

## МЕТОДИЧНІ ПІДХОДИ ДО КОМПЛЕКСНОГО ОЦІНЮВАННЯ ГЕНОТИПІВ ЗЕРНОВИХ КУЛЬТУР В УМОВАХ *IN VITRO* ТА *IN VIVO*

Пикало С.В.<sup>1</sup>, Юрченко Т.В.<sup>1</sup>, Пірич А.В.<sup>1</sup>, Куманська Ю.О.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Миронівський інститут пшениці імені В.М. Ремесла  
Національної академії аграрних наук України  
08853, с. Центральне, Київська обл.

<sup>2</sup>Білоцерківський національний аграрний університет  
пл. Соборна, 8/1, 09117, м. Біла Церква  
[pykserg@ukr.net](mailto:pykserg@ukr.net)

В умовах посилення кліматичних змін, зростання частоти посух і температурних коливань особливої ваги набуває формування сортів зернових культур, здатних стабільно реалізовувати свій генетичний потенціал за різних рівнів зволоження та температурного режиму. Особливого значення набуває пошук і створення сортів, здатних поєднувати високу продуктивність із стійкістю до абіотичних стресів. У представленій роботі розроблено методичні підходи до оцінки та добору селекційного матеріалу зернових колосових культур (пшениця, ячмінь, тритикале) за морозо-, посухостійкістю. Наведено застосування комбінованого підходу, який передбачає поетапне проведення лабораторних і біотехнологічних методів для комплексної об'єктивної оцінки та добору стійких до абіотичних стресів генотипів зернових культур. Висвітлені методичні аспекти різних способів оцінки та добору рослин зернових культур за стійкістю до абіотичних стресів в умовах нестійкого клімату дадуть змогу об'єктивно характеризувати рівень адаптації перспективних зразків і прогнозувати їхню реакцію у відповідних екологічних умовах. Комплексне оцінювання генотипів зернових культур на різних етапах розвитку рослин дозволяє достовірно оцінити вихідний матеріал за морозо-, посухостійкістю, прискорити селекційний процес та ефективно відібрати генетичні джерела з цінними господарськими ознаками. Вдосконалені біотехнологічні способи доповнять методологію задля розширення генетико-селекційного потенціалу зернових та створення нових сортів із цінними селекційними властивостями. Представлені методичні рекомендації сприятимуть розв'язанню проблеми стійкості зернових колосових культур до несприятливих кліматичних чинників та впровадженню нових підходів для вирішення прикладних завдань сучасної селекції. Розроблені підходи щодо оцінки адаптивного потенціалу рослин, зокрема метод *in vitro* для визначення стійкості до водного дефіциту, відкривають нові можливості для прискорення добору селекційного матеріалу з підвищеною толерантністю до абіотичних чинників. *Ключові слова:* зернові культури, абіотичні стресори, стійкість, оцінка, добір, культура *in vitro*.

**Methodological approaches to the comprehensive evaluation of cereal crop genotypes under *in vitro* and *in vivo* conditions.**  
Pykalo S., Yurchenko T., Piryich A., Kumanska Yu.

Under conditions of intensifying climate change, increasing frequency of droughts, and growing temperature fluctuations, the development of cereal crop cultivars capable of consistently realizing their genetic potential under varying moisture levels and temperature regimes becomes particularly important. Special attention is therefore given to the search for and development of cultivars that combine high productivity with resistance to abiotic stresses. The present study proposes methodological approaches for the evaluation and selection of breeding material of cereal crops (wheat, barley, and triticale) with respect to frost and drought tolerance. A combined approach is presented, which involves the stepwise application of laboratory and biotechnological methods to ensure a comprehensive and objective assessment and selection of cereal genotypes resistant to abiotic stresses. The described methodological aspects of various evaluation and selection techniques for cereal crops under unstable climatic conditions enable an objective characterization of the adaptive capacity of promising genotypes and allow prediction of their responses under specific environmental conditions. Comprehensive assessment of cereal genotypes at different stages of plant development makes it possible to reliably evaluate the initial breeding material for frost and drought tolerance, accelerate the breeding process, and efficiently identify genetic sources possessing valuable agronomic traits. Improved biotechnological approaches complement the proposed methodology by expanding the genetic and breeding potential of cereal crops and facilitating the development of new cultivars with desirable breeding characteristics. The presented methodological recommendations contribute to addressing the problem of resistance of cereal crops to adverse climatic factors and to the implementation of novel approaches for solving applied tasks in modern breeding. The developed approaches for assessing plant adaptive potential, particularly the *in vitro* method for determining tolerance to water deficit, open new opportunities for accelerating the selection of breeding material with enhanced tolerance to abiotic stresses. *Key words:* cereal crops, abiotic stressors, resistance, evaluation, selection, *in vitro* culture.



