in comparison with the mean value	0.31	–	0.27	–	1.8	–	1.2	–	2.7	–	2.1	–
HIP _{0.05} попарного порівняння / LSD _{0.05} for pair comparisons	0.44	–	0.38	–	2.5	–	1.7	–	3.9	–	3.0	–

Примітка 1. ¹⁾ – значимо перевищує середнє значення за дослідом ($p<0.05$). /
Note 1. ¹⁾ – significantly higher than the mean value in the experiment ($p<0.05$).
Примітка 2. ²⁾ – значимо нижче за середнє значення за дослідом ($p<0.05$). /
Note 2. ²⁾ – significantly lower than the mean value in the experiment ($p<0.05$).

За вмістом олії в насінні, всі наведені гібридні комбінації були на рівні середнього значення або мали вміст олії в насінні нижчий за таке значення.

Чотири гібридні комбінації з наведених з материнською лінією Сх 83 А за даними двох років досліджень віднесено до ранньостиглих: Сх 83 А × ХЗУ 22 В, Сх 83 А × ХЗУ 30 В, Сх 83 А × ХЗУ 37 В, Сх 83 А × ХЗУ 39 В. Також вони достигали раніше, ніж стандарт Кадет, у якого ТПСПС становила 108 і 113 діб у 2023 і 2024 році, відповідно. У 2023 році були більш пізньостиглими порівняно до стандарту гібридні комбінації Сх 83 А × Х 1814 В (111 діб) та Сх 83 А × ІУ 075136 (108 діб). Інші сім гібридних комбінацій мали ТПСПС від 101 до 106 діб. У 2024 році всі гібридні комбінації мали ТПСПС від 102 до 112 діб.

Згідно з показником «ступінь фенотипового домінування» за ознакою «стійкість до вовчка», гібридні комбінації розподілено на п'ять груп: позитивне наддомінування, часткове позитивне домінування, проміжне успадкування, часткове негативне домінування та негативне наддомінування. Отже, щодо стійкості до вовчка, встановлено широкий діапазон варіювання показника фенотипового домінування. Така варіабельність свідчить про складну генетичну природу цієї ознаки та можливу участь кількох генів із різним типом взаємодії.

Далі всередині кожної групи ми розділили гібридні комбінації на групи залежно від типу успадкування за кожною з цінних господарських ознак: вміст олеїнової кислоти в олії, урожайність насіння, маса 1000 насінин, вміст олії в насінні та ТПСПС.

Для дослідження успадкування стійкості до вовчка визначали ступені домінування ознаки тільки у гібридних комбінацій олеїнового типу. Успадкування стійкості до вовчка за типом повного наддомінування було притаманне 27,3 % гібридних комбінацій олеїнового типу (табл. 4, табл. 5). Часткове позитивне домінування стійкості до вовчка продемонстрували 45,5% гібридних комбінацій олеїнового типу, проміжне успадкування – 9,09%, часткове негативне домінування – 4,55%, негативне наддомінування – 13,6%. Це свідчить про те, що більшості гібридних комбінацій олеїнового типу було притаманне позитивне наддомінування та часткове позитивне домінування ознаки стійкості до вовчка.

Більшість гібридних комбінацій олеїнового типу мали проміжний тип успадкування

Regarding seed oil content, all the listed hybrids were at the level of the mean value or had an oil content lower than the mean.

Based on two-years data, four of the presented hybrid combinations with the maternal line 'Skh 83 A' were classified as early-maturing: 'Skh 83 A × KhZU 22 V', 'Skh 83 A × KhZU 30 V', 'Skh 83 A × KhZU 37 V', and 'Skh 83 A × KhZU 39 V'. They also matured earlier than 'Kadet' (check hybrid), which had an EFMP of 108 and 113 days in 2023 and 2024, respectively. In 2023, the hybrid combinations 'Skh 83 A × Kh 1814 V' (111 days) and 'Skh 83 A × IU 075136' (108 days) matured later than the check hybrid. The other seven hybrids had an EFMP ranging from 101 to 106 days. In 2024, all hybrid combinations had an EFMP from 102 to 112 days.

According to the phenotypic dominance degree for the "broomrape resistance" trait, the hybrids were divided into five groups: positive overdominance, partial positive dominance, intermediate inheritance, partial negative dominance, and negative overdominance. Thus, regarding broomrape resistance, there was a wide range of variation in the phenotypic dominance degree. Such variability indicates a complex genetic nature of this trait and possible involvement of several genes with different types of interactions.

Furthermore, within each group, we divided the hybrids into subgroups depending on the inheritance type for each of the valuable economic traits: oleic acid content in the oil, seed yield, thousand-seed weight, seed oil content, and EFMP.

In the investigation of the inheritance of the "broomrape resistance" trait, the dominance degrees for this trait were determined only for oleic hybrids. The inheritance of broomrape resistance by complete overdominance was intrinsic to 27.3% of the oleic hybrid combinations (Table 4, Table 5). Partial positive dominance of broomrape resistance was demonstrated by 45.5% of the oleic hybrids, intermediate inheritance – by 9.09%, partial negative dominance – by 4.55%, and negative overdominance – by 13.6%. This indicates that the majority of oleic hybrid combinations exhibited positive overdominance and partial positive dominance of the "broomrape resistance" trait.

високого вмісту олеїнової кислоти в олії. В умовах 2023 року також встановлено успадкування вмісту олеїнової кислоти за типами часткового позитивного домінування, проміжного успадкування і часткового негативного домінування. За успадкування стійкості до вовчка за типом позитивного наддомінування, 16,7% гібридних комбінацій показали позитивне наддомінування вмісту олеїнової кислоти в олії, 16,7% – часткове позитивне домінування, 50% – проміжне успадкування, і 16,7% – негативне наддомінування ознаки. За типом часткового позитивного домінування стійкості до вовчка, 10% гібридних комбінацій мали часткове позитивне домінування вмісту олеїнової кислоти в олії, тоді як інші гібридні комбінації (90%) мали проміжне успадкування ознаки.

За врожайністю насіння в умовах 2023 року, крім успадкування за типом часткового позитивного наддомінування, встановлено переважно позитивне наддомінування. Гібридні комбінації групи позитивного наддомінування стійкості до вовчка показали 83,3% позитивного наддомінування і 16,7% часткового позитивного домінування врожайності насіння. Гібридні комбінації групи часткового позитивного домінування стійкості до вовчка показали 80,0% позитивного наддомінування, 10,0% часткового позитивного домінування і 10,0% проміжного успадкування урожайності насіння.

В умовах 2023 року успадкування маси 1000 насінин у більшості гібридних комбінацій спостерігали позитивне наддомінування високої маси 1000 насінин. Винятком були гібриди, які за успадкуванням стійкості до вовчка віднесено до типу негативного наддомінування ознаки, вони мали проміжне успадкування ознаки високої маси 1000 насінин.

За вмістом олії в насінні у більшості гібридних комбінацій спостерігали успадкування за типом позитивного наддомінування високого вмісту.

The majority of oleic hybrid combinations exhibited intermediate inheritance of oleic acid content in the oil. In 2023, inheritance of oleic acid content was also inherited by partial positive dominance, intermediate inheritance, and partial negative dominance. In the group of inheritance of broomrape resistance by positive overdominance, 16.7% of hybrid combinations showed positive overdominance for oleic acid content in the oil, 16.7% – partial positive dominance, 50% – intermediate inheritance, and 16.7% – negative overdominance for the trait. In the group of partial positive dominance of broomrape resistance, 10% of hybrid combinations exhibited partial positive dominance for oleic acid content, while the other hybrid combinations (90%) showed intermediate inheritance of the trait.

As to seed yield, in 2023, in addition to inheritance by partial positive overdominance, positive overdominance was predominantly recorded. Hybrid combinations in the positive overdominance group for broomrape resistance showed 83.3% positive overdominance and 16.7% partial positive dominance for seed yield. Hybrid combinations in the partial positive dominance group for broomrape resistance showed 80.0% positive overdominance, 10.0% partial positive dominance, and 10.0% intermediate inheritance for seed yield.

In 2023, the inheritance of thousand-seed weight in the majority of hybrid combinations was defined as positive overdominance for high thousand-seed weight. The exceptions were hybrids classified by broomrape resistance inheritance as negative overdominance; they exhibited intermediate inheritance for high thousand-seed weight.

As to seed oil content, the majority of hybrid combinations inherited high oil content by positive overdominance.

Таблиця 4. Кількість гібридних комбінацій за типом успадкування ознак, %, 2023 рік
Table 4. Number of hybrid combinations by trait inheritance type, %, 2023

Ступені домінування стійкості до вовчка / Dominance degree for broomrape resistance	Вміст олеїнової кислоти в олії / Oleic acid content in the oil			Урожайність насіння / Seed yield			Маса 1000 насінин / 1000-seed weight			Вміст олії в насінні / Seed oil content			ТПСПС / EFMP		
	ПН / POD	ЧПД / PPD	ПУ / П	ЧНД / PND	ПН / POD	ЧПД / PPD	ПУ / П	ПН / POD	ПУ / П	ПН / POD	ЧПД / PPD	НН / NOD	ПУ / П	ЧНД / PND	НН / NOD
ПН / POD	16.7	16.7	50.0	16.7	83.3	16.7	0.00	100.0	0.00	83.3	0.00	16.7	33.3	0.00	66.7
ЧПД / PPD	0.00	10.0	90.0	0.00	80.0	10.0	10.0	100.0	0.00	80.0	20.0	0.00	10.0	30.0	60.0
ПУ / П	0.00	0.00	50.0	50.0	100.0	0.00	0.00	100.0	0.00	50.0	50.0	0.00	50.0	0.00	50.0
ЧНД / PND	0.00	0.00	100.0	0.00	100.0	0.00	0.00	100.0	0.00	100.0	0.00	0.00	0.00	100.0	0.00
НН / NOD	0.00	66.7	33.3	0.00	100.0	0.00	0.00	0.00	100.0	100.0	0.00	0.00	0.00	66.7	33.3

Таблиця 5. Кількість гібридних комбінацій за типом успадкування ознак, %, 2024 рік
Table 5. Number of hybrid combinations by trait inheritance type, %, 2024

Ступені домінування стійкості до вовчка / Dominance degree for broomrape resistance	Вміст олеїнової кислоти в олії / Oleic acid content in the oil		Урожайність насіння / Seed yield	Маса 1000 насінин / 1000-seed weight			Вміст олії в насінні / Seed oil content					ТПСПС / EFMP				
	ЧПД / PPD	ПУ / П	ПН / POD	ПН / POD	ЧПД / PPD	ПУ / П	ПН / POD	ЧПД / PPD	ПУ / П	ЧНД	НН / NOD	ПН / POD	ЧПД / PPD	ПУ / П	ЧНД	НН / NOD
ПН / POD	33.3	66.7	100.0	100.0	0.00	0.00	33.3	16.7	33.3	0.00	16.7	0.00	16.7	50.0	16.7	16.7
ЧПД / PPD	0.00	100.0	100.0	30.0	50.0	20.0	30.0	20.0	30.0	20.0	0.00	60.0	20.0	10.0	0.00	10.0
ПУ / П	50.0	50.0	100.0	100.0	0.00	0.00	0.00	50.0	0.00	0.00	50.0	0.00	0.00	0.00	50.0	50.0
ЧНД / PND	0.00	100.0	100.0	0.00	100.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.0	0.00	0.00	100.0	0.00	0.00
НН / NOD	66.7	33.3	100.0	66.7	33.3	0.00	100.0	0.00	0.00	0.00	0.00	33.3	0.00	66.7	0.00	0.00

В умовах 2023 року встановлено успадкування вмісту олії також за типами часткового позитивного домінування і негативного наддомінування.

За успадкування стійкості до вовчка за типом позитивного наддомінування, 83,3% гібридних комбінацій виявили позитивне наддомінування вмісту олії в насінні, а 16,7% проявили навпаки негативне наддомінування ознаки. За успадкування стійкості до вовчка за типом часткового позитивного домінування, 80,0% гібридних комбінацій мали позитивне наддомінування вмісту олії в насінні, в той час як 20,0% мали часткове позитивне домінування ознаки.

Для ТПСПС кращим показником вважали менший прояв ознаки, тобто ранньостиглість. В умовах 2023 року установлені три типи успадкування ТПСПС: проміжне успадкування, часткове негативне домінування і негативне наддомінування пізньостиглості, які виявлені всередині практично всіх груп, сформованих за типом успадкування стійкості до вовчка. Переважала кількість гібридних комбінацій з успадкуванням ТПСПС за типом негативного наддомінування (від 0,00 до 66,7%), тобто тривалість їх вегетаційного періоду була більшою, ніж тривалість вегетаційного періоду більш пізньої батьківської лінії. Для гібридних комбінацій найбільш цікавих за типом успадкування стійкості до вовчка груп (позитивного наддомінування і часткового позитивного домінування), успадкування за типом негативного наддомінування пізньостиглості виявлено у 66,7 і 60,0% гібридних комбінацій. Ці дві групи включали також комбінації з проміжним успадкуванням ТПСПС (33,3 і 10,0%). У групі з частковим позитивним домінуванням стійкості до вовчка присутні 30,0% комбінацій з частковим негативним домінуванням пізньостиглості.

Разом із тим встановлено, що успадкування тривалості вегетаційного періоду часто відбувалося за типом негативного наддомінування, що призвело до подовження періоду вегетації. Це може бути обмежувальним фактором при створенні ранньостиглих гібридів і потребує додаткового селекційного контролю.

В умовах 2024 року встановлено успадкування вмісту олеїнової кислоти за типами часткового позитивного домінування і проміжного успадкування. За успадкування стійкості до вовчка за типом позитивного наддомінування, 33,3% гібридних комбінацій мали позитивне наддомінування вмісту олеїнової кислоти в олії, в той час як у решти 66,7% спостерігали проміжне успадкування ознаки. За

In 2023, oil content was also inherited by partial positive dominance and negative overdominance.

In the group of inheritance of broomrape resistance by positive overdominance, 83.3% of hybrid combinations exhibited positive overdominance for seed oil content, while 16.7%, conversely, showed negative overdominance for the trait. In the group of partial positive dominance for broomrape resistance, 80.0% of hybrid combinations exhibited positive overdominance for seed oil content, while 20.0% showed partial positive dominance.

As to EFMP, a weaker expression of the trait (early maturity) was preferable. In 2023, three types of EFMP inheritance were recorded: intermediate inheritance, partial negative dominance, and negative overdominance of late maturity; these types were identified within almost all groups formed by the type of broomrape resistance inheritance. The majority of hybrid combinations inherited EFMP by negative overdominance (from 0.00 to 66.7%), i.e. their growing seasons were longer than that of the later-ripening parental line. In the hybrids of the most interesting groups in terms of broomrape resistance inheritance (positive overdominance and partial positive dominance), late maturity was inherited by negative overdominance in 66.7% and 60.0% of combinations, respectively. These two groups also included hybrids with intermediate EFMP inheritance (33.3% and 10.0%). In the group of partial positive dominance for broomrape resistance, 30.0% of combinations exhibited partial negative dominance of late maturity.

At the same time, it was found that growing season length was often inherited by negative overdominance, leading to an extension of the vegetation period. This may be a limiting factor in creating early-ripening hybrids and requires additional breeding control.

In 2024, oleic acid content was inherited by partial positive dominance and intermediate inheritance. In the group of broomrape resistance inheritance by positive overdominance, 33.3% of hybrids exhibited positive overdominance for oleic acid content in the oil, while the remaining 66.7% showed intermediate inheritance. In the group of partial positive dominance for

типом часткового позитивного домінування стійкості до вовчка всі гібридні комбінації виявили проміжне успадкування вмісту олеїнової кислоти в олії.

У цьому ж році встановлено успадкування високої врожайності насіння за типом позитивного наддомінування. Гібридні комбінації всіх типів успадкування стійкості до вовчка показали 100% позитивного наддомінування врожайності насіння.

Також у 2024 році встановлено успадкування маси 1000 насінин за типами позитивного наддомінування, часткового позитивного домінування і проміжного успадкування. За успадкування стійкості до вовчка за типом позитивного наддомінування, 100,0 % гібридних комбінацій виявили позитивне наддомінування маси 1000 насінин. За успадкування стійкості до вовчка за типом часткового позитивного домінування у 30,0 % гібридних комбінацій спостерігали позитивне наддомінування маси 1000 насінин, у 50,0% – часткове позитивне домінування, а у 20,0% – проміжне успадкування ознаки.

В умовах 2024 року встановлено успадкування вмісту олії в насінні за типами позитивного наддомінування, часткового позитивного домінування, проміжного успадкування, часткового негативного домінування і негативного наддомінування. За успадкування стійкості до вовчка за типом позитивного наддомінування, у 33,3% гібридних комбінацій спостерігали позитивне наддомінування вмісту олії в насінні, в той час як 16,7% мали часткове позитивне домінування ознаки, 33,3% виявляли проміжне успадкування, а 16,7% - негативне наддомінування ознаки вмісту олії в насінні. За типом часткового позитивного домінування стійкості до вовчка у 30,0% гібридних комбінацій спостерігали позитивне наддомінування ознаки вмісту олії в насінні, у 20,0% – часткове позитивне домінування ознаки, у 30,0% – проміжне успадкування і у 20,0% – часткове негативне домінування.

Також за умов 2024 року встановлені п'ять типів успадкування ТПСФС. Гібридні комбінації групи позитивного наддомінування стійкості до вовчка показали 16,7% часткового позитивного домінування, 50,0% проміжного успадкування, 16,7% часткового негативного домінування і 16,7% негативного наддомінування ТПСФС. Серед гібридних комбінацій з частковим позитивним домінуванням стійкості до вовчка 60,0% мали позитивне наддомінування ТПСФС, 20,0% – часткове позитивне домінування, 10,0% – проміжне успадкування і 10,0% – негативне наддомінування ТПСФС.

broomrape resistance, all hybrid combinations exhibited intermediate inheritance for oleic acid content in the oil.

