

СПОСІБ ОЦІНЮВАННЯ СТІЙКОСТІ ГЕНОТИПІВ ПШЕНИЦІ ДО ДІЇ ПОСУХИ НА ПОЧАТКОВИХ ЕТАПАХ ОРГАНОГЕНЕЗУ

Юрченко Т.В., Демидов О.А., Пикало С.В., Волощук Г.Д., Харченко М.В.
Миронівський інститут пшениці імені В.М. Ремесла
Національної академії аграрних наук України
с. Центральне, 08853, Київська обл.
pykserg@ukr.net

Пшениця – одна з основних продовольчих культур в Україні і світі. Створення нових сортів пшениці з комплексним поєднанням ознак на сьогодні є актуальним і в перспективі має стабілізувати ринок екологічно безпечного продовольчого зерна в Україні. Пріоритетним напрямом генетики, селекції та біотехнології є оцінювання та добір генотипів, стійких до несприятливих екологічних чинників довкілля. Посухостійкість – одна з основних складових адаптивності сортів зернових культур, зокрема пшениці. Для визначення стійкості до водного стресу існує ціла низка методів різного принципу дії. Переважна їх більшість на сьогодні неоптимальні, внаслідок чого актуальним залишається завдання створення нових і вдосконалення вже існуючих способів оцінювання посухостійкості генотипів пшениці. У представленій роботі наведено порівняльну характеристику різних методів, кожен з яких має свої переваги та недоліки. Розроблено спосіб оцінювання стійкості генотипів пшениці до дії посухи на початкових етапах органогенезу, який базується на дії штучно змодельованого стресового чинника, спрямованого проти виживання стрес-чутливих форм. Запропонований спосіб охороняється патентом на корисну модель. Новим є те, що оцінювання посухостійкості окремих генотипів проводять за зміною довжини і маси пагонів та головних коренів рослин за наступною схемою: 1) пророщування насіння у дистильованій воді – 10 діб; 2) культивування проростків на штучному субстраті з сахарозою концентрацією 16 атм – 7 діб; 3) визначення довжини та маси кореневої системи і надземної частини рослин. Суть методу полягає в тому, що оцінювання проводять у лабораторних умовах і дає змогу значно прискорити та спростити відбір посухостійких генотипів. Переваги запропонованого методу над традиційними полягають у економії місця, можливості аналізувати велику кількість селекційного матеріалу, контролювати умови зовнішнього середовища та проводити оцінку впродовж року. Використання даного методу в селекції озимих зернових культур сприятиме створенню нових сортів, які мають цінні практичні властивості. Запропонований метод надасть можливість повніше реалізувати закладений селекціонерами потенціал продуктивності досліджуваних сортів, що сприятиме їх ефективнішому використанню як у рослинництві, так і в селекційній практиці. *Ключові слова:* пшениця, спосіб, стійкість, посуха, оцінювання, проростки.

Method for evaluating drought tolerance of wheat genotypes at the early stages of organogenesis. Yurchenko T., Demydov O., Pykalo S., Voloshchuk H., Kharchenko M.

Wheat is one of the main food crops in Ukraine and worldwide. The development of new wheat varieties with a complex combination of traits is currently a relevant task and is expected to stabilize the market for environmentally safe food grain in Ukraine. The priority areas in genetics, breeding, and biotechnology is the evaluation and selection of genotypes tolerant to adverse environmental factors. Drought tolerance is a key component of the adaptability of cereal crop varieties, particularly wheat. There are numerous methods of varying principles for determining tolerance to water stress. However, most of them are currently suboptimal, making the development of new and the improvement of existing methods for evaluating drought tolerance of wheat genotypes a pressing issue. This study presents a comparative characterization of different methods, each with its own advantages and disadvantages. A method for evaluating wheat genotypes tolerance to drought at the early stages of organogenesis has been developed which is based on the effect of an artificially simulated stress factor aimed at eliminating stress-sensitive forms. The proposed method is protected by a utility model patent. The novelty of the method lies in the fact that drought tolerance assessment of individual genotypes is conducted by measuring changes in the length and mass of shoots and main roots according to the following scheme: 1. Germination of seeds in distilled water for 10 days. 2. Cultivation of seedlings on an artificial substrate with sucrose at concentration of 16 atm for 7 days. 3. Measurement of the length and mass of the root system and the aerial part of the plants. The essence of the method is that it is conducted under laboratory conditions, significantly accelerating and simplifying the selection of drought-tolerant genotypes. The advantages of the proposed method over traditional ones include space efficiency, the ability to analyze a large amount of breeding material, environmental condition control, and year-round assessment. The application of this method in the breeding of winter cereal crops will contribute to the development of new varieties with valuable practical properties. The proposed method will allow for a fuller realization of the productivity potential embedded by breeders in the studied varieties, facilitating their more effective use in both crop production and breeding practices. *Key words:* wheat, method, tolerance, drought, evaluation, seedlings.