**Постановка проблеми.** Кліматичні зміни дедалі частіше виступають визначальним обмежувальним чинником реалізації генетичного потенціалу високопродуктивних сортів зернових [1]. Повторювані екстремальні кліматичні явища призводять до значних втрат урожаю та в окремих випадках зумовлюють зниження придатності цілих аграрних регіонів до сільськогосподарського використання [2]. Загальне погіршення стану довкілля, зростання антропогенного навантаження та посилення процесів аридизації клімату актуалізували проблему адаптації, яка набула провідного значення в сучасній біології та фізіології рослин [3; 4]. Умови глобального потепління та зростання частоти посух обумовлюють необхідність консолідації зусиль біотехнологів, генетиків і селекціонерів, спрямованих на створення адаптивних генотипів зернових.

**Актуальність дослідження.** Генетична різноманітність сортів сільськогосподарських культур, що відрізняються за напрямками використання, показниками якості продукції, рівнем адаптивності та іншими господарсько цінними ознаками, є одним із ключових чинників забезпечення продовольчої безпеки та сталого розвитку аграрного виробництва [5]. Розвиток сучасної генетики й біотехнології сприяв появі нових і вдосконаленню традиційних селекційних підходів, орієнтованих на створення сортів із комплексом цінних господарських ознак [6]. У межах класичної технології селекційного процесу пшениці на сучасному етапі особливої ваги набувають зосередження, пошук і формування генетично різноманітного вихідного матеріалу. З урахуванням економічних та екологічних обмежень, пов'язаних зі скороченням посівних площ і зростанням витрат на інтенсифікацію землеробства, створення високопродуктивних сортів розглядається як найбільш ефективний і економічно доцільний шлях підвищення врожайності [7]. Генетичне вдосконалення зернових культур має визначальне значення з огляду на їхній прямиий вплив на економічний розвиток, міжнародну торгівлю зерном і рівень продовольчої безпеки держави, у зв'язку з чим актуальність досліджень, спрямованих на розв'язання генетико-селекційних завдань щодо цих культур, постійно зростає та набуває нового якісного рівня [8]. Нині генетико-селекційні дослідження злакових культур зосереджені на поглибленні уявлень про механізми стійкості рослин до стресових чинників довкілля та на селекції високопродуктивних сортів, адаптованих до конкретних умов вирощування.

**Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями.** Представлені матеріали є частиною науково-дослідної роботи: «Особливості формування ознак і властивостей зернових культур, які визначають стійкість до абіотичних стресових чинників, в умовах Лісостепу України з використанням біотехнологічних та фізіолого-генетичних методів» (номер державної реєстрації № 0121U100435).

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Створення високопродуктивних сортів зернових з підвищеною стійкістю до абіотичних чинників довкілля, які визначають умови росту й розвитку рослин та їхній фізіологічний стан, є одним із пріоритетних завдань сучасної селекції [9]. Такі сорти забезпечують стабільне формування врожаю незалежно від мінливості погодних умов і зниження рівня агрокліматичної передбачуваності [10]. З огляду на те, що кліматичні зміни супроводжуються зростанням амплітуди коливань температурного режиму та нерівномірністю вологозабезпечення, питання адаптивності сортів набуває визначального значення для підтримання стабільності зернового виробництва [11]. У зв'язку з цим зростає потреба в науковому супроводі селекційних програм, спрямованих на створення генотипів, здатних максимально реалізувати свій продуктивний потенціал у різних ґрунтово-кліматичних умовах.