In the same year, high seed yield was inherited by positive overdominance. Hybrid combinations across all categories of broomrape resistance inheritance exhibited 100% positive overdominance for seed yield.

Also, in 2024, thousand-seed weight was inherited by positive overdominance, partial positive dominance, and intermediate inheritance. In the group of broomrape resistance inheritance by positive overdominance, 100.0% of hybrids exhibited positive overdominance for thousand-seed weight. In the group of broomrape resistance inheritance by partial positive dominance, 30.0% of hybrids showed positive overdominance for thousand-seed weight, 50.0% showed partial positive dominance, and 20.0% showed intermediate inheritance.

In 2024, seed oil content was inherited by positive overdominance, partial positive dominance, intermediate inheritance, partial negative dominance, and negative overdominance. In the group of broomrape resistance inheritance by positive overdominance, 33.3% of hybrids exhibited positive overdominance for seed oil content, while 16.7% showed partial positive dominance, 33.3% □ intermediate inheritance, and 16.7% □ negative overdominance for seed oil content. In the group of partial positive dominance for broomrape resistance, 30.0% of hybrid combinations showed positive overdominance for seed oil content, 20.0% – partial positive dominance, 30.0% – intermediate inheritance, and 20.0% – partial negative dominance.

In 2024, five types of EFMP inheritance were detected. 16.7% of hybrid combinations in the group of positive overdominance for broomrape resistance showed partial positive dominance, 50.0% – intermediate inheritance, 16.7% – partial negative dominance, and 16.7% – negative overdominance for EFMP. Among hybrids with partial positive dominance for broomrape resistance, 60.0% exhibited positive overdominance for EFMP, 20.0% showed partial positive dominance, 10.0% – intermediate inheritance, and 10.0% – negative overdominance.

Analysis of the phenotypic dominance degree demonstrated that positive

Аналіз ступеня фенотипового домінування показав, що для більшості цінних господарських ознак характерним є позитивне наддомінування або часткове позитивне домінування, особливо щодо врожайності насіння та маси 1000 насінин. Це вказує на значний потенціал прояву ефекту гетерозису в досліджених гібридних комбінаціях і підтверджує доцільність використання гібридизації як провідного методу селекції соняшнику. У цілому результати досліджень свідчать про можливість ефективного поєднання в одному генотипі високого вмісту олеїнової кислоти, продуктивності та стійкості до вовчка. Однак реалізація цього потенціалу залежить від правильного добору батьківських компонентів.

Висновки

Установлено, що вміст олеїнової кислоти в олії насіння досліджених гібридів соняшнику має генетичну зумовленість і характеризується відносною стабільністю за роками досліджень, з незначною залежністю від погодних умов. Виділено лінії Сх 83 А та ІU 075138 як джерела високого вмісту олеїнової кислоти (понад 85%), а також лінії ІU 075136 та ІU 075137 – із середнім рівнем цієї ознаки, які також можуть бути використані в селекційних програмах для створення гібридів соняшнику з покращеним жирнокислотним складом олії.

Виділено лінію Сх 83 А з донорським властивостями за високим вмістом олеїнової кислоти в олії, яка забезпечує формування гібридів із підвищеним вмістом олеїнової кислоти в олії незалежно від генотипу батьківського компонента.

Встановлено, що успадкування цінних господарських ознак (урожайність насіння, маса 1000 насінин, вміст олії в насінні) відбувається переважно за типом позитивного наддомінування, що свідчить про високий рівень гетерозисного ефекту. Встановлено значну варіабельність типів успадкування стійкості до вовчка – від проміжного успадкування до наддомінування, що вказує на складну генетичну природу ознаки. Успадкування тривалості періоду «сходи–повна стиглість» може відбуватися за типом негативного наддомінування, що призводить до подовження тривалості вегетційного періоду та потребує врахування в селекційній роботі.

Виділено найбільш перспективні гібридні комбінації соняшнику, які поєднують кілька цінних господарських ознак: Сх 83 А × ІU 075138 (вміст олеїнової кислоти в олії 86,5–

overdominance or partial positive dominance is intrinsic to most valuable economic traits, particularly seed yield and thousand-seed weight. This indicates a significant potential for heterosis manifestation in the studied hybrid combinations and confirms the expediency of using hybridization as the leading method in sunflower breeding. Overall, our findings support a possibility of effectively combining high oleic acid content, performance, and broomrape resistance within a single genotype. However, the realization of this potential depends on the proper selection of parental components.

Conclusions

It was found that oleic acid content in the seed oil of the studied sunflower hybrids is genetically determined and relatively stable across the study years, with minor dependence on weather conditions. 'Skh 83 A' and 'IU 075138' were identified as sources of high oleic acid content (over 85%), while 'IU 075136' and 'IU 075137' – as sources of a medium level of this trait; these can also be used in breeding programs to create sunflower hybrids with improved fatty acid composition.

'Skh 83 A' was distinguished due to its donor properties regarding high oleic acid content, as it produces hybrids with increased oleic acid content regardless of the genotype of the paternal component.

It was revealed that valuable economic traits (seed yield, thousand-seed weight, and seed oil content) are inherited mainly by positive overdominance, indicating a strong heterosis effect. Significant variability in the types of broomrape resistance inheritance—ranging from intermediate inheritance to overdominance—was observed, indicating the complex genetic nature of the trait. The "emergence – full maturity" period can be inherited by negative overdominance, leading to extended growing seasons, which must be taken into account in breeding practice.

The most promising sunflower hybrids that combine several valuable economic traits were identified: 'Skh 83 A × IU 075138' (the oleic acid content in the oil is 86.5–86.9%; the broomrape infection intensity is 0.00–0.23 tubercles/plant), 'Skh 83 A × IU 075137' (the oleic acid content is 71.9–77.8%; the broomrape infection intensity is 0.00 tubercles/plant), 'Skh 83 A × KhZU 22 V' (the EFMP is 103–104 days; the oleic acid content

86,9%, ступінь ураження вовчком 0,00–0,23 шт.), Сх 83 А × ІУ 075137 (вміст олеїнової кислоти 71,9–77,8%, ступінь ураження вовчком 0,00 шт.), Сх 83 А × ХЗУ 22 В (ТПСПС 103–104 доби, вміст олеїнової кислоти 68,0–69,1%, урожайність насіння 2,19–2,23 т/га), та Сх 83 А × ХЗУ 10 В (вміст олеїнової кислоти 69,8–70,4%, ТПСПС 105–106 діб). Найбільш перспективною є гібридна комбінація Сх 83 А × ІУ 075138, яка поєднує високий вміст олеїнової кислоти та стійкість до вовчка, що робить її цінним матеріалом для подальшого використання.

Заява про доступність даних: Дані включені безпосередньо в статтю.

Використання штучного інтелекту (ШІ): при написанні статті штучний інтелект не використовували.

Відповідність етичним стандартам: Стаття не містить будь-яких досліджень з використанням людей і тварин як об'єктів.

Конфлікт інтересів: Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів.

Фінансування: Дослідження виконувалося за програмою наукових досліджень ПНД 16 Національної академії аграрних наук України «Соняшник: основи управління продукційним процесом», завдання 16.00.00.01.Ф «Розроблення теоретичних основ використання ефекту гетерозису в F1 гібридів соняшнику, адаптованих до змін клімату, створених на основі різних зародкових плазм, з поліпшеними комбінаціями цінних господарських ознак» (№ держреєстрації 0121U100556)

is 68.0–69.1%; the seed yield is 2.19–2.23 t/ha), and 'Skh 83 A × KhZU 10 V' (the oleic acid content is 69.8–70.4%; the EFMP is 105–106 days). 'Skh 83 A × IU 075138' is the most promising hybrid, as it combines high oleic acid content and broomrape resistance, making it valuable material for further use.

Data Availability Statement: The data are included in the article.

Use of Artificial Intelligence (AI): No artificial intelligence was used in the writing of this article.

Compliance with Ethical Standards: This article does not contain any studies involving humans or animals as subjects.

Conflict of Interest: The authors declare that there is no conflict of interest.

Funding: The study was carried out within the scientific research program 16 of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine "Sunflower: Foundations of Production Process Management," project 16.00.00.01.F "Development of Theoretical Foundations for Using Heterosis in F1 Sunflower Hybrids Adapted to Climate Change, Originated from Various Germplasms, with Improved Combinations of Valuable Economic Traits" (state registration No. 0121U100556).

References

- Akkaya, M., Çil, A., Çil, A. N., Yücel, H., & Kola, O. (2018). The influence of sowing dates on the oil content and fatty acid composition of sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Food Science and Technology*, 39(3–4). <https://doi.org/10.1590/fst.20118>
- Alberio, C., Aguirrezábal, L., Izquierdo, N., Reid, R., Zuñil, S., & Zambelli, A. (2018). Effect of genetic background on the stability of sunflower fatty acid composition in different high oleic mutations. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 98, 4074–4086. <https://doi.org/10.1002/jsfa.8924>
- Alberio, C., Izquierdo, N., Galella, T., Zuñil, S., Reid, R., Zambelli, A., & Aguirrezábal, L. A. N. (2015). A new sunflower high oleic mutation confers stable oil grain fatty acid composition across environments. *European Journal of Agronomy*, 73, 25–33. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2015.10.003>
- Aşkın, B., & Kaya, Y. (2020). Effect of deep frying process on the quality of sunflower seed oil and olive oil. *Journal of Food Science and Technology*, 57(12), 4716–4725. <https://doi.org/10.1007/s13197-020-04655-4>
- Beil, G. M., & Atkins, R. E. (1965). Inheritance of quantitative characters in grain sorghum. *Iowa State Journal*, 39(3), 345–348.
- Griffing, B. (1950). Analysis of quantitative gene action. *Genetics*, 35(3), 303–321. <https://doi.org/10.1093/genetics/35.3.303>

- Kurylych, D. V., & Makliak, K. M. (2024). Expression of valuable economic traits in F1 sunflower hybrids resistant to broomrape (*Orobanche cumana* Wallr.). *Naukovo-Tekhnichniy Biuleten Instytutu Oliinykh Kultur NAAN*, 37, 53–65. <https://doi.org/10.36710/IOC-2024-37-06> [in Ukrainian]
- Kyrychenko, V. V., Humeniuk, A. D., & Dolhova, E. M. (1987). Breeding sunflower for resistance to broomrape. *Selektsiia i Semenovodstvo*, 63, 44–46. [in Russian]
- Kyrychenko, V. V., Makliak, K. M., Syvenko, V. I., Brahini, O. M., & Suprun, O. H. (2004). Improvement of fatty acid composition of sunflower oil. *Selektsiia i Nasinnytstvo*, 88, 3–9. [in Ukrainian]
- Kyrychenko, V. V., Syvenko, V. I., Litun, P. P., Tymchuk, S. M., & Suprun, O. H. (2000). Variability of unsaturated fatty acid content. *Selektsiia i Nasinnytstvo*, 84, 77–83. [in Ukrainian]
- Kyrychenko, V. V., Tymchuk, S. M., Syvenko, V. I., & Suprun, O. H. (2011). Breeding of high-oleic sunflower hybrids. *Visnyk TsNZ APV Kharkivskoi Oblasti*, 10, 105–117. [in Ukrainian]
- Makliak, K. M., Varenyk, B. F., & Kutishcheva, N. M. (2014). Peculiarities of variability of fatty acid composition of sunflower hybrid oil depending on air temperature. *Visnyk TsNZ APV Kharkivskoi Oblasti*, 17, 129–138. [in Ukrainian]
- Prokhorova, M. I. (1982). *Methods of biochemical research*. Khimiya. [in Russian]
- Rauf, S., Jamil, N., Ali Tariq, S., Khan, M., Kausar, M., & Kaya, Y. (2017). Progress in modification of sunflower oil to expand its industrial value. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 97, 1997–2006. <https://doi.org/10.1002/jsfa.8214>
- Rozhkov, A. O., Puzik, V. K., Kalenska, S. M., Puzik, L. M., Popov, S. I., Muzafarov, N. M., Bukhalo, V. Ya., & Kryshchop, Ye. A. (2016). *Experimentation in agronomy: Guidebook* (Book 2: Statistical processing of agronomic data). Kyiv. <https://repo.btu.kharkov.ua/handle/123456789/33533> [in Ukrainian]
- Shevchenko, S., Desyatnyk, L., Shevchenko, M., Kolesnykova, K., & Derevenets-Shevchenko, K. (2024). Control of weeds and sunflower broomrape (*Orobanche cumana* Wallr.) in sunflower crops by crop rotation and tillage. *International Journal of Environmental Studies*, 81(1), 382–392. <https://doi.org/10.1080/00207233.2024.2320031>
- Sydiakhina, O. V., & Hamaiunova, V. V. (2023). Current state and prospects of sunflower seed production. *Tavriiskiyi Naukovyi Visnyk*, 131, 196–204. <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2023.131.25> [in Ukrainian]
- Velasco, L., Pérez-Vich, B., Yassein, A., Jan, C., & Fernández-Martínez, J. M. (2012). Inheritance of resistance to sunflower broomrape (*Orobanche cumana* Wallr.) in an interspecific cross. *Plant Breeding*, 131(1), 220–221. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0523.2011.01915>
- Yurkevych, Ye. O., Valentiuk, N. O., Kohut, I. M., & Yevych, V. S. (2022). High-oleic sunflower as an innovative path for the development of organic agriculture. *Tavriiskiyi Naukovyi Visnyk*, 125, 104–110. <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2022.125.15> [in Ukrainian]

УДК 633.854.78:631.53.04:631.811

А.І. Білокобильська, Ю.Є. Огурцов*

Вплив передпосівної обробки насіння регуляторами росту та мікродобривами на посівні якості і виживаність ліній соняшника

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

**E-mail: ogurcsow@gmail.com*

UDC 633.854.78:631.53.04:631.811

A.I. Bilokobylska, Yu. Ye. Ohurtsov*

Effect of Presowing Seed Treatment with Growth Regulators and Microfertilizers on Sowing Quality and Survival of Sunflower Lines

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

**E-mail: ogurcsow@gmail.com*

Реферат: Наведено результати комплексного дослідження впливу передпосівної обробки насіння стимуляторами росту, антистресантами та мікродобривами на посівні якості та виживаність рослин самозапилених ліній соняшнику. Дослідження проводили упродовж 2022–2024 рр. в умовах Інституту рослинництва ім. В. Я. Юр'єва НААН України на чорноземах типових. Об'єктами досліджень були стерильні аналоги ліній Сх808А, Сх51А та Сх17А. Оцінювали енергію проростання, лабораторну і польову схожість, а також виживаність рослин залежно від варіантів обробки насіння різними препаратами та їх комбінаціями. Встановлено, що всі досліджувані фактори — генотип лінії, рік вирощування та варіант обробки — мали статистично значимий вплив на формування посівних якостей насіння. Найвищі показники енергії проростання та лабораторної схожості відзначено у лінії Сх17А, тоді як лінія Сх51А характеризувалася найнижчими значеннями та більшою варіабельністю. Застосування окремих препаратів та їх комбінацій сприяло підвищенню показників порівняно з контролем, однак ефективність значною мірою залежала від генотипу. Польова схожість насіння була високою в усіх варіантах і досягала 90–96%, причому найбільш ефективними виявилися комбіновані обробки препаратами. Виживаність рослин залишалася стабільно високою (95–98%) незалежно від варіанта обробки, що обумовлено високим базовим рівнем цієї ознаки. Найбільший внесок у варіацію виживаності мав генотип (до 35 %), тоді як вплив препаратів був обмеженим. Таким чином показано, що передпосівна обробка насіння стимуляторами росту та мікродобривами є ефективним елементом технології вирощування соняшнику, а її результативність визначається взаємодією «генотип × препарат».

Ключові слова: соняшник, лінії, виживаність, схожість насіння, протруйники, стимулятори росту, мікродобрива, насінництво.

Abstract: The article presents results of a comprehensive study on the impact of presowing seed treatment with growth stimulants, antistress agents, and microfertilizers on the sowing quality and plant survival of self-pollinated sunflower lines. The study was conducted at the Yuriev Plant Production Institute of NAAS in 2022–2024. The soil is typical chernozems. The sterile analogs of the lines 'Skh808A', 'Skh51A', and 'Skh17A'. The evaluation included germination energy, laboratory germination, field emergence, and plant survival rates depending on the treatments with different compounds and their combinations. It was found that all studied factors—line genotype, year of cultivation, and treatment—had a statistically significant impact on the seed sowing qualities. The highest germination energy and laboratory germination rates were observed in 'Skh17A', while 'Skh51A' was characterized by the lowest values and higher variability. The application of some compounds and their combinations increased performance compared to the control; however, the effectiveness was largely determined by the genotype. The field germination rate was high across all experiments, amounting to 90–96%, with combined treatments proving most effective.

ARTICLE HISTORY. Received: March 18, 2026; revised: March 25, 2026; accepted: April 24, 2026

CITATION. Bilokobylska, A. I., & Ohurtsov, Yu. Ye. (2026). Effect of presowing seed treatment with growth regulators and microfertilizers on sowing quality and survival of sunflower lines. *Plant Breeding and Seed Production*, (129), 92–107.
<https://doi.org/10.30835/2413-7510.2026.129.07>

© Bilokobylska A. I., Ohurtsov Yu. Ye., 2026

The plant survival remained consistently high (95–98%) regardless of the treatment, due to the high baseline level of this trait. Genotype made the largest contribution to the variation in survival (up to 35%), while the agents influence was limited. Thus, the study demonstrated that presowing seed treatment with growth stimulants and microfertilizers is an effective component of sunflower cultivation technology, and its efficacy is governed by the genotype $\times$ preparation interaction.