Постановка проблеми. Пшениця м'яка озима (*Triticum aestivum* L.) є однією з основних продовольчих культур в Україні і світі. Ця культура, будучи одним із найцінніших злаків планети, відіграє провідну роль у харчовому забезпеченні людства [1; 2]. Ареал пшениці дуже великий, оскільки культивують її на п'яти континентах у більшості країн світу

[3]. Генетичне вдосконалення пшениці має вирішальне значення, адже безпосередньо впливає на економічний розвиток, міжнародну торгівлю зерном і продовольчу безпеку країни [4]. У зв'язку з цим актуальність досліджень у вирішенні багатьох генетико-селекційних задач стосовно пшениці зростає і набуває якісно нового характеру.

Кліматичні зміни все частіше стають основним стримуючим фактором у реалізації генетичного потенціалу високоврожайних сортів пшениці [2]. Періодичні нищівні кліматичні катаклізми зводять нанівець урожаї та роблять непридатними для вирощування цілі аграрні регіони [5]. Загальне забруднення навколишнього середовища, різке загострення екологічної ситуації у світі в результаті антропогенного впливу, глобальне потепління й аридизація клімату зробили проблему стійкості однією з головних у біології та фізіології рослин [6].

Актуальність дослідження. Очікується безперервне зростання попиту на пшеницю, який буде в основному задоволений за рахунок збільшення її врожайності. Величина урожайності є найважливішим показником при вирощуванні сільськогосподарських культур. Посуха – один із найголовніших обмежуючих чинників довкілля, що знижують продуктивність рослин [6; 7]. Щоб мінімізувати втрати зернової продукції у посушливі роки, необхідно мати стійкі до дефіциту вологи сорти. Створення посухостійких сортів пшениці з комплексним поєднанням цінних господарських ознак на сьогодні є актуальним і в перспективі має стабілізувати ринок екологічно безпечного продовольчого зерна в Україні.

Селекція пшениці на посухостійкість є визначальною передумовою для підвищення її пластичності та продуктивності і дає змогу розширити посіви цієї культури у районах із несприятливими кліматичними умовами [8]. Хоча це завдання на сьогодні сформувалось як самостійний напрям селекції, що володіє широким арсеналом методів і прийомів, лишається багато неясного як у загальнотеоретичних положеннях, так і в окремих питаннях, пов'язаних з біологічними особливостями рослин. Селекція на посухостійкість спирається на результати досліджень щодо закономірностей і механізмів формування адаптивних реакцій, визначення морфо-анатомічних та фізіолого-біохімічних показників, що забезпечують стійкість рослин до стресу [9]. Дослідження, спрямовані на розв'язання даної проблеми, є актуальними і значущими, оскільки вони орієнтовані на розвиток розуміння реакцій рослин на посуху та широке впровадження нових методів для вирішення прикладних завдань селекції пшениці.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Представлені матеріали є частиною таких науково-дослідних робіт: «Скринінг сортів пшениці м'якої озимої на стійкість до абіотичних стресових чинників на початкових етапах органогенезу» (номер державної реєстрації № 0124U005081); «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. Успіх селекції у створенні посухостійких форм багато в чому залежить від правильної оцінки ступеня їхньої стійкості. Тому методологічне забезпечення всебічного дослідження біологічної та агрономічної посухостійкості рослин цієї культури є пріоритетним завданням багатьох селекційних установ України. Для скринінгу сортів пшениці на посухостійкість є багато методів, заснованих на різних принципах дії, і кожен із них має свої переваги і недоліки [10]. Для прискорення селекційного процесу й отримання достовірних результатів необхідно застосовувати різні методики дослідження зразків за конкретними ознаками стійкості до стресу. Достовірність оцінки тим чи іншим методом залежить від того, наскільки сильно корелює з істинною стійкістю рослин фізіологічна ознака, що лежить в основі даного діагностичного способу [11]. Вибір способу значною мірою залежить від ступеня його трудомісткості, тривалості оцінки і пропускну здатності. Тому створення нових і вдосконалення вже наявних методів оцінки селекційного матеріалу пшениці на посухостійкість в умовах наростання водного дефіциту або підвищення температури дасть можливість об'єктивно характеризувати рівень адаптивності перспективних генотипів і прогнозувати їхню поведінку у відповідних екологічних умовах. Класичні методи, що застосовуються для оцінки посухостійкості рослин, умовно розподіляють на дві групи: прямі та непрямі.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Розробка та вдосконалення методів оцінювання посухостійкості є важливою складовою селекційного процесу зернових культур [10]. Варто підкреслити, що методів оцінювання та добору рослин за посухостійкістю існує багато і залежно від цілей дослідження цієї ознаки і зони вирощування вони можуть бути різними.

