

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 кращі 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 with 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 Lehit’ 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 (\times *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 (\times *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 triticale.

For successful breeding of spring triticale for easy threshing, it is necessary to develop forms with strong rachises and medium-dense glumes. In triticale, 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 triticale is associated with D/R chromosomal substitutions in the genome (Bernard et al., 2025).

It is known from literature sources that the first ET triticale cultivars originated from substituted 2D/2R triticale 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 triticale 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 triticale 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 сортовипробування (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 пиловато-суглинному 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, ламкості 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/ЖЗРАС29ГП2/3/ 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 стеблестю, 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/ X8InСЛ23-25СЛ4-3//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/С29ВСГХ8//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 – ТХЗ 168-25, ТХЗ 194-25, ТХЗ 215-25 та ТХЗ 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 hardness score, points | Стійкість до вилягання, бал / Lodging resistance score, | 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 Kharkivskiyi, check cultivar | 5.83 | – | 276 | 113 | 8 | 7 | 8 | 48.2 | 8 | 150 |
| ТХЗ 168-25 / TKhZ 168-25 | 6.88 | 1.05 | 274 | 110 | 9 | 8 | 9 | 42.1 | 9 | 138 |
| ТХЗ 194-25 / TKhZ 194-25 | 6.86 | 1.03 | 276 | 110 | 9 | 8 | 9 | 46.2 | 9 | 178 |
| ТХЗ 215-25 / TKhZ 215-25 | 7.86 | 2.03 | 276 | 112 | 9 | 9 | 9 | 45.3 | 9 | 120 |
| ТХЗ 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 |
| HP 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 ТХЗ 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 ТХЗ 215-25 та ТХЗ 216-25 (9 балів). Лінія ТХЗ 194-25 відрізнялась високою твердістю зерна (178 Н), що відповідає групі напівтвердозерних.

Лінії ТХЗ 215-25 та ТХЗ 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/3/3Х8РМ7//С46ВСП/Х8РМ18 (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 Kharkivskiyi', 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 hardness 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 ТХЗ 168-25 (родовід Л5/Воля р12-7) та ТХЗ 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, см ³ / Loaf volume, cm ³ | загальна хлібопекарська оцінка, бал / Overall bread-bal |
| 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 |
| НІР _{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 |
| ТХЗ 168-25 / TKhZ 168-25 | 17.5 | 70 | 79 | 40 | 42 | 1.0 | 540 | 8.5 |
| ТХЗ 194-25 / TKhZ 194-25 | 19.6 | 75 | 73 | 41 | 46 | 0.9 | 520 | 8.0 |
| ТХЗ 215-25 / TKhZ 215-25 | 16.0 | 70 | 76 | 37 | 44 | 0.8 | 510 | 8.6 |
| ТХЗ 216-25 / TKhZ 216-25 | 19.0 | 75 | 85 | 40 | 53 | 0.8 | 520 | 8.2 |
| НІР _{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 лінії 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 лінії ЯТХ 159-25 та ЯТХ 179-25 (P = 56 та 54 мм, L = 62 та 63 мм відповідно). Співвідношення P/L найменшим було у лінії 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 Kharkivskiyi' (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 Kharkivskiyi' (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 ТХЗ 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 лінії ТХЗ 215-25 та ТХЗ 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 ТХЗ 168-25 – 540 мл. Дещо меншим даний показник був у ліній ТХЗ 194-25, ТХЗ 216-25 та ТХЗ 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 ТХЗ 215-25 (8,6 балів), ТХЗ 168-25 (8,5 балів) та ТХЗ 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 roslyn*. <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., Prysiazhniuk, 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-psheniciz-myako-ozimo> [in Ukrainian]