Key words: sunflower, lines, survival, seed germination, seed dressings, growth stimulants, microfertilizers, seed production.

Вступ

Використання стимуляторів росту та мікродобрив у технології вирощування соняшнику розглядається як перспективний напрям підвищення продуктивності культури та поліпшення якості врожаю. Регулятори росту – це органічні речовини, які навіть у незначних концентраціях здатні змінювати фізіологічні процеси в рослинах, впливаючи на їх ріст, розвиток і біохімічний склад (Chuiko, 2021). Застосування таких сполук сприяє більш ефективному використанню рослинами поживних елементів, що дозволяє повніше реалізувати їх генетичний і фізіологічний потенціал без негативного впливу на рослини та довкілля (Marenych et al., 2018; Chuyko, 2022; Buriak et al., 2014; Sendetskyi et al., 2018).

Сучасні стимулятори та регулятори росту рослин характеризуються комплексною дією і виконують не лише функцію стимулювання ростових процесів (Chuyko, 2022). Препарати нового покоління поєднують кілька ефектів: активують біологічні процеси в рослинах, підвищують їх стійкість до несприятливих факторів середовища та посилюють неспецифічний імунітет. Важливою їх особливістю є те, що вони не замінюють традиційні добрива, а доповнюють їх дію, підвищуючи коефіцієнт засвоєння поживних речовин із ґрунту та внесених добрив (Gruznova et al., 2018; Santini et al., 2021).

Мікродобрива біологічного походження також набувають широкого застосування як екологічно безпечна альтернатива частині хімічних добрив. Їх дія пов'язана з активацією ростових процесів завдяки прямим і непрямим механізмам, серед яких біологічна фіксація азоту, синтез фітогормонів та продукування різноманітних гідролітичних ферментів. Використання таких препаратів сприяє підвищенню доступності життєво необхідних елементів живлення та створює передумови для збільшення врожайності без негативного впливу на довкілля (Chuyko et al., 2022).

Результати численних досліджень підтверджують ефективність застосування біологічно активних речовин у технології вирощування соняшнику. Фітогормони та

Introduction

The use of plant growth regulators and microfertilizers in sunflower cultivation technologies is considered a promising approach for increasing crop productivity and improving yield quality. Growth regulators are organic substances that, even in trace concentrations, can modulate physiological processes in plants, influencing their growth, development, and biochemical composition (Chuiko, 2021). These compounds facilitate more efficient nutrient uptake, allowing plants to more fully realize their genetic and physiological potentials without adverse effects on the plants or the environment (Marenych et al., 2018; Chuyko, 2022; Buriak et al., 2014; Sendetskyi et al., 2018).

Modern biostimulants and plant growth regulators feature multifaceted actions that extend beyond simple growth stimulation (Chuyko, 2022). New-generation preparations combine several effects: they activate biological processes, enhance resilience to adverse environmental factors, and bolster non-specific immunity. A key feature of these agents is that they do not replace traditional fertilizers but rather complement them by increasing the utilization coefficient of nutrients from both the soil and applied fertilizers (Gruznova et al., 2018; Santini et al., 2021).

Biological microfertilizers are also gaining widespread use as an environmentally safe alternative to certain synthetic chemicals. Their action is attributed to the activation of growth processes through direct and indirect mechanisms, including biological nitrogen fixation, phytohormone synthesis, and production of various hydrolytic enzymes. Such formulations enhance the bioavailability of essential nutrients and create the prerequisites for increasing yields without a negative environmental footprint (Chuyko et al., 2022).

Numerous studies confirmed the effectiveness of applying biologically active substances in sunflower cultivation technologies. Phytohormones and plant growth regulators facilitate a more comprehensive realization of

регулятори росту сприяють більш повній реалізації генетичного потенціалу культури, підвищують стійкість рослин до стресових факторів і, як наслідок, забезпечують зростання врожайності та покращення якісних показників насіння. Доведено, що використання мікробіологічних добрив, біостимуляторів та імуностимуляторів позитивно впливає на ріст і розвиток рослин соняшнику, процес формування насіння та основні елементи структури врожаю (Gruznova et al., 2018; Chuiko, 2021; 2022; Yuldasheva, Karabayeva, 2023; Hussain et al., 2025).

Стимулятори росту та мікродобрива демонструють суттєвий позитивний вплив на різні морфологічні та фізіологічні параметри рослин соняшнику. Час та спосіб внесення стимуляторів росту та мікродобрив суттєво впливають на їхню ефективність у вирощуванні соняшнику, причому конкретні стадії росту є оптимальними для різних підходів обробки (Ali et al., 2024; Zapletalová et al., 2024).

Метою нашого дослідження була оцінка впливу передпосівної обробки насіння стимуляторами росту та мікродобривами на посівні якості і виживаність ліній соняшнику та визначення ефективності різних варіантів обробки.

Методика

Експериментальна частина роботи виконувалася на базі Інституту рослинництва ім. В.Я. Юр'єва НААН. Досліди закладали у період 2022–2024 рр. на типовому середньогумусному слабовилуженому чорноземі. Польові роботи включали сівбу в першу декаду травня сівалкою «Клен-2,8» (густота – 60 тис. нас./га). Методика польових досліджень проведена згідно з регламентами Державного сорто випробування (Volkodav, 2000). Облік проводили на ділянках площею 25 м² у 4-разовому повторенні із застосуванням систематичного методу розміщення. Лабораторну оцінку якості насіння здійснювали відповідно до чинних вимог ДСТУ 4138-2002 (2003).

Об'єктами досліджень виступали три стерильні аналоги самозапилених ліній соняшнику (Сх808А, Сх51А та Сх17А), створені в Інституті рослинництва ім. В. Я. Юр'єва НААН.

Для обробки насіння ліній соняшнику були використані протруйники, стимулятори росту, антистресанти та мікродобрива різного походження і напрямку їх застосування (табл. 1).

Протруйники:

Баріон – містить: металаксил-м, 350 г/л. Системний фунгіцидний протруйник.

the crop's genetic potential, enhance resilience to stressors, and consequently ensure increased yields and improved seed quality. It was demonstrated that microbial fertilizers, biostimulants, and immunostimulants positively impact the growth and development of sunflower plants, seed formation, and key yield components (Gruznova et al., 2018; Chuiko, 2021; 2022; Yuldasheva, Karabayeva, 2023; Hussain et al., 2025).

Plant growth regulators and microfertilizers exert significant beneficial effects on different morphological and physiological parameters of sunflower. The timing and method of application significantly influence their efficacy, with specific growth stages being optimal for different treatments (Ali et al., 2024; Zapletalová et al., 2024).

The objective of our study was to evaluate the effect of presowing seed treatment with growth stimulants and microfertilizers on the sowing quality and survival of sunflower lines and to evaluate the effectiveness of various treatments.

Methods

The experiments were conducted at the Yuriev Plant Production Institute of NAAS. The experiments were carried out on typical medium-humus leached chernozem in 2022–2024. The field operations included sowing between May 1 and May 10 using a Klen-2.8 seeder (seeding rate: 60,000 seeds per hectare). The field experiments followed the regulations of the State Variety Trials (Volkodav, 2000). Data were recorded on plots of 25 m² in four replicates using a systematic plot layout. Laboratory assessment of seed quality was performed according to the current requirements of DSTU 4138-2002 (2003).

Three sterile analogues of inbred sunflower lines ('Skh808A', 'Skh51A', and 'Skh17A') developed at the Yuriev Plant Production Institute of NAAS were studied.

For seed treatment, various seed dressings, growth stimulants, antistress agents, and microfertilizers of different origins and functional purposes were utilized (Table 1).

Seed Dressings:

Barion – contains metalaxyl-M (350 g/L). A systemic fungicidal seed dressing used for

Використовується для захисту соняшнику та ріпаку від несправжньої борошнистої роси та кореневих гнилей на ранніх етапах.

Екзор – містить: тіаметоксам 600 г/л. Інсектицидний протруйник на основі тіаметоксаму. Надійно захищає сходи від ґрунтових шкідників, попелиць та цикадок.

Регулятори росту рослин та мікродобрива для передпосівної обробки:

Авангард Гроу Аміно – містить: вільні L-амінокислоти – не менше 120 г/л, бурштинову кислоту – 3 г/л, карбонові кислоти, полісахариди, багатоатомні спирти, солі гумінових і фульвових кислот, фітогормональний комплекс, мікроелементи: B – 89 мг/кг, CaO – 7912 мг/кг, Co – 3,4 мг/кг, Cu – 64 мг/кг, Fe – 73 мг/кг, K₂O – 54153 мг/кг, MgO – 805 мг/кг, Mn – 223 мг/кг, Mo – <0,41 мг/кг, P₂O₅ – 901 мг/кг, SO₃ – 11656 мг/кг, Si – 181 мг/кг, Zn – 177 мг/кг. Комплекс амінокислот та адаптогенів. Рекомендується для зменшення наслідків стресового впливу (посуха, заморозки, гербіцидний опік) та стимулює імунітет.

Райкат Старт – містить: цитокініни та ауксини – 0,05 %; полісахариди – 15,0 %; N – 4,0 %; P₂O₅ – 8,0 %; K₂O – 3,0 %; Fe – 0,1 %; B – 0,03 %; Zn – 0,02 %. Стимулятор коренеутворення. Завдяки цитокінінам та амінокислотам забезпечує активний стартовий ріст кореневої системи та високу енергію проростання.

Нертус Плантапег – містить: ПЕГ-400 і ПЕГ-1500, 800 г / л; фульвокислоти і солі гумінових кислот, 4 г/л. Регулятор росту-кріопротектор. Створює захисну оболонку на насінні, запобігаючи вимерзанню та покращуючи поглинання води з ґрунту.

АКМ – містить: іонол, 25 г/л, диметилсульфоксид, 37,5 г/л, поліетиленгліколь-400, 230 г/л, поліетиленгліколь-1500, 540 г/л. Напівсинтетичний антиоксидантний стимулятор. Допомогає рослинам витримувати вплив низьких температур та покращує якість врожаю.

Авангард Старт – містить: N – 100 г/л, P₂O₅ – 70 г/л, K₂O – 20 г/л, CaO – 10 г/л, SO₃ – 15 г/л, B – 5 г/л, Fe – 10 г/л, Mn – 5 г/л, Cu – 2 г/л, Zn – 5 г/л, Mo – 0,5 г/л, Co – 0,1 г/л. Концентроване добриво для обробки насіння. Забезпечує рослини паросткифосфором, цинком та бором у найбільш доступній формі для швидкого вкорінення.

Нертус Старт – містить N, 10 г/л; P₂O₅, 85 г/л; K₂O, 50 г/л; SO₃, 45 г/л; Fe, 12 г/л; Mn, 12 г/л; Zn, 4 г/л; Cu, 4 г/л; B, 1 г/л; Mo, 0,3 г/л; Co, 0,1 г/л. Спеціалізований комплекс для зернових та

early-stage protection of sunflower and rapeseed against downy mildew and root rot.

Exor – contains thiamethoxam (600 g/L). A thiamethoxam-based insecticidal seed dressing that reliably protects seedlings against soil pests, aphids, and leafhoppers.

Plant Growth Regulators and Microfertilizers for Presowing Treatment:

Avangard Grow Amino – contains free L-amino acids (at least 120 g/L), succinic acid (3 g/L), carboxylic acids, polysaccharides, polyhydric alcohols, humic and fulvic acid salts, a phytohormone complex, and micronutrients: B (89 mg/kg), CaO (7,912 mg/kg), Co (3.4 mg/kg), Cu (64 mg/kg), Fe (73 mg/kg), K₂O (54,153 mg/kg), MgO (805 mg/kg), Mn (223 mg/kg), Mo (<0.41 mg/kg), P₂O₅ (901 mg/kg), SO₃ (11,656 mg/kg), Si (181 mg/kg), and Zn (177 mg/kg). This amino acid and adaptogen complex recommended for mitigating the effects of stress (drought, frost, herbicide burn) and stimulating immunity.

Raykat Start – contains cytokinins and auxins (0.05%), polysaccharides (15.0%), and essential nutrients: N (4.0 %), P₂O₅ (8.0 %), K₂O (3.0 %), Fe (0.1 %), B (0.03 %), and Zn (0.02 %). A rooting stimulant that, due cytokinins and amino acids, ensures active initial root system growth and high seedling vigor.

Nertus Plantapeg – contains polyethylene glycol (PEG)-400 and PEG-1500 (800 g/L); fulvic acids and humic acid salts (4 g/L). A growth regulator and cryoprotectant. It creates a protective film on the seeds, preventing freezing damage and enhancing water absorption from the soil.

AKM – contains ionol (25 g/L), dimethyl sulfoxide (37.5 g/L), PEG-400 (230 g/L), and PEG-1500 (540 g/L). A semi-synthetic antioxidant stimulant. It assists plants in withstanding low temperatures and improves yield quality.

Avangard Start – contains N (100 g/L), P₂O₅ (70 g/L), K₂O (20 g/L), CaO (10 g/L), SO₃ (15 g/L), B (5 g/L), Fe (10 g/L), Mn (5 g/L), Cu (2 g/L), Zn (5 g/L), Mo (0.5 g/L), and Co (0.1 g/L). A concentrated seed fertilizer. It provides seedlings with phosphorus, zinc, and boron in highly bioavailable forms for rapid rooting.

Nertus Start – contains N (10 g/L), P₂O₅ (85 g/L), K₂O (50 g/L), SO₃ (45 g/L), Fe (12 g/L), Mn (12 g/L), Zn (4 g/L), Cu (4 g/L), B (1 g/L), Mo (0.3 g/L), and Co (0.1 g/L). A specialized complex for cereals and industrial crops. It enhances field seedling emergence and ensures uniform crop density.

технічних культур. Підвищує польову схожість та вирівнює густоту посівів.

Puro Tech Seeds – містить: N – 20,0 – 40,0 г/л, P₂O₅ – 15,0 – 30,0 г/л, K₂O – 15,0 – 35,0 г/л, амінокислоти – 84,0 – 96,0 г/л, Mn – 0,3 – 0,6 г/л, Mo – 0,1–0,4 г/л, SiO₂ – 4,0 – 8,0 г/л. Інноваційне добриво з фітогормонами та кремнієм. Спрямоване на зміцнення клітинних стінок та активізацію росту корневих волосків.

Puro Tech Seeds – contains N (20.0–40.0 g/L), P₂O₅ (15.0–30.0 g/L), K₂O (15.0–35.0 g/L), amino acids (84.0–96.0 g/L), Mn (0.3–0.6 g/L), Mo (0.1–0.4 g/L), and SiO₂ (4.0–8.0 g/L). An innovative fertilizer enriched with phytohormones and silicon. It is designed to strengthen cell walls and activate the growth of root hairs.

Таблиця 1. Варіанти обробки насіння ліній соняшнику
Table 1. Treatments of sunflower inbred line seeds

Варіант обробки (препарат) / Treatment	Норма витрати, л/т / Application rate, L/t
Контроль (Еталон): Баріон + Екзор / Control (Standard): Barion + Exor	3.0 + 6.0
Еталон + Авангард Старт / Standard + Avangard Start	2.0
Еталон + Авангард Гроу Аміно / Standard + Avangard Grow Amino	1.0
Еталон + Авангард Старт + Авангард Гроу / Standard + Avangard Start + Avangard Grow Amino	2.0 + 1.0
Еталон + Нертус Старт / Standard + Nertus Start	0.8
Еталон + Нертус Плантапег / Standard + Nertus Plantapeg	0.6
Еталон + Нертус Старт + Нертус Плантапег / Standard + Nertus Start + Nertus Plantapeg	0.8 + 0.6
Еталон + Puro tech seeds / Standard + Puro tech seeds	1.5
Еталон + АКМ / Standard + AKM	0.2
Еталон + Райкат Старт / Standard + Raykat Start	2.5

Погодні умови за період дослідження 2022–2024 рр. характеризувалися загалом типовим помірно континентальним кліматом з чітко вираженою сезонністю, проте супроводжувалися підвищеною мінливістю. У літні місяці спостерігалися хвилі спеки з підвищенням температури повітря до критичних значень. Розподіл опадів залишався нерівномірним, із максимумом у літній період та періодичними посушливими явищами, що негативно впливало на вологозабезпечення ґрунту під час розвитку рослин соняшнику. У цілому для досліджуваного періоду характерною була тенденція до підвищення середньорічних температур і зростання частоти екстремальних погодних явищ, що відповідає сучасним проявам кліматичних змін у регіоні.

Статистичну обробку отриманих результатів польових та лабораторних даних проводили у програмному середовищі Past 5.3. (Hammer, Harper, 2001).

The weather during the study period (2022–2024) generally corresponded to a typical temperate continental climate with distinct seasonality, though with considerable fluctuations. Heatwaves with air temperatures rising to critical levels were documented during the summer months. Precipitation was distributed unevenly, with a maximum amount and periodic droughts in the summer, which negatively affected soil moisture availability during key stages of sunflower development. Overall, there was an upward trend in the average annual temperatures and the frequency of extreme weather events during the study period, consistent with current signs of regional climate change.

The field and laboratory data were statistically processed in Past 5.3 (Hammer & Harper, 2001).

Результати та обговорення

Енергія проростання насіння значною мірою залежала як від генотипу лінії, так і від умов року, а також варіанта передпосівної обробки (табл. 2). Відповідно до результатів дисперсійного аналізу, статистично значимим був вплив усіх досліджуваних факторів: лінія, рік дослідження та варіант обробки.