Оскільки безпосередня оцінка рівня агрономічної стійкості рослин до посухи є тривалим та трудомістким завданням, у селекційній та інтродукційній практиці широко використовуються непрямі лабораторні методи оцінки біологічної стійкості за фізіологічними, анатомічними, морфологічними та біохімічними показниками [11]. Ці підходи полягають у використанні не самої стійкості до нестачі вологи, а будь-якої іншої біологічної властивості, що пов'язана з даною ознакою.

На сьогодні існує ціла низка непрямих методів оцінки посухостійкості рослин пшениці. Найбільш використовуваними з них є реєстрація товщини листя і визначення у них відносного вмісту води [12], визначення інтенсивності транспірації проростків і виносу з транспіраційною вологою мінеральних іонів [13], вимірювання електроопору у верхній частині проростків пшениці за допомогою голчастих електродів, реєстрація електропровідності листя за здатністю листків виділяти або утримувати різню

кількість електролітів [14]. До відомих належать також методи оцінки посухостійкості за оптичною густиною екстрактів листя, ростовою реакцією, ступенем відновлення мітотичної активності меристеми пагона після підсушування, величиною енергетичного заряду аденозинфосфатної системи [11].

Одним із методів оцінки посухостійкості пшениці є визначення відсотка пророслого насіння на розчинах речовин, що викликають зниження водного потенціалу в клітинах [15]. Встановлено, що висока частка пророслого насіння на субстраті з осмотиком характеризує його здатність проростати у ґрунті за дуже малих запасів вологи [11]. Тому використання цього підходу дає можливість на початкових фазах розвитку оцінити відносну посухостійкість рослин. У ролі осмотика, як правило, використовують високомолекулярний поліетиленгліколь, низькомолекулярний маніт або дисахарид сахарозу.

Мета роботи – розробити спосіб, який дозволить зручно, швидко і з необхідною вірогідністю оцінити та відібрати посухостійкі генотипи пшениці на ранніх етапах органогенезу, що в кінцевому рахунку дозволить прискорити селекційний процес і зменшити трудові витрати.

Новизна. Розроблено спосіб оцінювання стійкості сортозразків пшениці до дії посухи на початкових етапах органогенезу, що обумовлений здатністю рослин різних сортів неоднаково рости на осмотичних розчинах. Запропонований спосіб охороняється патентом на корисну модель (№ 157893 від 12.12.2024, бюл. № 50) [16]. Суть методу полягає в тому, що він проводиться в лабораторних умовах і дає змогу значно прискорити та спростити відбір посухостійких зразків. Новим є те, що оцінку посухостійкості генотипів проводять за зміною довжини і маси пагонів та головних коренів рослин за наступною схемою: пророщування насіння на дистильованій воді – 10 діб; культивування проростків на штучному субстраті з сахарозою концентрацією 16 атм – 7 діб, після чого визначають довжину та масу кореневої системи і надземної частини рослин.

Методологічне або загальнонаукове значення. Запропонований спосіб оцінювання посухостійкості генотипів пшениці на початкових етапах органогенезу доповнить методологію та сприятиме створенню нових сортів із цінними практичними властивостями. Спосіб може бути використаний у селекційних центрах, науково-дослідних установах та на дослідних станціях.