Стійкість до абіотичних стресових чинників є ключовим напрямом селекційного вдосконалення зернових, оскільки вона не лише знижує ризики втрати врожаю, а й створює передумови для розширення посівних площ злакових культур в регіонах із несприятливими кліматичними умовами [12]. Найважливішими складниками адаптивності є стійкість до несприятливих умов перезимівлі, зокрема дії екстремально низьких температур, а також посухостійкість, яка залишається одним із найпоширеніших і найнебезпечніших стресових чинників упродовж вегетаційного періоду [13]. Вплив цих факторів зумовлює порушення водного балансу, фотосинтетичної активності та інших фізіологічних процесів, що безпосередньо відображається на рівні продуктивності рослин.

Важливу роль у розв'язанні зазначених завдань відіграють біотехнологічні методи, які в поєднанні з традиційною селекційною практикою істотно розширюють можливості генетичного поліпшення зернових та підвищення їх продуктивності [6; 14]. За останні десятиліття біотехнологічні підходи стали невід'ємною складовою сучасних аграрних досліджень і широко застосовуються в селекційних програмах у різних країнах світу [15]. Їх використання дає змогу значно скоротити тривалість селекційного циклу, оптимізувати добір і оцінку вихідного матеріалу, а також підвищити ефективність ідентифікації генотипів зі стійкістю до абіотичних стресів [16]. Крім того, біотехнології сприяють розширенню генетичної мінливості та доповнюють класичні методи селекції, що є необхідною передумовою створення нових сортів із заданими адаптивними та господарсько цінними ознаками [17].

**Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття.** Багатогранність проблеми стійкості рослин до стресових чинників потребує застосування для свого вирішення комплексних підходів. Включення

фізіологічних і біохімічних ознак у потенційно високопродуктивний генотип може поліпшити його адаптивність та дає можливість глибше вивчити його реакцію на мінливість середовища. Комплексне оцінювання зразків на різних етапах розвитку рослин дасть змогу більш об'єктивно та достовірно оцінити генотипи за стійкістю до стресу різної природи. Поряд з морфолого-анатомічними і фізіолого-біохімічними методами оцінки стрес-стійкості рослин широкого поширення набули біотехнологічні підходи. Вивчення адаптивної здатності зернових культур у поєднанні з їхньою продуктивністю на основі комплексного підходу сприятиме вдосконаленню та розробці ефективних методів створення нового перспективного селекційного матеріалу і його поглибленому науковому аналізу.

**Мета** роботи – розробити систему комплексного оцінювання стійкості до абіотичних стресів генотипів зернових культур в умовах *in vitro* та *in vivo*.

**Новизна.** Наукова новизна роботи полягає у поєднанні польових та лабораторних методів (*in vivo* та *in vitro*) для оцінки адаптивного потенціалу сортів зернових, що забезпечило об'єктивне порівняння їх реакції на посуху, низькі температури. Проведення скринінгу на штучних осмотичних середовищах з манітом та сахарозою дає змогу виокремити генотипи з підвищеною толерантністю до водного дефіциту на різних рівнях організації рослин.

**Методологічне або загальнонаукове значення.** Створено науково обґрунтовану базу для формування нових генотипів зернових з комплексною стійкістю до абіотичних стресових чинників. Розроблено методичні рекомендації щодо оцінювання та добору сортів за адаптивними ознаками [18], які можуть бути використані не лише селекціонерами, а й агро-виробниками, що розширює масштаби їх практичного застосування.

**Виклад основного матеріалу.** У відділі біотехнології, генетики і фізіології розроблено поетапну схему комплексної оцінки, добору та стабілізації селекційного матеріалу зернових колосових культур за адаптивними ознаками з використанням умов *in vivo* та *in vitro*. Вона включає п'ять послідовних етапів, кожен з яких спрямований на поетапне вивчення вихідного матеріалу та ідентифікацію генотипів із підвищеною стійкістю до абіотичних стресових чинників (рис. 1).