Найвищі показники енергії проростання у середньому за роки досліджень спостерігалися у лінії Сх 17А, де вони варіювали від 68,1 до 84,2% залежно від варіанта обробки. Максимальне значення цього показника було зафіксовано при застосуванні варіанта еталон + Нертус Плантапег у дозі 0,6 л/т – 84,2 %, що перевищувало контрольний варіант (79,5 %) на 4,7%. Досить високі значення також відзначено при використанні комплексних обробок із Нертус Старт + Нертус Плантапег (82,0%) та Авангард Старт + Авангард Гроу Аміно (81,8%).

Для лінії Сх 808А рівень енергії проростання був нижчим і в середньому змінювався у межах 59,1–66,8%. Найвищі показники відзначено у варіантах еталон + Авангард Старт – 66,8 % та еталон + АКМ – 65,7 %, які перевищували контрольний варіант або були близькими до нього. Найменше значення спостерігалось при застосуванні препарату Puro Tech Seeds – 59,1 % та комбінації Нертус Старт + Нертус Плантапег – 60,5 %.

Лінія Сх 51А характеризувалася найнижчими показниками енергії проростання серед досліджуваних генотипів. У середньому за роки досліджень значення показника варіювали від 41,4 до 48,7% відповідно. Найбільш ефективним виявився варіант еталон + Райкат Старт (2,5 л/т), за якого середній показник досягав 48,7%, що на 7,3% перевищувало контроль. Позитивний ефект також спостерігався при застосуванні Авангард Гроу Аміно (46,2%) та Авангард Старт + Авангард Гроу Аміно – 45,5% (табл. 2).

Важливо відзначити, що помітний вплив на величину показника мали погодні умови років дослідження. Для більшості варіантів характерним було істотне зниження енергії проростання у 2024 році, що свідчить про негативний вплив умов формування насіння або його зберігання у цей період. Найбільш різке зниження спостерігалось у ліній Сх 808А та Сх 51А, де значення показника у 2024 році були значно нижчими порівняно з попередніми роками.

Results and Discussion

Germination energy was significantly dependent on the line genotype, annual weather conditions, and presowing treatment (Table 2). Analysis of variance showed that the contributions of all studied factors—line, year of study, and treatment—were statistically significant.

The highest mean germination energy across the study years was observed in ‘Skh17A’, with values ranging 68.1% to 84.2% depending on the treatment. The maximum germination energy was recorded when the combination Standard + Nertus Plantapeg at a dosage of 0.6 L/t was used: 84.2% versus 79.5% in the control (increase by 4.7%). High germination energy was also noted for combined treatments with Nertus Start + Nertus Plantapeg (82.0%) and Avangard Start + Avangard Grow Amino (81.8%).

In ‘Skh 808A’, the germination energy was lower, ranging on average from 59.1% to 66.8%. The highest germination energy was recorded in the experiments with Standard + Avangard Start (66.8%) and Standard + AKM (65.7%), where it was either hither than or close to the control values. The lowest germination energy was observed in the experiments with Puro Tech Seeds (59.1%) and Nertus Start + Nertus Plantapeg (60.5%).

‘Skh 51A’ had the lowest germination energy among the studied genotypes. On average across the study years, it varied from 41.4% to 48.7%. The most effective treatment turned out to be Standard + Raykat Start (2.5 L/t), where the mean germination energy amounted to 48.7%, exceeding the control by 7.3%. A positive effect was also observed with Avangard Grow Amino (46.2%) and Avangard Start + Avangard Grow Amino (45.5%) (Table 2).

It is important to note that the weather during the study years had a marked influence on this parameter. A significant decrease in germination energy was observed in most experiments in 2024, suggesting a negative impact of the environmental conditions during seed formation or storage during this period. The most pronounced decline was observed in ‘Skh 808A’ and ‘Skh 51A’, where the 2024 values were substantially lower compared to previous years.

Таблиця 2. Вплив варіантів обробок насіння на ознаку енергії проростання, %
Table 2. Influence of seed treatments on germination energy, %

Варіант обробки / Treatment	Cx 808A / Skh 808A				Cx 51A / Skh 51A				Cx 17A / Skh 17A			
	2022	2023	2024	Середнє / Mean	2022	2023	2024	Середнє / Mean	2022	2023	2024	Середнє / Mean
1	86.0	74.0	38.8	66.3	35.8	62.5	26.0	41.4	84.3	75.5	78.8	79.5
2	86.3	75.5	38.8	66.8	46.5	62.0	16.3	41.6	86.3	78.0	70.3	78.2
3	80.3	72.0	35.0	62.4	51.5	63.5	23.5	46.2	78.5	86.0	74.5	79.7
4	87.5	76.5	28.8	64.3	50.0	66.5	20.0	45.5	89.0	87.0	69.5	81.8
5	74.8	75.0	29.5	59.8	46.0	68.0	21.0	45.0	84.8	83.5	63.8	77.3
6	83.5	74.0	32.0	63.2	44.0	64.5	17.3	41.9	81.8	96.0	74.8	84.2
7	72.8	74.5	34.3	60.5	42.3	61.0	24.8	42.7	81.0	95.5	69.5	82.0
8	71.8	73.0	32.5	59.1	45.8	62.0	21.0	42.9	83.0	95.0	66.0	81.3
9	87.0	75.0	35.0	65.7	53.3	62.0	19.3	44.8	87.0	92.5	54.3	77.9
10	70.5	74.5	37.8	60.9	55.0	66.5	24.5	48.7	40.8	94.5	69.0	68.1
H _{P05} фактор А (лінія) – 3.59; H _{P05} фактор В (рік) – 3.59; H _{P05} фактор С (варіант обробки) – 6.55 / LSD ₀₅ factor A (line) – 3.59; LSD ₀₅ factor B (year) – 3.59; LSD ₀₅ factor C (treatment) – 6.55.												

1. Протруєння насіння Баріон, 3 л/т + Екзор, 6 л/т (еталон); 2. Еталон + Авангард Старт, 2 л/т.; 3. Еталон + Авангард Гроу Аміно, 1 л/т. 4. Еталон + Авангард Старт, 2 л/т + Авангард Гроу Аміно, 1 л/т.; 5. Еталон + Нертус Старт, 0,8 л/т.; 6. Еталон + Нертус Плантапег, 0,6 л/т.; 7. Еталон + Нертус старт, 0,8 л/т + Нертус Плантапег, 0,6 л/т.; 8. Еталон + Puro tech seeds, 1,5 л/т.; 9. Еталон + АКМ, 0,2 л/т.; 10. Еталон + Райкат Старт, 2,5 л/т.

1. Control (Standard): Barion (3.0 L/t) + Exor (6.0 L/t); 2. Standard + Avangard Start (2.0 L/t); 3. Standard + Avangard Grow Amino (1.0 L/t); 4. Standard + Avangard Start (2.0 L/t) + Avangard Grow Amino (1.0 L/t); 5. Standard + Nertus Start (0.8 L/t); 6. Standard + Nertus Plantapeg (0.6 L/t); 7. Standard + Nertus Start (0.8 L/t) + Nertus Plantapeg (0.6 L/t); 8. Standard + Puro Tech Seeds (1.5 L/t); 9. Standard + AKM (0.2 L/t); 10. Standard + Raykat Start (2.5 L/t).

Встановлено, що найвищі показники лабораторної схожості були у лінії Cx 17A, де середні значення становили 85,8–93,0%. Максимальний рівень зафіксовано у варіанті еталон + Нертус Плантапег (0,6 л/т) – 93,0%, що перевищує контроль (92,3%) і вказує на високу ефективність даного препарату. Високі показники також спостерігалися у варіантах з використанням Авангард Гроу Аміно (90,0%) та комбінацій стимуляторів (89,4–89,8%).

У лінії Cx 808A лабораторна схожість у середньому змінювалася в межах 71,6–79,2%. Найвищий показник відзначено у контрольному варіанті (79,2%), а також у варіантах із застосуванням Авангард Старт (78,3 %) та АКМ (77,1 %). Найменше значення відзначено за використання мікродобрива Нертус Старт – 71,6 %, що може свідчити про особливості взаємодії генотипу лінії з даними добривами.

Лінія Cx 51A характеризувалася середнім рівнем лабораторної схожості, який варіював у межах 59,2–74,7 %. Найбільш ефективним виявився варіант еталон + Нертус Старт (0,8 л/т), де показник досягав 74,7%, перевищуючи контроль (67,9%) на 6,8%, що є статистично значимим. Також позитивний ефект спостерігався при застосуванні Райкат Старт –

It was found that the highest laboratory germination rates were intrinsic to 'Skh 17A', with mean values ranging from 85.8% to 93.0%. The maximum laboratory germination rate was recorded in the Standard + Nertus Plantapeg (0.6 L/t) experiment: 93.0% versus 92.3% in the control, indicating the high efficacy of this formulation. High rates were also observed in the Avangard Grow Amino (90.0%) experiment and in experiments with various stimulant combinations (89.4–89.8%).

In 'Skh 808A', the laboratory germination rate averaged between 71.6% and 79.2%. The highest values were noted in the control (79.2%), as well as the experiments with Avangard Start (78.3%) and AKM (77.1%). The lowest rate was recorded in the Nertus Start (71.6%) experiment, which may suggest specific genotype×treatment interactions for this line.

'Skh 51A' was characterized by a moderate laboratory germination rate, which varied between 59.2% and 74.7%. The most effective treatment was Standard + Nertus Start (0.8 L/t), where the rate amounted to 74.7%, which was statistically significantly higher (by 6.8%) than in the control (67.9%). Positive effects were also observed with Raykat Start (72.7%) and Avangard Grow Amino (71.3%) (Table 3).

72,7 % та Авангард Гроу Аміно – 71,3 % відповідно (табл. 3).

Отримані результати свідчать, що ефективність впливу передпосівної обробки насіння на лабораторну схожість є специфічною для кожної лінії. Найбільш стабільні та високі показники спостерігалися у лінії Сх 17А, тоді як для Сх 51А характерна найбільша варіабельність і чутливість до дії препаратів. Загалом застосування окремих стимуляторів росту та мікродобрив дозволяє підвищити лабораторну схожість, проте ефект залежить від поєднання препарату та генотипу лінії.

Our results indicate that the efficiency of presowing seed treatment on laboratory germination is genotype-specific. The most stable and highest rates were observed in 'Skh 17A', while 'Skh 51A' exhibited the greatest variability and sensitivity to the applied formulations. In general, the use of some growth stimulants and microfertilizers allows for an increase in laboratory germination; however, the effect depends on the particular combination of the agents and the line genotype.

Таблиця 3. Вплив варіантів обробок насіння на ознаку лабораторної схожості, %
Table 3. Influence of seed treatments on laboratory germination, %

Варіант обробки / Treatment	Сх 808А / Skh 808A				Сх 51А / Skh 51A				Сх 17А / Skh 17A			
	2022	2023	2024	Середнє / Mean	2022	2023	2024	Середнє / Mean	2022	2023	2024	Середнє / Mean
1	95.0	78.5	64.0	79.2	83.0	71.0	49.8	67.9	96.0	94.5	86.3	92.3
2	92.5	79.5	63.0	78.3	86.0	73.5	45.3	68.3	94.0	95.0	78.8	89.3
3	96.5	77.0	59.3	77.6	85.5	71.0	57.3	71.3	94.5	94.5	81.0	90.0
4	94.3	81.0	50.8	75.3	82.8	75.5	48.0	68.8	95.0	95.5	78.8	89.8
5	94.0	79.0	41.8	71.6	93.0	76.0	55.0	74.7	92.8	96.0	76.0	88.3
6	92.3	77.5	52.0	73.9	80.5	74.5	47.0	67.3	93.8	99.5	85.8	93.0
7	96.5	79.5	51.8	75.9	51.0	75.5	51.0	59.2	93.5	97.5	77.3	89.4
8	93.8	80.5	56.0	76.8	74.8	71.0	53.0	66.3	91.8	98.5	77.0	89.1
9	92.8	80.0	58.5	77.1	91.3	72.0	52.5	71.9	95.3	98.0	64.0	85.8
10	92.3	78.5	62.0	77.6	87.3	77.0	53.8	72.7	51.8	97.5	76.8	75.3
	НІР ₀₅ фактор А (лінія) – 2.81; НІР ₀₅ фактор В (рік) – 2.81; НІР ₀₅ фактор С (варіант обробки) – 5.12 / LSD ₀₅ factor A (line) – 2.81; LSD ₀₅ factor B (year) – 2.81; LSD ₀₅ factor C (treatment) – 5.12.											

1. Протруєння насіння Баріон, 3 л/т + Екзор, 6 л/т (еталон); 2. Еталон + Авангард Старт, 2 л/т.; 3. Еталон + Авангард Гроу Аміно, 1 л/т. 4. Еталон + Авангард Старт, 2 л/т + Авангард Гроу Аміно, 1 л/т.; 5. Еталон + Нертус Старт, 0,8 л/т.; 6. Еталон + Нертус Плантапег, 0,6 л/т.; 7. Еталон + Нертус старт, 0,8 л/т + Нертус Плантапег, 0,6 л/т.; 8. Еталон + Puro tech seeds, 1,5 л/т.; 9. Еталон + АКМ, 0,2 л/т.; 10. Еталон + Райкат Старт, 2,5 л/т.

1. Control (Standard): Barion (3.0 L/t) + Exor (6.0 L/t); 2. Standard + Avangard Start (2.0 L/t); 3. Standard + Avangard Grow Amino (1.0 L/t); 4. Standard + Avangard Start (2.0 L/t) + Avangard Grow Amino (1.0 L/t); 5. Standard + Nertus Start (0.8 L/t); 6. Standard + Nertus Plantapeg (0.6 L/t); 7. Standard + Nertus Start (0.8 L/t) + Nertus Plantapeg (0.6 L/t); 8. Standard + Puro Tech Seeds (1.5 L/t); 9. Standard + AKM (0.2 L/t); 10. Standard + Raykat Start (2.5 L/t).

Отримані нами результати свідчать, що польова схожість була відносно високою для всіх досліджуваних ліній і значно перевищувала показники лабораторної схожості, що можна пояснити фітотоксичністю протруйника. Встановлено статистично значимий вплив усіх факторів досліджу (лінія, рік, варіант обробки).

Найвищі значення польової схожості в середньому за роки досліджень відзначено у лінії Сх 808А, де показник варіював у межах 90,5–96,1%. Максимальний рівень забезпечував варіант еталон + Нертус Старт + Нертус Плантапег (96,1%), що перевищувало контроль

Our results indicate that field seedling emergence was relatively high across all studied lines and significantly exceeded the laboratory germination rates. This phenomenon can be attributed to dressing phytotoxicity. Statistical analysis confirmed the significant influence of all experimental factors (line, year, and treatment).

The highest field emergence values, averaged across the study years, were recorded for 'Skh 808A': from 90.5% to 96.1%. The maximum field emergence was achieved in the Standard + Nertus Start + Nertus Plantapeg

(90,5 %) на 5,6 % і є статистично вірогідним. Високі результати також отримано у варіантах із застосуванням Авангард Гроу Аміно – 95,8%, Нертус Плантапег – 94,7% та АКМ – 94,6%.

У лінії Сх 51А середній рівень польової схожості становив 87,2–92,7%. Найбільш ефективним був варіант еталон + Авангард Старт + Авангард Гроу Аміно, де показник досягав 92,7%, що на 5,5 % перевищувало контроль. Також високі значення виявлено у варіантах із застосуванням Puro Tech Seeds – 92,3 %, Нертус Плантапег – 91,8 % та АКМ – 91,6 %.

Лінія Сх 17А характеризувалася дещо нижчими, але стабільно високими показниками польової схожості (у межах 85,0–90,3%). Максимальне значення зафіксовано у варіанті еталон + Авангард Старт + Авангард Гроу Аміно (90,3%), що перевищувало контроль (85,0%) на 5,3%. Позитивний ефект також спостерігався при використанні Нертус Старт + Нертус Плантапег – 89,3% та Авангард Старт – 89,2% (табл. 4). До певної міри схожі результати були отримані в інших дослідженнях (Klymenko et al., 2025; Pokoptseva et al., 2015; Sendetskyi, 2017; 2018).

experiment (96.1% vs. 90.5% in the control; a 5.6% statistically significant increase). High values were also obtained with Avangard Grow Amino (95.8%), Nertus Plantapeg (94.7%), and AKM (94.6%).

In ‘Skh 51A’, the mean field emergence ranged from 87.2% to 92.7%. The most effective treatment was Standard + Avangard Start + Avangard Grow Amino (92.7%, which was 5.5% higher than in the control). High values were also recorded for Puro Tech Seeds (92.3%), Nertus Plantapeg (91.8%), and AKM (91.6%).

‘Skh 17A’ was characterized by slightly lower but still consistently high field emergence (85.0–90.3%). The maximum emergence was recorded in the Standard + Avangard Start + Avangard Grow Amino experiment (90.3% vs. 85.0% in the control; a 5.3% increase). A positive effect was also observed in the experiments with Nertus Start + Nertus Plantapeg (89.3%) and Avangard Start (89.2%) (Table 4). Similar results were reported by other researchers (Klymenko et al., 2025; Pokoptseva et al., 2015; Sendetskyi, 2017; 2018).