Виклад основного матеріалу. Найбільш близьким по технічній суті є аналогічний спосіб, який полягає у пророщуванні насіння на розчинах сахарози з високим осмотичним тиском [11]. Він полягає у здатності насіння різних сортів пшениці по-різному проростати на розчинах з високим осмотичним тиском. Як контроль використовують дистильовану воду. Насіння, що має більшу сисну силу, ніж у зовнішнього розчину, характеризують як

посухостійке. Тобто високий відсоток пророслого насіння характеризує здатність сорту проростати у ґрунті при недостатніх запасах вологи.

Однак недоліком даного методу є те, що кореляція між схожістю насіння і ростовими параметрами рослин при подальшому тривалому їх вирощуванні в умовах водного дефіциту не завжди є суттєвою. Причиною цього є те, що процеси, які регулюють розтягнення клітин при проростанні і подальшому рості, є абсолютно різними. Поглинання води насінням і подальше його набухання є переважно фізико-хімічними процесами на відміну від біохімічних, які контролюють поділ клітин і їх розтягнення в період росту. До того ж схожість насіння за селективних умов залежать не лише від посухостійкості, але і значною мірою від стану зародка і насіннєвих оболонок. Тому відбір генотипів лише за схожістю насіння в умовах осмотичного стресу не завжди дає об'єктивний результат і, як наслідок, може бути неефективним.

Найбільш надійну оцінку посухостійкості рослин можна отримати, аналізуючи її життєві показники в умовах штучно змодельованого стресового чинника. Особливий інтерес представляють методи ранньої діагностики на проростках, оскільки вони дають можливість проводити оцінку впродовж року і аналізувати велику кількість селекційного матеріалу.

Поставлене завдання вирішується тим, що в запропонованому способі оцінювання генотипів проводять за зміною довжин пагонів та головних коренів рослин в умовах штучно змодельованого стресового чинника. Вивчення стійкості пшениці до водного дефіциту на ранніх етапах росту і розвитку рослин дасть можливість визначити рівень осмотичного стресу на кореневу систему, надземну частину та рослину в цілому.

Запропонований спосіб включає нижче перераховані процеси. Досліди проводять у двох варіантах (контрольний – дистильована вода, дослідний – розчин сахарози) та трьох повтореннях (по 15 насінин в кожному), використовуючи виповнене насіння однієї репродукції. Для обох варіантів використовують ростильні та пластикові пластини (розміром 23 см × 13 см) з сімома повздовжніми вирізами (розміром 19 см × 4 см). Пластини мають розмір відповідний до ростильні. Фільтрувальний папір (розміром 18,5 × 7,5 см) вставляють у вирізи на пластинці так, щоб утворилася борозна. При розміщенні пластини на ростильні фільтрувальний папір повинен торкатися дна. На пластині створюють п'ять борозенок, в кожную з них розкладають сухе насіння по 15 шт. У ростильні наливають дистильовану воду і розміщують на них пластини з насінням. Поверхню ще додатково звожують для кращого проростання насіння. Насіння обох варіантів таким способом пророщують 10 діб, до появи розгорнутого листка за температури повітря від +18 °C до +21 °C. Потім

через 10 діб з ростильні дослідного варіанту зливають дистильовану воду, після чого заливають 350 мл попередньо підготовленого розчину сахарози концентрацією 16 атм. В подальшому рослини продовжують відрощувати ще 7 діб. У контрольному варіанті рослини продовжують рости на дистильованій воді, а у дослідному – на розчині сахарози. Надалі визначають довжину та масу кореневої системи і надземної частини рослин. Отримані результати порівнюють відносно контролю. Чим менша різниця між показниками контрольного та дослідного варіантів, тим вища посухостійкість рослини.

Головні висновки. Таким чином, у результаті дослідження розроблено спосіб оцінювання стійкості генотипів пшениці до дії посухи на початкових етапах органогенезу. Наведено порівняльну характеристику різних методів в оцінюванні зразків на стійкість до водного дефіциту. Аналіз літературних джерел засвідчив, що для вивчення посухостійкості

існує багато методик, заснованих на різних принципах дії, і кожен із них має свої переваги та недоліки. Переважна їх більшість не є нині оптимальними, внаслідок чого актуальним лишається завдання створення нових і вдосконалення вже наявних методів оцінювання пшениці. Переваги запропонованого методу над традиційними полягають у економії енергозатрат, можливості працювати з великими вибірками зразків та контролювати умови зовнішнього середовища.