На першому етапі здійснювали первинну оцінку селекційного матеріалу за основними адаптивними ознаками – морозо- та посухостійкістю. Оцінювання морозостійкості проводили шляхом контрольованого заморожування рослин у висівних ящиках, а також проростків у марлевих мішечках, що дозволяло моделювати вплив низьких температур на різних етапах онтогенезу [19]. Посухостійкість визначали за двома підходами: шляхом пророщування насіння на розчинах осмотика, який дає змогу імітувати умови зневоднення на ранніх фазах розвитку, а також мето-

дом оцінки виходу електролітів із листків рослин, що відображає ступінь пошкодження клітинних мембран за водного дефіциту [20]. За результатами первинної оцінки проводили відбір зразків із підвищеною стійкістю за досліджуваними ознаками для подальших етапів селекційного процесу.

Другий етап спрямований на вторинну оцінку та поглиблений добір селекційного матеріалу за показниками морозо- та зимостійкості. На цьому етапі використовували розроблений метод заморожування проростків у марлевих мішечках із подальшим висаджуванням відібраних рослин у польові умови під осінній посів [21]. Такий підхід забезпечував поєднання лабораторної діагностики стійкості до низьких температур із перевіркою життєздатності та продуктивності рослин у реальних умовах вирощування.

На третьому етапі здійснювали стабілізацію селекційного матеріалу після добору за морозо- та зимостійкістю, що передбачало процес адаптації рослин до природних умов середовища. Цей етап мав важливе значення для закріплення прояву відібраних ознак та зменшення впливу короточасних адаптивних реакцій, забезпечуючи формування стабільного за фенотиповими проявами матеріалу.

Четвертий етап включав оцінку та добір генотипів в умовах *in vitro* з використанням біотехнологічних методів. На цьому етапі проводили індукцію калюсів із незрілих зародків та їх подальше розмноження. Добір *in vitro* селекційного матеріалу зернових проводився згідно попередньо розробленого способу, який захищено патентом на корисну модель [22]. Для моделювання водного дефіциту калюсні культури культивували за присутності 0,6 М маніту, який використовували як осмотичний агент. За результатами культивування здійснювали добір калюсів, здатних зберігати активний ріст і життєздатність в умовах осмотичного стресу. Надалі проводили регенерацію пагонів та отримання рослин-регенерантів, які переводили в умови *in vivo* з метою одержання насінневого покоління R<sub>1</sub>. Модифіковано та вдосконалено окремі біотехнологічні прийоми – метод стерилізації вихідного матеріалу [23] та склад живильного середовища для оптимізації укорінення регенерантів, що підвищує ефективність добору стресостійких форм.

На п'ятому етапі здійснювали остаточну стабілізацію та адаптацію селекційного матеріалу після проходження біотехнологічного добору. На цьому етапі оцінювали життєздатність, рівень адаптації та здатність відібраних генотипів до формування повноцінного насінневого потомства, що дозволяло завершити цикл комплексного добору матеріалу з підвищеною стійкістю до абіотичних стресових чинників [24].

Таким чином, представлена схема відображає інтегрований підхід до оцінювання стресостійкості зернових культур, що поєднує класичні польові методи з лабораторними та біотехно-