Таблиця 4. Вплив варіантів обробок насіння на ознаку польової схожості, %

Table 4. Influence of seed treatments on field seedling emergence, %

Варіант обробки / Treatment	Cx 808A / Skh 808A				Cx 51A / Skh 51A				Cx 17A / Skh 17A			
	2022	2023	2024	Середнє / Mean	2022	2023	2024	Середнє / Mean	2022	2023	2024	Середнє / Mean
1	86.9	91.9	92.7	90.5	73.4	93.3	95.1	87.2	80.3	82.8	92.0	85.0
2	89.3	94.7	94.8	92.9	77.5	97.7	97.3	90.8	85.7	85.7	96.4	89.2
3	94.7	95.3	97.5	95.8	79.5	96.3	98.3	91.3	83.2	84.4	96.7	88.1
4	92.6	93.1	97.8	94.5	81.1	98.4	98.7	92.7	86.1	87.7	97.1	90.3
5	93.0	93.6	95.2	93.9	79.5	99.6	96.0	91.7	82.8	84.4	95.6	87.6
6	91.0	95.6	97.5	94.7	80.7	97.7	97.0	91.8	84.4	85.7	95.5	88.5
7	93.4	96.7	98.1	96.1	79.9	96.5	96.5	91.0	85.2	86.1	96.5	89.3
8	93.4	94.0	94.8	94.1	80.7	98.6	97.7	92.3	82.8	84.8	96.0	87.9
9	89.8	96.6	97.3	94.6	79.5	97.6	97.6	91.6	84.4	85.2	96.2	88.6
10	95.9	94.2	95.9	95.3	76.6	93.7	96.9	89.1	83.6	84.4	96.6	88.2
	H _{P05} фактор А (лінія) – 1.37; H _{P05} фактор В (рік) – 1.37; H _{P05} фактор С (варіант обробки) – 2.50 / LSD ₀₅ factor A (line) – 1.37; LSD ₀₅ factor B (year) – 1.37; LSD ₀₅ factor C (treatment) – 2.50.											

1. Протруєння насіння Баріон, 3 л/т + Екзор, 6 л/т (еталон); 2. Еталон + Авангард Старт, 2 л/т; 3. Еталон + Авангард Гроу Аміно, 1 л/т. 4. Еталон + Авангард Старт, 2 л/т + Авангард Гроу Аміно, 1 л/т; 5. Еталон + Нертус Старт, 0,8 л/т; 6. Еталон + Нертус Плантапег, 0,6 л/т; 7. Еталон + Нертус старт, 0,8 л/т + Нертус Плантапег, 0,6 л/т; 8. Еталон + Puro tech seeds, 1,5 л/т; 9. Еталон + АКМ, 0,2 л/т; 10. Еталон + Райкат Старт, 2,5 л/т.

1. Control (Standard): Barion (3.0 L/t) + Exor (6.0 L/t); 2. Standard + Avangard Start (2.0 L/t); 3. Standard + Avangard Grow Amino (1.0 L/t); 4. Standard + Avangard Start (2.0 L/t) + Avangard Grow Amino (1.0 L/t); 5. Standard + Nertus Start (0.8 L/t); 6. Standard + Nertus Plantapeg (0.6 L/t); 7. Standard + Nertus Start (0.8 L/t) + Nertus Plantapeg (0.6 L/t); 8. Standard + Puro Tech Seeds (1.5 L/t); 9. Standard + AKM (0.2 L/t); 10. Standard + Raykat Start (2.5 L/t).

У цілому встановлено, що застосування стимуляторів росту та мікродобрив у передпосівній обробці насіння сприяє підвищенню польової схожості соняшнику, причому найбільш ефективними є комбіновані варіанти препаратів. Реакція ліній на обробку відрізняється, однак у всіх випадках нами відзначено позитивну тенденцію до покращення формування сходів у польових умовах.

Аналіз показує, що досліджуваний показник був стабільно високим у всіх варіантах і варіював переважно в межах 95,0–98,6 %, що свідчить про добру адаптивність рослин та високу якість насіннєвого матеріалу. Вплив факторів досліду (лінія, рік, варіант обробки) був статистично вірогідним.

Серед досліджуваних генотипів найвищий рівень виживаності відзначено у лінії Сх 17А, де середні значення становили 97,8–98,6%. Максимальний показник отримано у варіанті еталон + Райкат Старт (2,5 л/т) – 98,%, що перевищувало контроль (97,8%) і свідчить про високу ефективність даного препарату. Також високі результати забезпечували варіанти із застосуванням Puro Tech Seeds (98,5 %) та АКМ (98,3%).

У лінії Сх 51А показники виживаності були дещо нижчими, проте також стабільно високими – у межах 95,7–97,9%. Найкращий результат забезпечував варіант еталон + Нертус Старт (97,9 %), що на 2,2 % перевищувало контроль. Високі значення також помічено при застосуванні Нертус Плантапег (97,1 %), АКМ (97,4 %) та Райкат Старт (97,4%).

Лінія Сх 808А характеризувалася середнім рівнем виживаності 95,0–96,7%. Найвищі значення отримано у варіантах еталон + Авангард Гроу Аміно (96,7%), а також при використанні Puro Tech Seeds та АКМ (по 96,6 %), що перевищували контроль (95,0%).

Вплив погодних умов років дослідження на виживаність рослин був незначним, що пояснюється високою пластичністю досліджуваного матеріалу. Незважаючи на певне зниження показників у 2024 році, рівень виживаності залишався високим у всіх варіантах (табл. 5).

Отже, встановлено, що передпосівна обробка насіння стимуляторами росту, антистресантами та мікродобривами сприяє підвищенню виживаності рослин соняшнику, однак величина ефекту є відносно невеликою через початково високий рівень показника. Найбільш ефективними виявилися варіанти із застосуванням Райкат Старт, Нертус Старт та комплексних препаратів, причому реакція рослин значною мірою залежала від генотипу лінії.

In summary, the application of growth stimulants and microfertilizers in presowing seed treatment improved field emergence in sunflower, with combined formulations being the most effective. Although the response of the lines varied, a positive trend, i.e. improved seedling establishment under field conditions, was observed in all cases.

Analysis shows that this parameter was consistently high across all experiments, ranging primarily between 95.0% and 98.6%. This indicates good plant adaptability and high quality of seeds. The effects of all experimental factors (line, year, and treatment) were statistically significant.

Among the studied genotypes, the highest survival rate was recorded in 'Skh 17A', where mean values ranged from 97.8% to 98.6%. The maximum survival rate was achieved in the Standard + Raykat Start (2.5 L/t) experiment, reaching 98.6%, exceeding the control (97.8%) and confirming the high efficacy of this combination. High survival rates were also documented in the Puro Tech Seeds (98.5%) and AKM (98.3%) experiments.

In 'Skh 51A', the survival rates were slightly lower but remained consistently high, within 95.7–97.9%. The best result was achieved in the Standard + Nertus Start experiment (97.9% or 2.2% higher than in the control). High survival rates were also observed with Nertus Plantapeg (97.1%), AKM (97.4%), and Raykat Start (97.4%).

'Skh 808A' showed medium survival rates of 95.0–96.7%. The highest survival rates were obtained in the Standard + Avangard Grow Amino (96.7%), Puro Tech Seeds, and AKM (96.6% with each formulation) experiments (all these values were higher than the control survival rate of 95.0%).

The effect of the weather during the study years on plant survival was minor, which is explained by high phenotypic plasticity of the studied lines. Despite a slight decrease in the 2024 survival rates, the survival level remained high across all experiments (Table 5).

Thus, it was proven that presowing seed treatment with growth stimulants, anti-stress agents, and microfertilizers increases sunflower plant survival. However, the magnitude of this effect is relatively small due to the initially high baseline level of this parameter. The most effective treatments were those involving Raykat Start, Nertus Start, and combined formulations, with the plant response largely depending on the line genotype.

Таблиця 5. Вплив варіантів обробок насіння на виживаність рослин соняшника, %
Table 5. Influence of seed treatments on sunflower plant survival, %

Варіант обробки / Treatment	Cx 808A / Skh 808A				Cx 51A / Skh 51A				Cx 17A / Skh 17A			
	2022	2023	2024	Середнє / Mean	2022	2023	2024	Середнє / Mean	2022	2023	2024	Середнє / Mean
1	97.0	96.8	91.2	95.0	97.2	96.8	93.0	95.7	98.0	97.0	98.5	97.8
2	96.8	98.8	92.5	96.0	96.9	97.4	95.3	96.5	97.6	97.6	99.0	98.1
3	96.9	98.3	94.8	96.7	97.5	97.3	95.7	96.8	98.1	98.1	98.2	98.1
4	98.2	98.3	92.7	96.4	97.5	97.9	95.0	96.8	97.6	97.7	98.8	98.0
5	96.9	97.9	94.7	96.5	97.5	98.0	98.3	97.9	98.0	98.1	98.0	98.0
6	96.9	98.1	94.3	96.4	96.9	97.4	97.1	97.1	98.6	97.6	98.5	98.2
7	97.4	98.2	93.6	96.4	97.4	97.7	97.1	97.4	98.1	97.2	98.5	97.9
8	98.2	98.1	93.6	96.6	97.0	97.3	97.5	97.3	99.0	98.1	98.5	98.5
9	98.7	97.8	93.3	96.6	97.4	97.9	96.9	97.4	98.6	97.6	98.7	98.3
10	97.5	97.6	91.7	95.6	97.9	98.4	95.8	97.4	99.0	97.1	99.6	98.6
	H _{P05} фактор А (лінія) – 0.62; H _{P05} фактор В (рік) – 0.62; H _{P05} фактор С (варіант обробки) – 1.14 / LSD ₀₅ factor A (line) – 0.62; LSD ₀₅ factor B (year) – 0.62; LSD ₀₅ factor C (treatment) – 1.14.											

1. Протруєння насіння Баріон, 3 л/т + Екзор, 6 л/т (етелон); 2. Еталон + Авангард Старт, 2 л/т.; 3. Еталон + Авангард Гроу Аміно, 1 л/т. 4. Еталон + Авангард Старт, 2 л/т + Авангард Гроу Аміно, 1 л/т.; 5. Еталон + Нертус Старт, 0,8 л/т.; 6. Еталон + Нертус Плантапег, 0,6 л/т.; 7. Еталон + Нертус старт, 0,8 л/т + Нертус Плантапег, 0,6 л/т.; 8. Еталон + Puro tech seeds, 1,5 л/т.; 9. Еталон + АКМ, 0,2 л/т.; 10. Еталон + Райкат Старт, 2,5 л/т.

1. Control (Standard): Barion (3.0 L/t) + Exor (6.0 L/t); 2. Standard + Avangard Start (2.0 L/t); 3. Standard + Avangard Grow Amino (1.0 L/t); 4. Standard + Avangard Start (2.0 L/t) + Avangard Grow Amino (1.0 L/t); 5. Standard + Nertus Start (0.8 L/t); 6. Standard + Nertus Plantapeg (0.6 L/t); 7. Standard + Nertus Start (0.8 L/t) + Nertus Plantapeg (0.6 L/t); 8. Standard + Puro Tech Seeds (1.5 L/t); 9. Standard + AKM (0.2 L/t); 10. Standard + Raykat Start (2.5 L/t).

За результатами статистичної обробки та побудови медіани нормального розподілу для всіх досліджуваних варіантів нами був встановлений характерний високий рівень медіан виживаності, які зосереджені переважно в межах 96–98 %. Це може вказувати на загальну стабільність ознаки незалежно від варіанта обробки. Але відзначається певна диференціація між досліджуваними лініями. Так, для лінії Cx 17A характерні найвищі медіанні значення та найменша варіабельність, що свідчить про її генетично зумовлену стабільність і високу адаптивність та відсутність змін виживаності залежно від варіанту обробки. Лінія Cx 51A характеризувалася проміжним положенням як за рівнем медіани, так і за шириною варіації варіантів обробки. Для лінії Cx 808A нами була встановлено відповідно найнижчі значення виживаності по досліді, а також найсильніше відхилення значень виживаності від медіани нормального розподілу (рис. 1).

Залежно від варіанта обробки насіння спостерігаються певні відмінності у положенні медіан. Найбільш високі та стабільні значення формуються у варіантах із застосуванням комбінованих препаратів та стимуляторів росту (зокрема Райкат Старт, Нертус Старт, Puro Tech Seeds), де медіани зміщені у верхню частину

From the statistical processing and construction of the normal distribution medians for all studied treatments, it is seen that the survival medians were consistently high, concentrated primarily within the 96–98% range. This may indicate the general stability of the trait regardless of the treatments. However, there was a certain differentiation between the studied lines. Specifically, ‘Skh 17A’ had the highest median values and the lowest variability, suggesting its genetically determined stability, high adaptability, and the absence of significant survival fluctuations across the treatments. ‘Skh 51A’ occupied an intermediate position in terms of both its median values and variation range across the treatments. For ‘Skh 808A’, we recorded the lowest survival rates and the most pronounced deviations from the normal distribution median (Fig. 1).

Depending on the seed treatment, there were certain differences in the median positions. The highest and most stable medians were noted in the experiments with combinations (specifically Raykat Start, Nertus Start, and Puro Tech Seeds), where the medians were shifted toward the upper part of the range and exhibited

діапазону і мають вузькі інтервали розсіювання. Це свідчить про не лише підвищення середнього рівня ознаки, але й про зменшення варіабельності, тобто стабілізацію процесів формування рослин.

narrow dispersion intervals. This indicates not only an increase in the average level of the trait but also a reduction in variability, representing a stabilized plant development.

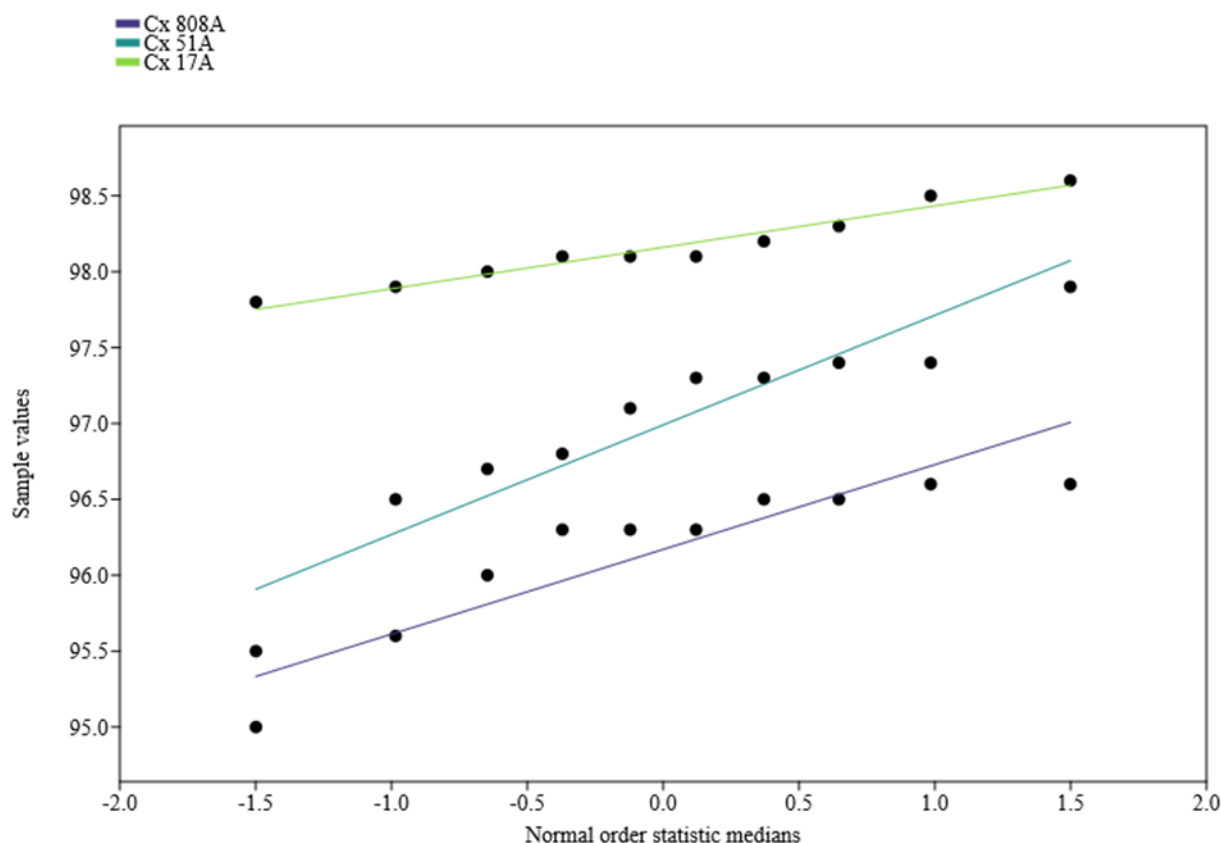


Рис. 1. Медіана нормального розподілу ознаки виживаності рослин за досліджуваними лініями залежно від варіанта обробки насіння

Примітка: Прямими лініями позначені теоретичні медіани для нормального розподілу; точками позначені спостережувані медіани виживаності для кожної лінії

Fig. 1. Normal probability plot of plant survival across studied sunflower lines.

Note: Straight lines represent the theoretical medians for a normal distribution; dots represent the observed survival medians for each line.

Нами встановлено, що вплив факторів на виживаність рослин був різним та найбільший внесок у варіацію показника мав генотип лінії (фактор А) у межах 35 %, що вказує на визначальну роль спадкових особливостей ліній у формуванні рівня виживаності. Це узгоджується з попередніми результатами, де лінія Cx 17A стабільно перевищувала інші за даним показником.

Фактор року (фактор В) мав помітний, але менший вплив у межах – 21%, що відображає роль погодних умов у реалізації потенціалу рослин. Водночас відносно невелика частка цього фактора може свідчити про достатню екологічну пластичність досліджуваних ліній, оскільки навіть за різних умов років рівень виживаності залишався досить високим.

We established that the effects of the investigated factors on plant survival differed significantly, with the largest contribution to the total variance made by the genotype (Factor A) at approximately 35%. This indicates the decisive role of hereditary characteristics in determining survival levels and aligns with previous findings where 'Skh 17A' consistently outperformed the others in this regard.

The year factor (Factor B) made a notable but smaller contribution of 21%, reflecting the role of weather in the realization of the plants' biological potential. At the same time, the relatively low share of this factor suggests sufficient environmental plasticity of the studied lines, as survival levels remained high despite varying annual conditions.

Варіант обробки насіння (фактор С) мінімально впливав на формування ознаки та становив на рівні 6%, його частка є найменшою серед основних факторів. Це пояснюється тим, що вихідний рівень виживаності був близьким до максимального, тому потенціал для суттєвого підвищення показника за рахунок обробки був обмеженим та не міг змінюватися.

Разом з тим, певну роль відіграють і взаємодії факторів ($A \times B$, $A \times C$, $B \times C$), що свідчить про неоднакову реакцію різних ліній на умови року та застосовані препарати (рис. 2).

The seed treatment (Factor C) had a minimal impact on the trait, accounting for only 6% of the variance—the smallest contribution among the factors. This is explained by the fact that the baseline survival was near-maximal; thus, the potential for significant further improvement through treatment was inherently limited.

Furthermore, a certain role was played by inter-factor interactions ($A \times B$, $A \times C$, $B \times C$), indicating that different lines react uniquely to annual conditions and formulations (Fig. 2).



Рис. 2. Частка впливу факторів на виживаність рослин ліній
Fig. 2. Contribution of factors to the total plant survival variance in sunflower lines

Висновки

Встановлено, що передпосівна обробка насіння стимуляторами росту та мікродобривами достовірно впливає на енергію проростання, лабораторну і польову схожість та виживаність рослин ліній соняшнику. Найбільший вплив на формування досліджуваних ознак мав генотип лінії, тоді як варіант обробки проявляв менший, але статистично значимий ефект.

Найвищі показники посівних якостей стабільно формувала лінія Сх 17А, тоді як реакція інших ліній була більш варіабельною і залежала від застосованих препаратів. Найбільш ефективними виявилися комбіновані варіанти обробки (Авангард Старт + Авангард Гроу

Conclusions

It was proven that presowing seed treatment with growth stimulants and microfertilizers significantly influences germination energy, laboratory germination, field emergence, and survival of sunflower lines. The genotype had the greatest influence on the studied traits, while the treatment exhibited a smaller but statistically significant effect.

The line ‘Skh 17A’ consistently demonstrated the highest sowing quality indicators, whereas the response of the other lines was more variable and depended on the formulations. The most effective treatments turned out to be combinations (Avangard Start +

Аміно, Нертус Старт + Нертус Плантапег) та окремі препарати (Райкат Старт, АКМ), які забезпечували підвищення показників відносно контролю. Встановлено, що виживаність рослин була високою у всіх варіантах (95–98%), а вплив обробки насіння на цю ознаку був обмеженим через її високий базовий рівень.

Таким чином, можна говорити, що ефективність застосування стимуляторів росту та мікродобрив визначається взаємодією генотип × препарат, що необхідно враховувати при оптимізації технологій вирощування соняшнику.

Заява про доступність даних: Дані включені безпосередньо в статтю.

Використання штучного інтелекту (ШІ): При підготовці і написанні статті штучний інтелект не використовувався.

Конфлікт інтересів: Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів.

Фінансування: Дослідження виконано за завданням 16.00.00.03.Ф «Встановлення закономірностей мінливості репродукційних процесів соняшнику під впливом регуляторів росту і мікродобрив та розроблення на їх основі способів підвищення насіннєвої продуктивності батьківських компонентів гібридів» (№ державної реєстрації 0121U100557).

Avangard Grow Amino, Nertus Start + Nertus Plantapeg) and individual formulations (Raykat Start, AKM), which increased the measured parameters compared to the control. It was noted that plant survival was high in all experiments (95–98%), and the impact of seed treatment on this trait was limited due to its high baseline level.

Thus, the efficacy of growth stimulants and microfertilizers is determined by the genotype × treatment interaction, which must be considered when optimizing sunflower cultivation technologies.

Data Availability Statement: The data are included in the article.

Use of Artificial Intelligence (AI): Artificial intelligence was not used in the preparation and writing of this article.

Conflict of Interest: Authors declare state that no conflicts exist.

Funding: The research was carried out under the task 16.00.00.03.F "Establishment of patterns of variability of sunflower reproductive processes under the influence of growth regulators and microfertilizers and development of methods based on them to increase seed productivity of parental components of hybrids" (state registration number 0121U100557).

References

- Ali, A. A., Lamlom, S. F., El-Sorady, G. A., Elmahdy, A. M., Abd Elghany, S. H., Usman, M., & Abdelghany, A. M. (2024). Boosting resilience and yields in water-stressed sunflower through coordinated irrigation scheduling and silica gel applications. *Heliyon*, 10(20). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e38129>
- Buriak, Yu. I., Ohurtsov, Yu. Ye., Chernobab, O. V., & Klymenko, I. I. (2014). Sowing qualities of sunflower seeds depending on the influence of plant growth regulators and seed dressers. *Seleksiia i Nasinnytstvo*, 105, 173–177. <https://doi.org/10.30835/2413-7510.2014.42072> [in Ukrainian]
- Chuiko, D. (2021). Plant growth regulator effects on sunflower parents and F1 hybrids. *Žemės ūkio mokslai*, 28(2). <https://doi.org/10.6001/zemesukiomokslai.v28i2.4508>
- Chuiko, D. V. (2022). Evaluation of sunflower starting material for breeding-valuable traits. *Seleksiia i Nasinnytstvo*, 121, 6–14. <https://doi.org/10.30835/2413-7510.2022.260986>
- Chuyko, D. V., Bragin, O. M., Mykhailenko, V. O., Romanova, T. A., & Romanov, O. V. (2020). Influence of plant growth regulators on productivity of sunflower lines. *Seleksiia i Nasinnytstvo*, 117, 215–226. <https://doi.org/10.30835/2413-7510.2020.207186> [in Ukrainian]
- DSTU 4138-2002. (2003). *Seeds of agricultural crops. Methods for determining quality*. Derzhstandart Ukrainy. [in Ukrainian]
- El-D, A. M. S. A., Salama, A., & Wareing, P. F. (1979). Effects of mineral nutrition on endogenous cytokinins in plants of sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Journal of Experimental Botany*, 30(5), 971–981. <https://doi.org/10.1093/jxb/30.5.971>
- Gruzova, K. A., Bashmakov, D. I., Miliauskienė, J., Vaštakaitė, P., Duchovskis, P., & Lukatkin, A. S. (2018). The effect of a growth regulator Ribav-Extra on winter wheat seedlings exposed to heavy metals. *Zemdirbyste-Agriculture*, 105(3), 227–234. <https://doi.org/10.13080/z-a.2018.105.029>
- Hammer, Ø., & Harper, D. A. T. (2001). PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica*, 4(1), 1.

- Hussain, S., Khalili, A., Qayyum, A., Khan, S. U., Mehmood, A., Ahmad, G., & Zeng, Y. (2025). Optimizing sunflower (*Helianthus annuus* L.) hybrids growth, achene and oil yield through soil applied sulphur and zinc. *Scientific Reports*, 15(1), 13829. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-96800-2>
- Klymenko, I. I. (2015). Influence of plant growth regulators and microfertilizer on seed yield of sunflower lines and hybrids. *Selektsiia i Nasinnnytstvo*, 107, 183–188. <https://doi.org/10.30835/2413-7510.2015.54055> [in Ukrainian]
- Marenych, M. M., Yurchenko, S. O., Bahan, A. V., & Yeshchenko, V. M. (2018). Formation of productivity of winter wheat varieties under the influence of humic substances. *Scientific Progress & Innovations*, 1, 63–66. <https://doi.org/10.31210/visnyk2018.01.09> [in Ukrainian]
- Pokoptseva, L. A., Yermenko, O. A., & Bulhakov, D. V. (2015). Use of plant growth regulators for pre-sowing treatment of sunflower seeds of hybrid Armada. *Visnyk Ahrarnoi Nauky Prychornomoria*, 8(10), 127–135. [in Ukrainian]
- Rehman, H., Alharby, H. F., Alzahrani, Y., & Rady, M. M. (2018). Magnesium and organic biostimulant integrative application induces physiological and biochemical changes in sunflower plants and its harvested progeny on sandy soil. *Plant Physiology and Biochemistry*, 126, 97–105. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2018.02.031>
- Santini, G., Biondi, N., Rodolfi, L., & Tredici, M. R. (2021). Plant biostimulants from cyanobacteria: An emerging strategy to improve yields and sustainability in agriculture. *Plants*, 10(4), 643. <https://doi.org/10.3390/plants10040643>
- Sendetskyi, V. M. (2018a). Germination and plant density of sunflower hybrids under pre-sowing seed treatment. *Podilian Bulletin: Agriculture, Engineering, Economics*, 28, 120–125. [in Ukrainian]
- Sendetskyi, V. M. (2017). Influence of growth regulators on growth, development and yield formation of sunflower plants. *Visnyk Dnipropetrovskoho Derzhavnoho Ahrarno-Ekonomichnoho Universytetu*, 3, 40–43. [in Ukrainian]
- Sendetskyi, V. M. (2018b). Influence of humic preparations on yield and quality indicators of sunflower seeds in the conditions of the Western Forest-Steppe. *Naukovyi Visnyk NUBiP Ukrainy. Series: Agronomy*, 294, 32–41. <https://doi.org/10.31548/AGR2018.294.032> [in Ukrainian]
- Shafiq, B. A., Nawaz, F., Majeed, S., Aurangzaib, M., Al Mamun, A., Ahsan, M., & ul Haq, T. (2021). Sulfate-based fertilizers regulate nutrient uptake, photosynthetic gas exchange, and enzymatic antioxidants to increase sunflower growth and yield under drought stress. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 21(3), 2229–2241. <https://doi.org/10.1007/s42729-021-00516-x>
- Shakalii, S. M., & Kulyk, Ye. I. (2024). Influence of biostimulant treatment methods on sowing qualities of sunflower seeds. *Tavriiskyi Naukovyi Visnyk*, 137, 343–351. <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2024.137.40> [in Ukrainian]
- Tütüncü, M. (2024). The effects of the combination of mycorrhizae, vermicompost and humic acid applications on ornamental sunflower growth parameters. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 39(1), 183–194. <https://doi.org/10.7161/omuanajas.1415885>
- Volkodav, V. V. (2000). *Methods of state variety trials of agricultural crops*. Derzhavna Komisiia Ukrainy po Vyprobuvanniu ta Okhoroni Sortiv Roslyn. [in Ukrainian]
- Yuldasheva, Z. F., & Karabayeva, D. J. (2023). The effect of different doses of biostimulants on the yield of oilseed sunflower. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1142(1), 012097.
- Zapletalová, A., Vician, T., Ernst, D., Černý, I., Vicianová, M., & Bušo, R. (2024). Formation of quantitative and qualitative parameters of sunflower (*Helianthus annuus* L.) after application of stimulating substances. *Journal of Central European Agriculture*, 25(3), 675–685. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1371/8/082034>

УДК: 633.491:631.53.01:661.162.6

В.В. Думанецький

Вплив десикації та регуляторів росту на рівень вірусної інфекції в насіннєвому матеріалі картоплі

Інститут картоплярства НААН України, смт Немішаєве, Київська область, Україна

E-mail: dumanetskyi@ukr.net

UDC: 633.491:631.53.01:661.162.6

V.V. Dumanetsky

Impact of Desiccation and Growth Regulators on Viral Infection Seed Potatoes

Institute of Potato Growing of NAAS of Ukraine, Nemishaieva, Kyivska Oblast, Ukraine

E-mail: dumanetskyi@ukr.net

Реферат: Розглянуто результати досліджень впливу регуляторів росту Райкат, Радіфарм, препарату з фунгіцидними і антивірусними властивостями Фармайод та десикації на рівень вірусної інфекції в насіннєвому матеріалі картоплі сорту Житниця в умовах Лісостепу України. Встановлено, що видалення картоплиння на 15-ту добу після цвітіння у поєднанні з рістстимулювальними препаратами мінімізує реінфікування бульб вірусами.

Ключові слова: картопля, регулятори росту рослин, насінництво, віруси, десикація.

Abstract: The article presents results on the influence of plant growth regulators (Raykat, Radipharm), a preparation with fungicidal and antiviral properties (Farmayod), and desiccation on viral infection in seed potatoes 'Zhytnytsia' in the Ukrainian Forest-Steppe. It was found that the removal of potato haulms on day 15 after anthesis, in combination with growth-stimulating preparations, minimizes the reinfection of tubers with viruses.

Key words: potatoes, plant growth regulators, seed production, viruses, desiccation.

Вступ

Однією з найбільш деструктивних проблем у селекції та насінництві картоплі залишаються вірусні хвороби. Попри значну увагу до селекції на резистентність, асортимент стійких сортів залишається обмеженим. Підтримання безвірусного стану насіннєвого матеріалу є складним завданням навіть за умови суворого дотримання комплексу антивірусних заходів (Vishnevskaya et al., 2021). Основним дестабілізуючим чинником є одночасне вирощування сортів із різним ступенем сприйнятливості: високочутливі генотипи навіть за просторової ізоляції акумулюють інфекцію, стаючи джерелом вторинного зараження для більш стійких сортів. Через вегетативний спосіб розмноження віруси персистують у бульбах, що зумовлює прогресуюче виродження та повне ураження сорту (Matskevych et al., 2002).

Introduction

Viral diseases remain one of the most destructive problems in potato breeding and seed production. Despite significant attention to breeding for resistance, the assortment of resistant cultivars remains limited. Maintaining the virus-free status of seed material is a complex task, even with strict adherence to a complex of antiviral measures (Vishnevskaya et al., 2021). The primary destabilizing factor is concurrent cultivation of cultivars with varying susceptibility: highly susceptible genotypes, even provided spatial isolation, accumulate infection and become sources of secondary infection for more resistant cultivars. Because of vegetative reproduction, viruses persist in tubers, leading to progressive degeneration and total infection of cultivars (Matskevych et al., 2002).

Незважаючи на ефективність біотехнологічних методів у системі безвірусного насінництва картоплі, широке впровадження такого матеріалу обмежується його високою вартістю. Це актуалізує пошук способів інтенсифікації використання репродуктивного та продуктивного потенціалу оздоровлених рослин.

Згідно з сучасними дослідженнями Araujo et al. (2019) використання регуляторів росту рослин є перспективним напрямом для корекції фізіологічних процесів картоплі. Їх застосування не лише підвищує продуктивність, а й сприяє формуванню резистентності до несприятливих гідротермічних умов та інфекційних агентів, що є критично важливим для стабілізації насіннєвої урожайності та якості.

Сучасний стан фітосанітарного моніторингу свідчить про широке розповсюдження спектру вірусних патогенів на картоплі (Moskovets et al., 1975; Melnychuk, 2005). До складу домінуючої вірофлори (Bimrew, Abera, 2023) входять: вірус скручування листків картоплі ВСЛК (Potato leafroll virus, PLPV); віруси картоплі Potato virus Y (PVY), Potato virus X (PVX), Potato virus S (PVS), Potato virus M (PVM), Potato virus A (PVA), а також віруси аукуба-мозаїки (Potato aucuba mosaic virus, PAMV), чорної кільцевої плямистості томатів (Tomato blackring virus, TBRV) та жовтої карликовості картоплі, ВЖКК (Potato yellow dwarf virus, PYDV). Слід зазначити, що в агрокліматичних умовах України найбільшу епідеміологічну небезпеку та шкодочинність становлять X-, Y-, M-, S- та L віруси, які зумовлюють значні втрати врожаю та погіршення сортових якостей насіннєвого матеріалу картоплі.

Шкодочинність основних вірусів картоплі в Україні характеризується широким діапазоном залежно від ступеня патогенності збудника. За даними дослідників (Abbas, 2021) за руйнівним впливом вірусні хвороби поділяють на легкі форми (дефіцит урожаю 10–15%) та тяжкі, що призводять до втрати до 90 % продукції. Зокрема, ураження насаджень YBK та PLPV зумовлює критичне зниження врожайності (до 90 %), тоді як вплив PVM та PVS є менш агресивним і становить 25–40 та 10–20% відповідно. Встановлено (Abbas et al., 2016) пряму кореляцію між рівнем інфекційного фону та втратами врожаю: збільшення частки рослин картоплі, уражених патогенами з групи тяжких вірусів на 1%, спричиняє зниження загальної врожайності на 0,5–0,6%, що підкреслює критичну необхідність удосконалення елементів технології щодо вирощування здорового посадкового матеріалу.

Despite effective biotechnological methods in virus-free potato seed production, the widespread implementation of such material is limited by its high cost. This highlights the need to find ways to intensify the use of the reproductive and productive potentials of sanitized plants.

According to a recent study by Araujo et al. (2019), the use of plant growth regulators (PGRs) is a promising direction for correcting physiological processes of potatoes. Their application not only increases performance but also improves resistance to unfavorable hydrothermal conditions and infectious agents, which is critical for stabilizing seed yield and quality.

The current phytosanitary monitoring indicates a widespread spectrum of viral pathogens in potatoes (Moskovets et al., 1975; Melnychuk, 2005). The dominant viroflora (Bimrew, Abera, 2023) includes: Potato leafroll virus (PLRV), Potato virus Y (PVY), Potato virus X (PVX), Potato virus S (PVS), Potato virus M (PVM), Potato virus A (PVA), Potato aucuba mosaic virus (PAMV), Tomato black ring virus (TBRV), and Potato yellow dwarf virus (PYDV). It should be noted that in the agro-climatic conditions of Ukraine, the greatest epidemiological danger and harmfulness are posed by X, Y, M, S, and L viruses, which cause significant yield losses and deterioration of the varietal qualities of seed potatoes.