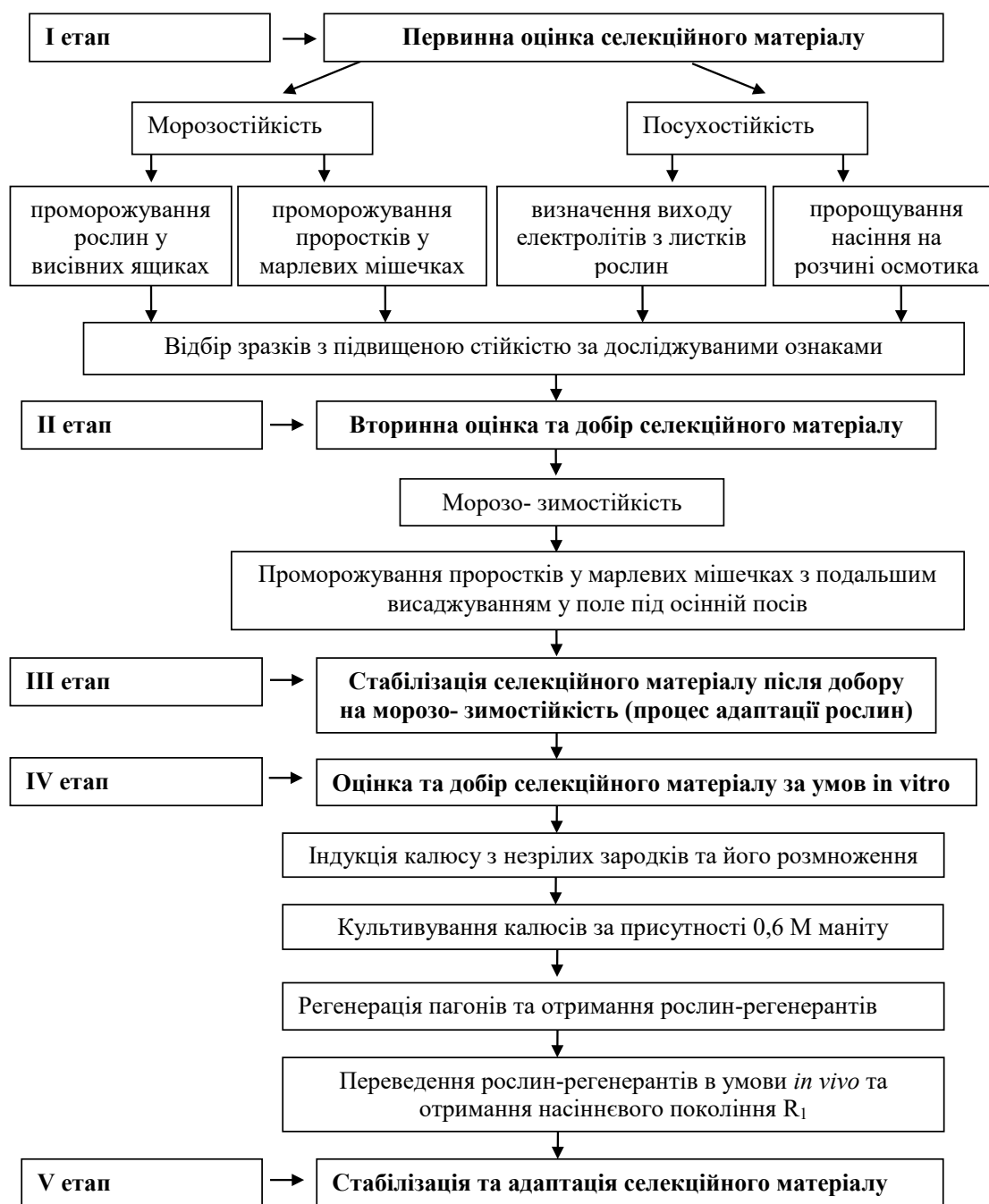


Рис. 1. Схема комплексної оцінки та добору селекційного матеріалу озимих зернових культур за показниками адаптації

гічними підходами *in vitro*, забезпечуючи підвищення ефективності добору генотипів із високим рівнем адаптивності та стабільності продуктивності. Експериментально підтверджено доцільність і ефективність застосованих методів дослідження на різних етапах розвитку рослин пшениці м'якої озимої, що забезпечує комплексну оцінку адаптивного потенціалу сортів. Виявлено сильну кореляцію між посухостійкістю на стресовому середовищі з манітом і масою 1000 зерен ( $r = 0,71$ ), а також між адаптивністю за врожайністю та посухостійкістю

на манітовому середовищі ( $r = 0,66$ ). Встановлено помірний позитивний зв'язок між морозостійкістю рослин після проморожування в ящиках і посухостійкістю на середовищі з манітом ( $r = 0,61$ ), між адаптивністю за врожайністю та посухостійкістю за пророщування насіння на сахарозі ( $r = 0,54$ ), а також між масою 1000 зерен і посухостійкістю за пророщування на субстраті з сахарозою ( $r = 0,50$ ). Шляхом комплексного вивчення сортів пшениці м'якої озимої в умовах *in vitro* та *in vivo* за цінними господарськими ознаками, виокремлено джерела з проявом

адаптивних властивостей у поєднанні з підвищеною продуктивністю та стійкістю до абіотичних стресових чинників довкілля.