The harmfulness of major potato viruses in Ukraine is highly variable, depending on the virulence of the pathogen. According to researchers (Abbas, 2021), viral diseases are categorized by their destructive impact into mild forms (yield deficit of 10–15%) and severe forms (leading to an up to 90% loss of production). In particular, the infection of crops with PVY and PLRV causes a critical decrease in yield (up to 90%), while PVM and PVS are less aggressive, resulting in a 25–40% and 10–20% loss, respectively. There was a direct correlation between infectious background and yield losses: a 1% increase in the proportion of potato plants infected with severe viruses causes a decrease in total yield by 0.5–0.6%, highlighting the critical need to improve technological elements for growing healthy planting material (Abbas et al., 2016).

Серед комплексу таких заходів є десикація або раннє видалення картоплиння, що дозволяє перервати шлях переміщення вірусів від асиміляційного апарату до дочірніх бульб та застосування сучасних регуляторів росту рослин, що передбачає корекцію морфофізіологічних процесів на етапах онтогенезу картоплі, зокрема під час передпосадкової підготовки бульб та шляхом позакоренових обробок (Tischenko, Yuzyuk, 2017).

Експериментально доведено, що превентивна елімінація картоплиння суттєво знижує вірусне навантаження на насіннєвий матеріал поточного сезону, оскільки значна частина патогенів не встигає мігрувати до столонів. Зокрема, показано, що видалення картоплиння на 65-ту добу після садіння мінімізує ймовірність передачі вірусів афідними векторами (попелицями), що є важливим для отримання сертифікованого насіннєвого матеріалу (Mandal, Das, 2020). Ефективність контролю афідних векторів (Awasthi, Verma, 2017), зокрема переносників вірусу скручування листків картоплі (PLPV) та картопляної молі, значною мірою детермінована вчасним видаленням картоплиння. Встановлено, що десикацію картоплиння необхідно проводити негайно після досягнення критичного порогу чисельності попелиць, який становить 20 особин на 100 складних листків. Зниження ураження насаджень вірусами (скручування листків, тяжка мозаїка) досягається за умови превентивного видалення картоплиння до моменту масового льоту переносників (Khurana, 1999).

Рациональне використання регуляторів росту рослин (PPP) сприяє не лише зростанню врожайності та поліпшенню якісних показників бульб, а й істотно підвищує адаптивний потенціал рослин до біотичних (хвороби, шкідники) та абіотичних стресорів. Так, встановлено ефективність застосування фізіологічно активних сполук в обмеженні поширення та шкодочинності *Phytophthora infestans* de Bary та *Alternaria solani* (Ell. et Mart.) (El-Khair H.A., Wafaa M., Haggag L., 2007).

Незважаючи на доведену ефективність десикації картоплиння та використання PPP для контролю вірусного патогенезу, залишається недостатньо вивченим синергічний ефект поєднання технологічних заходів (строки видалення картоплиння) із застосуванням сучасних регуляторів росту для максимальної реалізації продуктивності та якості насіннєвих бульб. Це зумовило необхідність проведення комплексних досліджень, спрямованих на

Such measures include desiccation or early haulm removal, preventing the migration of viral particles from the foliage to the newly formed tubers, and the application of modern PGRs, which involves the correction of morphophysiological processes during potato ontogeny, particularly during pre-planting tuber preparation and via foliar treatments (Tischenko, Yuzyuk, 2017).

It was experimentally proven that preventive haulm elimination significantly reduces the viral load on the current season's seed material, as a significant portion of pathogens does not have time to migrate to stolons. Specifically, it was shown that removing haulms on day 65 after planting minimizes the probability of virus transmission by aphid vectors, which is important for obtaining certified seed material (Mandal, Das, 2020). The effectiveness of controlling aphid vectors (Awasthi, Verma, 2017), particularly carriers of PLRV and potato tuber moth, is largely determined by timely haulm removal. It was established that haulm should be desiccated immediately after reaching the critical threshold of aphid population, which is 20 individuals per 100 compound leaves. A reduction in crop infection with viral diseases (leaf roll, rugose mosaic) is achieved through preventive haulm removal before the mass flight of vectors (Khurana, 1999).

The rational use of PGRs not only increases yields and improves tuber quality but also significantly enhances plants' adaptability to biotic (diseases, pests) and abiotic stressors. For instance, the effectiveness of physiologically active compounds in limiting the spread and harmfulness of *Phytophthora infestans* de Bary and *Alternaria solani* (Ell. et Mart.) J. et Gr. Was demonstrated (El-Khair H.A., Wafaa M., Haggag L. 2007).

Despite the proven effectiveness of haulm desiccation and PGRs for controlling viral pathogenesis, the synergistic effect of combining technological measures (timing of haulm removal) with the application of modern PGRs for maximizing the productivity and quality of seed tubers remains insufficiently studied. This necessitated comprehensive research aimed at optimizing the elements of growing basic seed potatoes.

оптимізацію елементів вирощування базової насінневої картоплі.

Метою роботи було експериментальне підтвердження ефективності поєднання регуляторів росту і оптимізованого терміну десикації картоплиння як факторів підвищення стійкості та фітосанітарної якості насінневого матеріалу картоплі.

Методика

Дослідження проводили на базі Калинівсько-Корделівського опорного пункту Інституту картоплярства НААН (Вінницька обл.). Ґрунт дослідної ділянки – чорнозем лучний середньосуглинковий. Агрохімічна характеристика орного шару ґрунту свідчить про його придатність для вирощування насінневої картоплі: вміст гумусу (за Тюрнімом) – 3,1–4,0 %; рН 5,1–5,5; легкогідролізований азот (за Корнфілдом) – 20 мг/100 г ґрунту, рухомий фосфор (P_2O_5) за Чиріковим – 10,1–15,0 та обмінний калій (K_2O) за Чиріковим – 8,1–12,0 мг на 100 г ґрунту відповідно.

Технологія вирощування картоплі базувалася на галузевих рекомендаціях для зони Лісостепу, адаптованих до вимог виробництва базового насінневого матеріалу. Для мінімізації ризиків вірусного ураження забезпечено сувору просторову ізоляцію: дослідні ділянки були розміщені всередині масивів озимих зернових культур за відсутності інших насаджень пасльонових у радіусі, передбаченому нормативами насінництва (Bondarchuk et al., 2019).

Елементи технології вирощування: попередник – пшениця озима; обробіток ґрунту – зяблева оранка, весняна передпосадкова культивування, нарізання борозн з наступним дисковим загортанням; система удобрення – локальне внесення нітроаммофоски під час садіння (5 ц/га у фізичний вазі або $N_{80}P_{80}K_{80}$ кг д.р./га, у фазі повних сходів підживлення аміачною селітрою $N_{34,5}$ кг д.р./га; догляд за насадженнями – дворазовий міжрядний обробіток (культивування з боронуванням та підгортання); система захисту – протруювання насінневого матеріалу препаратами: Еместо-Квантум, 0,25 л/т та Селес Топ, 0,5–0,7 л/т – для контролю шкідників та хвороб; інсекто-афіцидний контроль: систематичні обробки інсектицидом Енжіо 247 SC – 0,18 л/га, від фази появи сходів з інтервалом 8–10 діб (для недопущення масового заселення афіцидними векторами); фунгіцидний захист: профілактичні

The purpose of this study was to experimentally verify the effectiveness of combining growth regulators with optimized timing for potato haulm desiccation as factors for increasing the resistance and phytosanitary quality of seed potato material.

Methods

The study was conducted at Kalynivka-Kordelivka Support Station of the Institute of Potato Growing of NAAS (Vinnytska Oblast). The soil in the experimental plots is a leached medium-loamy chernozem. The agrochemical characteristics of the arable layer indicate its suitability for seed potato production: the humus content (by Tyurin's method) is 3.1–4.0%; pH is 5.1–5.5; the easily hydrolyzable nitrogen content (by Cornfield's method) is 20 mg/100 g of soil; the mobile phosphorus (P_2O_5) content (by Chyrikov's method) is 10.1–15.0 mg/100 g; and the exchangeable potassium (K_2O) content (by Chyrikov's method) is 8.1–12.0 mg/100 g of soil.

The potato cultivation technology was based on industry guidelines for the forest-steppe zone, adapted to the requirements for basic seed material production. To minimize the risks of viral infection, strict spatial isolation was ensured: the experimental plots were placed within winter cereal massifs, with no other solanaceous plantings within the radius stipulated by seed production standards (Bondarchuk et al., 2019).

The technological elements were as follows: winter wheat was sown as the forecrop; the tillage included autumn plowing, spring pre-planting cultivation, furrowing followed by disk covering; fertilization included local application of complex NPK fertilizer during planting (500 kg/ha or $N_{80}P_{80}K_{80}$ kg a.i./ha); top-dressing with ammonium nitrate ($N_{34,5}$ kg a.i./ha) at the full emergence phase; the crop maintenance was double inter-row cultivation (tilling with harrowing and hilling); the plant protection included seed treatment with Emesto Quantum (0.25 L/t) and Celest Top (0.5–0.7 L/t) for pest and disease control, systematic treatments with Engio 247 SC (0.18 L/ha) starting from the emergence phase at 8–10 day intervals for insecticide and aphid control to prevent mass colonization by aphid vectors, preventive and curative anti-fungal

та лікувальні обробки препаратом Nativo 75 WG ВГ 0,05 кг/га проти фітофторозу та альтернаріозу; гербіцидний контроль: застосування бакової суміші Квін Стар Макс, КЕ 1 л/га + Тівітус ВГ 0,05 кг/га. Для штучного припинення вегетації та прискореного дозрівання бульб застосовували десикант Реглон Супер, в.р.к. (д.р. дикват дипромід, 150 г/л). Обробку проводили шляхом дрібнокрапельного обприскування вегетативної маси з нормою витрати препарату 2,0 л/га. Термін внесення визначали за досягнення цільової структури врожаю насінневої фракції.

Об'єкт дослідження: базовий насінневий матеріал картоплі сорту Житниця, попередньо оздоровлений методом культури апікальних меристем *in vitro* з наступним розмноженням у розсаднику добазового насінництва.

Для виявлення вірусної інфекції у вегетаційний період та післязбиральний використовували метод твердо фазного імуноферментного аналізу (подвійний сандвіч-варіант DAS-ELISA), комерційних тест-систем фірми LOEWE Німеччина, з реєстрацією на рідері Termo Labsystems Opsis MR (США) за програмного забезпечення Dynex Revelation Quicklink за довжини хвиль 405/630 нм. Порогове значення оптичної густини, яке відрізняє позитивні результати ферментативної реакції від значення фону, визначали для кожного планшета окремо.

У технологічній схемі вивчали ефективність застосування комплексу регуляторів росту та біостимуляторів: Радіфарм та Райкат – спрямовані на інтенсифікацію коренеутворення, стимуляцію вегетативного росту та підвищення адаптивного потенціалу рослин; Фармайод – препарат із фунгіцидними, бактерицидними та антивірусними властивостями, застосований для стабілізації фітосанітарного фону та обмеження поширення патогенів у насадженнях.

Розміщення варіантів методом накладення у триразовій повторності. Загальна площа під дослідом – 0,28 га, облікова – 22,5 м². Схема садіння – 70х35 см, за густоти стояння рослин 55 тис/га.

Дослід закладали за схемою:

1. Контроль – обприскування водою.
2. Райкат – обробка бульб + позакореневе (сходи).
3. Радіфарм – обробка бульб + позакореневе (сходи).
4. Фармайод – обробка ґрунту + позакореневе два рази у фази бутонізації та квітання.
5. Райкат+Фармайод (поєднання обробок).

treatments with Nativo 75 WG (0.05 kg/ha) against late blight and early blight; and herbicide control with tank mix of Queen Star Max (1 L/ha) + Titus WG (0.05 kg/ha). For the artificial cessation of vegetation and accelerated tuber ripening, the desiccant Reglone Super, SL was applied (active ingredient: diquat dibromide, 150 g/L). The treatment was performed via fine-droplet spraying of the foliage at a rate of 2.0 L/ha. The application timing was based on reaching the target structure of the seed fraction yield.

The study object was basic seed material of potato 'Zhytnytsia', previously sanitized via *in vitro* apical meristem culture followed by propagation in a pre-basic seed nursery.

To detect viral infection during the growing season and post-harvest period, the double-antibody sandwich enzyme-linked immunosorbent assay (DAS-ELISA) was used. Commercial test kits from LOEWE (Germany) were employed, with results registered on a Thermo Labsystems Opsis MR reader (USA) using Dynex Revelation Quicklink software at wavelengths of 405/630 nm. The optical density threshold distinguishing positive enzymatic reaction results from the background was determined separately for each plate.

The effectiveness of a complex of growth regulators and biostimulants was evaluated: Radifarm and Raykat (aimed at intensifying root formation, stimulating vegetative growth, and boosting adaptability) and Farmayod (a preparation with fungicidal, bactericidal, and antiviral properties used to stabilize the phytosanitary background and limit pathogen spread in the plantings).

The experimental variants were arranged using the overlay method in three replications. The total area of the experimental plot was 0.28 ha, with the record area of 22.5 m². The planting scheme was 70 × 35 cm, with a plant density of 55,000 plants/ha.

The experiment had the following design:

1. Control – spraying with water.
2. Raykat – tuber treatment + foliar application (emergence phase).
3. Radifarm – tuber treatment + foliar application (emergence phase).
4. Farmayod – soil treatment + foliar application twice during budding and anthesis.
5. Raykat + Farmayod (combined treatments).

6. Радіфарм+Фармайод (поєднання обробок).

Другий блок досліджень проводили відповідно до схеми із застосуванням десикації – Реглон Супер, 2 л/га.

Оцінювання фітосанітарного стану насаджень картоплі базувалося на поєднанні візуальних та лабораторних методів. Встановлено, що візуальна діагностика є дієвою лише за наявності чітко вираженої симптоматики. Однак, зважаючи на здатність вірусів переходити у латентну форму під впливом зовнішніх умов (зокрема, температурних режимів) або внаслідок змішаних інфекцій, цей метод не гарантує повної достовірності. Для отримання об'єктивної картини видового складу вірусів та виявлення прихованого зараження було застосовано метод DAS-ELISA. Це дозволило нівелювати ризики неконтрольованого розмноження хворої картоплі, які виникають за використання виключно візуальної оцінки (Furdyha et al., 2024).

Результати та обговорення

Згідно з результатами досліджень 2024–2025 рр., спрямованих на визначення ступеня ураження насаджень базової насіннєвої картоплі, візуальний моніторинг впродовж вегетації не виявив характерних морфологічних симптомів вірусних хвороб. Для отримання об'єктивних даних було проведено тестування рослин методом DAS-ELISA у динаміці: фази повних сходів (BBCH 10–19), бутонізації (BBCH 50–59), цвітіння (BBCH 60–69). Встановлено, що у досліджуваних зразках збудники вірусів PVM, PVS, PLRV та PVY були відсутні.

Результати післязбирального тестування методом індексації бульб з наступним проведенням імуноферментного аналізу (ІФА) насіннєвої фракції класу супереліта (у післязбиральний період 2024 р. без десикації картоплиння) наведено в табл. 1. У контрольному варіанті рівень латентного ураження вірусом PVM становив 2,5%. Застосування регуляторів росту Райкат та Радіфарм сприяло зниженню цього показника до 1,0–1,3%.

6. Radifarm + Farmayod (combined treatments).

The second block of the study had the same design plus desiccation with 2 L/ha of Reglone Super.

The phytosanitary condition of the potato plantings was assessed visually and by laboratory methods. It was established that visual diagnostics are effective only in the presence of clearly expressed symptoms. However, given the ability of viruses to transition into a latent form under the influence of environmental conditions (particularly temperature) or as a result of mixed infections, this method is not very reliable. To obtain an objective picture of the virus species composition and detect hidden infection, DAS-ELISA was applied. This allowed for the mitigation of risks associated with the uncontrolled propagation of infected potatoes that arise when only visual assessment is used (Furdyha et al., 2024).

Results and Discussion

According to the results of the 2024–2025 research aimed at determining the infection rate of basic seed potato plantings, visual monitoring during the growing season did not reveal characteristic morphological symptoms of viral diseases. To obtain objective data, plants were tested using DAS-ELISA over time: at full emergence (BBCH 10–19), budding (BBCH 50–59), and anthesis (BBCH 60–69). It was found that there was no PVM, PVS, PLRV, or PVY in the studied samples.

The results of post-harvest testing using tuber indexing followed by DAS-ELISA of the super-elite seed fraction (in the 2024 post-harvest period, without haulm desiccation) are summarized in Table 1. In the control, the level of latent PVM infection was 2.5%. Raykat and Radifarm reduced this parameter to 1.0–1.3%. The highest efficiency was recorded for Farmayod applied both alone (–1.5% infection) and in combination with PGRs (–1.5–1.7%). Regarding PVS, with a control value of 1.5%, the studied preparations reduced the infection level by 1.0–1.3%. Notably, PLRV and PVY were not detected in the studied samples.

Таблиця 1 Післязбиральне тестування базового насіннєвого матеріалу на зараженість збудниками вірусних хвороб, %.**Table 1.** Post-harvest testing of basic seed potato material for viral pathogen incidence, %.