**Головні висновки.** Запропоновані методичні підходи дозволяють істотно скоротити терміни добору вихідного матеріалу, підвищити ефективність оцінювання та створення нових сортів зернових культур з високим рівнем стійкості до посухи та низьких температур. Розроблені методи дають можливість об'єктивно характеризувати рівень стійкості перспективних генотипів зернових культур та прогнозувати їхню поведінку у відповідних екологічних умовах. Показано, що за результатами комплексного оцінювання між основними адаптивними та господарсько-цінними ознаками пшениці м'якої озимої існують тісні позитивні кореляційні взаємозв'язки. Створено та впроваджено методичні рекомендації, які поєднують лабораторні та біотехнологічні методи, а також ряд патентів на корисну модель. Представлені напрацювання мають вагомий практичний значення для сучасної селекції зернових в умовах кліматичних змін, що супроводжуються

частими посухами, температурними коливаннями та погіршенням водно-сольового режиму ґрунтів. Практична цінність проведених досліджень полягає у створенні цілісної науково-технологічної основи для скорочення строків селекційного добору стійких сортів, забезпечення стабільного виробництва якісного продовольчого зерна, підвищення конкурентоспроможності української пшениці на світовому ринку та зміцнення продовольчої безпеки держави.

**Перспективи використання результатів дослідження.** Матеріали дослідження можуть бути використані для подальшого добору вихідних форм у селекційних програмах, спрямованих на підвищення посухо-, морозостійкості пшениці м'якої озимої та розробці методів оцінки на різних етапах розвитку рослин. Розроблена методика оцінювання створює передумови для переорієнтації селекційних програм на розробку високопродуктивних, адаптивних і конкурентоспроможних сортів зернових культур, здатних забезпечити стабільний розвиток зернового сектору України в умовах глобальних кліматичних змін.