Варіант / Treatment	Віруси картоплі / Potato viruses									
	MBK / PVM	± до контролю / ± to the control	SBK / PVS	+ до контролю / + to the control	MBK / PVM	+ до контролю / + to the control	± до варіанту без видалення /± no haulm removal	SBK / PVS	+ до контролю / + to the control	± до варіанту без видалення /± no haulm removal
	без видалення картоплиння / No haulm removal				з видаленням картоплиння / Haulm removal					
Супереліта, 2024 рік / Superelite, 2024										
Контроль / Control	2.5	-	1.5	-	1.5		-1.0	1.2		-0.3
Райкат / Raykat	1.5	-1.0	0.5	-1.0	1.0	-0.5	-0.5	0.3	-0.9	-0.2
Радіфарм / Radifarm	1.2	-1.3	0.5	-1.0	0.8	-0.7	-0.4	0.2	-1.0	-0.3
Фармайод / Farmayod	1.0	-1.5	0.4	-1.1	0	0	0	0	0	0
Райкат+Фармайод / Raykat+ Farmayod	1.0	-1.5	0.2	-1.3	0	0	0	0	0	0
Радіфарм+Фармайод / Radifarm+ Farmayod	0.8	-1.7	0.2	-1.3	0	0	0	0	0	0
НІР _{0,05} /LSD _{0.05}	0.48		0.84		0.91			0.83		
Контроль / Control	3.0		2.0	-	2.5		-0.5	1.0		-1.0
Райкат / Raykat	2.8	-0.2	0.8	-1.2	1.3	-1.2	-1.5	0.1	-0.9	-0.7
Радіфарм / Radifarm	2.2	-0.8	1.1	-0.9	1.0	-1.5	-1.2	0.4	-0.6	-0.7
Фармайод / Farmayod	2.0	-1.0	0.5	-1.5	0.1	-2.4	-1.9	0	0	0
Райкат+Фармайод / Raykat+ Farmayod	2.0	-1.0	0.5	-1.5	0.2	-2.3	-1.8	0	0	0
Радіфарм+Фармайод / Radifarm+ Farmayod	1.5	-1.5	0.4	-1.6	0.1	-2.4	-1.4	0	0	0
НІР _{0,05} /LSD _{0.05}	0.98		1.05		1.63			0.71		

Найвищу ефективність продемонстрував препарат із фунгіцидно-бактерицидними властивостями Фармайод: як у чистому вигляді (-1,5% ураження), так і в поєднанні з регуляторами росту (-1,5–1,7%). Щодо вірусу SBK, при контрольному значенні 1,5%, використання досліджуваних препаратів дозволило зменшити рівень інфікування на 1,0–1,3%. Примітно, що віруси L та Y у досліджуваних зразках виявлені не були. Найвищий рівень оздоровлення зафіксовано у рослин картоплі сорту Житниця за умови видалення картоплиння. За використання регуляторів росту Райкат та Радіфарм зниження зараження рослин PVM та PVS становило 0,5; 0,7% та 0,9; 1,0 % відповідно (у контролі 1,5 (PVM); 1,2 (PVS)).

Проведення десикації на 15-ту добу після цвітіння стало ключовим агротехнічним чинником, що дозволило знизити рівень латентного ураження PVM на 0,4–1,0%, PVS на 0,2–0,3% залежно від схеми обробки. Найвищу ефективність продемонстрували варіанти із застосуванням препарату Фармайод як у чистому вигляді, так і за поєднання із регуляторами росту. У цих варіантах збудників PVM та PVS латентній формі виявлено не було. Слід зазначити, що віруси картоплі L та Y були повністю відсутні у всіх досліджуваних зразках.

Післязбиральне тестування бульб насіннєвої матеріалу класу еліта (без десикації картоплиння) у 2025 році виявило суттєву залежність рівня латентної інфікованості від схеми обробки (табл.1). У контрольному варіанті ураженість вірусом PVM досягала пікового значення – 3,0%. Застосування регуляторів росту Райкат та Радіфарм дозволило знизити цей показник до 2,2–2,8%. Найвищу ефективність продемонстрував препарат Фармайод, який забезпечив мінімальні рівні інфікування: 2,0% (у чистому вигляді та з Райкатом) та 1,5% (у поєднанні з Радіфармом). Використання PPP сприяло зниженню ураженості SBK на 0,9–1,6% (за контрольного показника 2,0%). Найменший рівень інвазії збудником SBK (0,5; 0,4%) зафіксовано у варіанті із застосуванням Фармайод та Райкат+Фармайод.

Застосування препарату Фармайод та у поєднанні з регуляторами росту Райкат та Радіфарм на фоні десикації забезпечило низькі показники інфікованості: рівень ураження вірусом PVM становив 0,1; 0,2 та 0,1%, PVS у варіантах з використанням Райкат та Радіфарм – 0,1 та 0,4% відповідно (у контролі без обробок ці показники сягали 2,5% для MBK та 1,0% для SBK). Встановлено, що за десикації загальний рівень латентного ураження рослин PVM знизився на 0,5–1,9 %, PVS – на 0,7–1,0% залежно від варіанта досліджу. Найбільш ефективним було

The best sanitization level was recorded in ‘Zhytnytsia’ plants in the haulm removal experiments. When Raykat and Radifarm were used, the infection of plants with PVM and PVS was 0.5; 0.7% and 0.9; 1.0% respectively (compared to the control: 1.5% for PVM and 1.2% for PVS).

Desiccation on post-anthesis day 15 became a key agrotechnical factor, allowing for a reduction in the latent infection level of PVM by 0.4–1.0% and PVS by 0.2–0.3%, depending on the treatment. The highest efficiency was recorded with Farmayod applied both alone and in combination with PGRs. In these experiments, no latent PVM and PVS were detected. It should be noted that there were no PLRV and PVY at all in the studied samples.

Post-harvest testing of elite seed tubers (without haulm desiccation) in 2025 revealed a significant dependence of the latent infection level on the treatment (Table 1). In the control, PVM infection reached a peak value of 3.0%. Raykat and Radifarm reduced this parameter to 2.2–2.8%. The highest efficiency was intrinsic to Farmayod, which ensured minimum infection levels: 2.0% (alone and in combination with Raykat) and 1.5% (in combination with Radifarm). PGRs contributed to a 0.9–1.6% reduction in PVS infection (2.0% in the control). The lowest PVS invasion (0.5; 0.4%) was recorded in the experiments with Farmayod and Raykat + Farmayod.

Farmayod, both alone and in combination with Raykat or Radifarm, supplemented with the desiccation procedure, ensured low infection rates: PVM infection levels were 0.1%, 0.2%, and 0.1%, respectively, for PVS; in the experiments with Raykat and Radifarm, they were 0.1% and 0.4%, respectively (in the untreated control, these figures reached 2.5% for PVM and 1.0% for PVS). It was found that desiccation decreased the overall latent infection level by 0.5–1.9% for PVM and 0.7–1.0% for PVS, depending on the experimental variant. Farmayod was most effective; in these experiments, PVS was not detected. The studied preparations ensured high phytosanitary quality of the ‘Zhytnytsia’ basic seed potato material and its compliance with standards.

The Raykat- and Radifarm-attributed reduction in viral infection levels (down to 0.2–1.7% for PVM) aligns with the concept of

застосування Фармайоду, у цих варіантах збудника SBK не виявили. Використання досліджуваних препаратів забезпечило високу фітосанітарну якість базового насіннєвого матеріалу сорту картоплі Житниця та його відповідність стандартам.

Зниження рівня ураження вірусами при застосуванні препаратів Райкат та Радіфарм (до 0,2–1,7%, PVM) узгоджується з концепцією індукованої стійкості. Сучасні дослідження (Zhu, 2022) доводять, що PPP активують сигнальні шляхи імунітету рослин, що уповільнює реплікацію вірусів у клітинах. У нашому дослідженні цей ефект був максимально реалізований завдяки поєднанню стимуляції росту з антисептичним захистом.

Проведене дослідження підтвердило, що видалення картоплиння є критично важливим агротехнічним заходом для зниження вірусного навантаження. Отримані дані дозволяють стверджувати, що рання десикація картоплиння виконує роль механічного бар'єру, що перериває відтік асимілятів разом із віріонами до бульб. Водночас застосування Фармайоду діє за принципом «хімічного фільтру». Завдяки високій біоцидній активності діючої речовини (активного йоду), препарат забезпечує стерилізацію поверхні рослин та мікротравм епідермісу. Це запобігає проникненню вірусів у внутрішні тканини під час живлення комах-переносників, що суттєво знижує ризик горизонтального поширення інфекції.

Наші результати щодо зниження інфікованості PVM на 1,2–2,4% за раннього видалення картоплиння узгоджуються із висновками інших авторів (Bondarchuk, 2018; Smith et al. 2020), які зазначають, що віруси потребують певного часу для переміщення з листової поверхні до бульб. Припинення низхідного току асимілятів на 15-ту добу після цвітіння фактично ізолює новий урожай від поточної вегетаційної інфекції, що підтверджує нашу тезу про механічний бар'єр.

Ефективність використання Фармайоду як «хімічного фільтру» знаходить підтвердження в працях дослідників, які вивчали біоцидні властивості йодовмісних сполук проти фітопатогенів. Так, показано, що активний йод має високу окислювальну здатність, що призводить до інактивації віріонів безпосередньо в місцях механічних пошкоджень тканин (Ivanov, Petrova, 2021). Це пояснює відсутність латентної інфекції у наших варіантах із застосуванням Фармайоду, оскільки препарат нівелює можливість інвазії через контактний шлях або під час живлення попелиць.

induced resistance. A recent study (Zhu, 2022) proved that PGRs activate plant immune signaling pathways, slowing down virus replication in cells. In our study, this effect was maximized through the combination of growth stimulation and antiseptic protection.

The study confirmed that haulm removal is a critical agrotechnical measure for reducing the viral load. The data suggest that early haulm desiccation acts as a mechanical barrier, interrupting the outflow of virion-containing assimilates to tubers. At the same time, Farmayod acts as a "chemical filter." Due to the high biocidal activity of its active ingredient (active iodine), the preparation sterilizes the plant surface and epidermal micro-injuries. This prevents viruses from penetrating internal tissues when insect vectors feed on plants, significantly reducing the risk of horizontal infection spread.

Our findings regarding the 1.2–2.4% reduction in PVM infection in the early haulm removal experiments are consistent with the findings of other authors (Bondarchuk, 2018; Smith et al., 2020), who noted that viruses require a certain time to move from the leaf surface to tubers. Terminating the downward flow of assimilates on post-anthesis day 15 effectively isolates the new yield from the current seasonal infection, confirming our idea of a mechanical barrier.

The effectiveness of Farmayod as a "chemical filter" is supported by researchers who studied the biocidal properties of iodine-containing compounds against phytopathogens. Specifically, it was shown that active iodine possesses high oxidizing capacity, leading to the inactivation of virions directly at the sites of mechanical tissue damage (Ivanov, Petrova, 2021). This explains the absence of latent infection in our experiments with Farmayod, as the preparation eliminates the possibility of invasion via contact or during aphid feeding.

Висновки.

Встановлено, що використання досліджуваних препаратів Райкат, Радіфарм, Фармайод та їх поєднання на фоні десикації дозволяє знизити рівень ураження PVM на 1,2–2,4%, PVS на 0,6–0,9% (у контролі без обробок ці показники сягали 2,5% для PVM та 1,0 % для PVS). За десикації картоплиння соту Житниця загальний рівень латентного ураження рослин PVM знизився на 0,5–1,9%, PVS на 0,7–1,0 % залежно від варіанта досліджу. Це свідчить про підвищення загальної резистентності рослин до вірусного навантаження за умови стимуляції фізіологічних процесів PPP.

Заява про доступність даних: усі дані наведені в тексті статті.

Конфлікт інтересів: Автор заявляє про відсутність конфлікту інтересів.

Фінансування: Дослідження проводили в рамках завдання ПНД «Картоплярство» 21.00.03.09П Встановлення закономірності комплексного впливу регуляторів росту, рідких добрив, позакореневого підживлення та зрошення в умовах Південного Полісся на процес формування насіннєвої фракції оздоровленої картоплі. № держреєстрації 0124U000482.

Conclusions.

The studied preparations — Raykat, Radifarm, and Farmayod — as well as their combinations supplemented with the desiccation procedure were found to reduce the infection rates of PVM by 1.2–2.4% and PVS by 0.6–0.9% (compared to the untreated control, where these parameters reached 2.5% for PVM and 1.0% for PVS). Due to desiccation of 'Zhytnytsia' potato variety haulm, the overall level of latent plant infection decreased by 0.5–1.9% for PVM and by 0.7–1.0% for PVS, depending on the experimental variant. This indicates an increase in the general resistance of plants to viral load when physiological processes are stimulated by PGRs.

Data Availability Statement: All data are included in the article.

Conflict of Interest: The author declare that there is no conflict of interest.

Funding: This study was conducted within the Scientific Research Program "Potato Growing" (Project No. 21.00.03.09P): "Establishing the Patterns of the Complex Influence of Growth Regulators, Liquid Fertilizers, Foliar Feeding, and Irrigation in the Southern Polissia on the Formation of the Seed Fraction of Sanitized Potatoes." State Registration No. 0124U000482.

References

- Abbas, A., Arif, M., & Ali, M. A. (2016). Review paper on Potato leaf roll virus (PLRV) of potato in Pakistan. *Asian Journal of Agriculture and Biology*, 4, 77–86.
- Abel, A., Mukasa, S. B., Barekye, A., & Rubaihayo, P. R. (2020). Interactive effects of Potato virus Y and Potato leafroll virus infection on potato yields in Uganda. *Open Agriculture*, 5(1), 726–739. <https://doi.org/10.1515/opag-2020-0073>
- Araujo, F. F., Santos, M. N., Costa, L. C., Moreira, K. F., Araujo, M. N., Martinez, P. A., & Finger, F. L. (2019). Changes on potato leaf metabolism and anatomy induced by plant growth regulators. *Journal of Agricultural Science*, 11(7), 139–147. <https://doi.org/10.5539/jas.v11n7p139>
- Awasthi, L. P., & Verma, H. N. (2017). Current status of viral diseases of potato and their ecofriendly management: A critical review. *Virology Research Reviews*, 1(4), 1–16. <https://doi.org/10.15761/VRR.1000122>
- Bimrew, C., & Abera, M. (2023). Review on classification and nomenclature of viruses. *International Journal of Applied Agricultural Sciences*, 11(2), 11–23. <https://doi.org/10.11648/j.ajls.20231102.11>
- Bondarchuk, A. A. (2018). Scientific foundations of potato seed production in Ukraine. *Visnyk Ahrarnoi Nauky*, 10, 25–32. [in Ukrainian]
- Bondarchuk, A. A., Koltunov, V. A., Oliinyk, T. M., Furdyha, M. M., Vyshnevskaya, O. V., Osypchuk, A. A., Kupriianova, T. M., & Zakharchuk, N. A. (2019). *Potato growing: Research methodology*. TOV «TVORY». [in Ukrainian]
- Furdyha, M. M., Vyshnevskaya, O. V., Oliinyk, T. M., Zakharchuk, N. A., Samoilichenko, O. V., Dmytrenko, V. P., Shmun, S. A., Riazantsev, M. V., Demchuk, I. V., & Huliak, N. V. (2024). *Methods for determining sowing qualities and post-harvest evaluating direct progeny of seed potatoes*. TOV «TVORY». [in Ukrainian]

- Ivanov, A. A., & Petrova, I. V. (2021). Biocidal activity of iodine-based compounds in the protection of agricultural crops against viral and bacterial pathogens. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 23(4), 112–120.
- Kharchenko, Yu. M., Bondus, R. O., Mishchenko, L. T., Hordiienko, V. V., & Koval, V. S. (2019). A study of potato collection for resistance to viral diseases in the Forest-Steppe of Ukraine. *Kartopliarstvo*, 44, 71–93. [in Ukrainian]
- El-Khair, H. A., Wafaa, M., & Haggag, L. (2007). Application of some natural compounds for management of potato late and early blights. *Research Journal of Agricultural and Biological Sciences*, 3(3), 166–175.
- Khurana, S. M. P. (1999). Virus and virus-like diseases of potato and their control. In *Diseases of horticultural crops: Vegetables, ornamentals and mushrooms*. Indus Publishing Company.
- Mandal, M., & Das, S. K. (2020). Effect of intra row spacing, dates of haulm cutting and fertilizer dose on disease free quality seed tuber production of potato (*Solanum tuberosum* L.) under New Alluvial Zone of West Bengal. *Journal of Applied and Natural Science*, 12(1), 1–8. <https://doi.org/10.31018/jans.v12i1.2204>
- Matskevych, V. V. (2002). Comparative evaluation of methods for the recovery of potato varieties from viral infection. *Kartopliarstvo*, 31, 112–113. [in Ukrainian]
- Melnychuk, M. D. (2005). *Phytovirology*. Polihrafkonsal'tynh. [in Ukrainian]
- Moskovets, C. N., Bobyr, A. D., Hlushak, L. Ye., & Onishchenko, F. N. (1975). *Viral diseases of agricultural crops*. Urozhai. [in Ukrainian]
- Smith, J., Jones, A., & Brown, L. (2020). Optimization of haulm destruction timing for minimizing potato virus Y and M ingress in seed potato production. *Journal of Plant Pathology & Phytopathology*, 48(2), 154–162.
- Tischenko, O. D., & Yuzyuk, O. O. (2017). Productivity of seed potatoes depending on fertilizers and growth regulators on irrigation in the South of Ukraine. *Zroshuvane Zemlerobstvo*, 68, 175–179. [in Ukrainian]
- Vishnevskaya, O., Dmytrenko, V., Zakharchuk, N., & Oliinyk, T. (2021). Productivity and viral diseases of seed potatoes depending on the period of potato desiccation. *EUREKA: Life Sciences*, 5, 26–34. <https://doi.org/10.21303/2504-5695.2021.002067>
- Zhu, W. (2022). Key technology for virus-free seed potatoes pre-elite breeding. *Asian Agricultural Research*, 14(3), 47–50.

Наукове видання

Селекція і насінництво

Міжвідомчий тематичний науковий збірник

Випуск 129

Свідоцтво про державну реєстрацію друкованого засобу масової інформації
КВ 21732-11632ПР від 24.11.2015, ідентифікатор медіа R30-02320

Науковий редактор Колупаєв Ю. Є.
Науковий редактор-перекладач Реліна Л. І.
Комп'ютерна верстка: Понуренко С. Г.

Підписано до друку 25.05.2026. Формат 60×84/8. Наклад 50
Оригінал-макет виготовлено в редакції