#### Література

1. Гамаюнова В.В., Корхова М.М., Панфілова А.В. та ін. Пшениця озима: ресурсний потенціал та технологія вирощування. Миколаїв: МНАУ, 2021. 300 с.
2. Рибалка О.І. Геноміка, транскриптоміка, протеоміка і біоінформатика на службі сучасної селекції пшениці. *Збірник наукових праць Селекційно-генетичного інституту – Національного центру насіннєзнавства та сортовивчення*. 2013. Вип. 21 (61). С. 18–38.
3. Johansson E., Muneer F., Prade T. Plant breeding to mitigate climate change – present status and opportunities with an assessment of winter wheat cultivation in Northern Europe as an example. *Sustainability*. 2023. Vol. 15. Iss. 16. 12349. <https://doi.org/10.3390/su151612349>
4. Zahra N., Hafeez M. B., Wahid A. et al. Impact of climate change on wheat grain composition and quality. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2023. Vol. 103. Iss. 6. P. 2745–2751. <https://doi.org/10.1002/jsfa.12289>
5. Tadesse W., Sanchez-Garcia M., Assefa S. G. et al. Genetic gains in wheat breeding and its role in feeding the world. *Crop Breeding, Genetics and Genomics*. 2019. Vol. 1. e190005. <https://doi.org/10.20900/cbagg20190005>
6. Моргун В.В., Дубровна О.В., Моргун Б.В. Сучасні біотехнології отримання стійких до стресів рослин пшениці. *Фізіологія рослин і генетика*. 2016. Т. 48. № 3. С. 196–214.
7. Robles-Zazueta C.A., Crespo-Herrera L.A., Piñera-Chavez F.J. et al. Climate change impacts on crop breeding: Targeting interacting biotic and abiotic stresses for wheat improvement. *The Plant Genome*. 2024. Vol. 17. Iss. 1. e20365. <https://doi.org/10.1002/tpg2.20365>
8. Raveena, Bharti R., Chaudhary N. Drought resistance in wheat (*Triticum aestivum* L.): a review. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*. 2019. Vol. 8. No 9. P. 1780–1792. <https://doi.org/10.20546/ijemas.2019.809.206>
9. Cui J., Ding J., Deng S. et al. Wheat breeding strategies under climate change based on CERES-Wheat model. *Computers, Materials & Continua*. 2022. Vol. 72. Iss. 3. P. 6107–6118. <https://doi.org/10.32604/cmc.2022.027611>
10. Васильківський С.П., Гудзенко В.М., Кочмарський В.С., Кириленко В.В. Реалізація потенціалу сортів зернових культур – шлях вирішення продовольчої проблеми. *Фактори експериментальної еволюції організмів*. 2017. Т. 21. С. 47–51. <https://doi.org/10.7124/FEEO.v21.805>
11. Дубовик Н.С., Кириленко В.В., Дергачов О.Л. Вихідний матеріал для селекції пшениці м'якої озимої за пластичністю та стабільністю. *Вісник ЦНЗ АПВ Харківської області*. 2015. Вип. 18. С. 132–138.
12. Близнюк Б.В., Демидов О.А., Кириленко В.В. та ін. Вплив агроекологічних чинників і сортових особливостей на врожайність та якість зерна пшениці м'якої озимої. *Агроекологічний журнал*. 2019. № 1. С. 62–73.
13. Балабух В.О. Однолеток Л.П., Кривошеїн О. Вплив зміни клімату на продуктивність озимої пшениці в Україні у періоди вегетаційного циклу. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2017. № 3 (46). С. 72–85.
14. Дубровна О.В., Моргун Б.В., Бавол А.В. Біотехнології пшениці: клітинна селекція та генетична інженерія. Київ: Логос, 2014. 375 с.
15. Дубровна О.В., Чугункова Т.В., Бавол А.В., Лялько І.І. Біотехнологічні та цитогенетичні основи створення рослин, стійких до стресів. Київ: Логос, 2012. 428 с.
16. Dodig D., Zorić M., Mitić N. et al. Tissue culture and agronomic traits relationship in wheat. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*. 2008. Vol. 95. N 1. P. 107–114.
17. Dubrovna O.V., Baval A.V. Variability of the wheat genome during *in vitro* culture. *Cytology & Genetics*. 2011. Vol. 45. No 5. P. 333–340.

18. Оцінка та добір генотипів зернових на стійкість до абіотичних стресів. Методичні рекомендації / Демидов О.А., Кириленко В.В., Юрченко Т.В. та ін. Миронівка, 2024. 30 с.
19. Пикало С.В., Демидов О.А., Юрченко Т.В. та ін. Методи оцінки морозостійкості селекційного матеріалу пшениці. *Екологічні науки*. 2021. № 2(35). С. 82–89. <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2021.есо.2-35.14>
20. Пикало С., Демидов О., Юрченко Т. та ін. Методи оцінки посухостійкості селекційного матеріалу пшениці. *Вісник Львівського університету. Серія біологічна*. 2020. Вип. 82. С. 63–79. <https://doi.org/10.30970/vlubs.2020.82.05>
21. Спосіб оцінювання та добору морозостійкого селекційного матеріалу озимих зернових культур: пат. 153824 Україна: МПК А01Н 1/04. № 202202833; заявл. 08.08.2022; опубл. 06.09.2023, Бюл. № 36. 5 с.
22. Спосіб відбору *in vitro* посухостійких генотипів тритикале озимого: пат. 132656 Україна: МПК А01Н 4/00. № 201807903; заявл. 16.07.2018; опубл. 11.03.2019, Бюл. № 5. 4 с.
23. Спосіб стерилізації незрілого насіння пшениці та тритикале для введення в культуру *in vitro*: пат. 152327 Україна: МПК А01Н 1/00. № 202202662, заявл. 25.07.2022; опубл. 11.01.2023 р., Бюл. № 2. 5 с.
24. Спосіб оцінки стійкості генотипів тритикале озимого до комплексу абіотичних стресових чинників: пат. 145334 Україна: МПК А01Н 1/04. № 201911575; заявл. 02.12.2019. опубл. 10.12.2020 р. Бюл. № 23. 5 с.

Дата першого надходження статті до видання: 29.01.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 25.02.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 13.04.2026