Перспективи використання результатів дослідження. Використання даного методу сприятиме розв'язанню проблеми стійкості пшениці до несприятливих кліматичних чинників. Розроблений спосіб надасть можливість повніше реалізувати закладений селекціонерами потенціал продуктивності досліджуваних сортів, що сприятиме їх ефективнішому використанню як у рослинництві, так і в селекційній практиці.

Література

1. Мащенко Ю. В., Кулик Г. А., Трикіна Н. М., Малаховська В. О. Урожайність пшениці озимої у сівозмінах степу залежно від систем удобрення та біопрепарату. *Аграрні інновації*. 2023. № 18. С. 77–83.
2. 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.
3. Mousavi S. R., Jahandideh Mahjenabadi V. A., Khoshru B., Rezaei M. Spatial prediction of winter wheat yield gap: agro-climatic model and machine learning approaches. *Frontiers in Plant Science*. 2024. Vol. 14. 1309171.
4. 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, N 9. P. 1780–1792.
5. Рибалка О.І. Геноміка, транскриптоміка, протеоміка і біоінформатика на службі сучасної селекції пшениці. *Збірник наукових праць СГІ – НЦНС*. 2013. Вип. 21 (61). С. 18–38.
6. Chaudhry S., Sidhu G.P.S. Climate change regulated abiotic stress mechanisms in plants: A comprehensive review. *Plant Cell Reports*. 2022. Vol. 41, Iss. 1. P. 1–31.
7. Fabregas N., Fernie A.R. The metabolic response to drought. *Journal of Experimental Botany*. 2019. Vol. 70, N 4. P. 1077–1085.
8. Filip E., Woronko K., Stępień E., Czarniecka N. An overview of factors affecting the functional quality of common wheat (*Triticum aestivum* L.). *International Journal of Molecular Sciences*. 2023. Vol. 24, N 8. 7524.
9. Mahalingam R., Pandey P., Senthil-Kumar M. Progress and prospects of concurrent or combined stress studies in plants. *Annual Plant Reviews*. 2021. Vol. 4, Iss. 4. P. 813–868.
10. Пикало С.В., Демидов О.А., Юрченко Т.В., Гуменюк О.В., Харченко М.В., Рибка К.М. Розроблення способів оцінки та добору генотипів зернових культур на стійкість до абіотичних стресових чинників. *Екологічні науки*. 2020. № 5 (32). С. 175–184.
11. Пикало С., Демидов О., Юрченко Т., Хоменко С. Методи оцінки посухостійкості селекційного матеріалу пшениці. *Вісник Львівського університету. Серія біологічна*. 2020. Вип. 82. С. 63–79.
12. Makar O.O., Patsula O.I., Kavulych Y.Z., Batrashkina T.I. Excised leaf water status as a measure of drought resistance of Ukrainian spring wheat. *Studia Biologica*. 2019. Vol. 13, N 2. P. 41–54.
13. Моргун В.В., Стасик О.О., Кірізій Д.А., Прядкіна Г.О. Зв'язок реакції фотосинтетичних показників і зернової продуктивності на ґрунтову посуху в контрастних за стійкістю сортів озимої пшениці. *Фізіологія рослин і генетика*. 2016. Т. 48, № 5. С. 371–381.
14. Булавка Н.В., Юрченко Т.В., Кучеренко О.М., Пірич А.В. Сорти пшениці м'якої озимої, стійкі до впливу негативних чинників довкілля. *Plant Varieties Studying and Protection*. 2018. Т. 14, № 3. С. 255–261.
15. Прокопів Н.І., Чугункова Т.В., Хоменко С.О. Оцінка посухостійкості сортів пшениці м'якої озимої різного еколого-географічного походження за умов осмотичного стресу. *Наукові доповіді НУБіП України*. 2019. № 3 (79). С. 1–8. doi: 10.31548/dopovid2019.03.004
16. Спосіб оцінювання сортозразків пшениці до дії посухи на початкових етапах органогенезу: пат. 157893 Україна: МПК A01H1/04. No 202402382; заявл. 06.05.2024; опубл. 11.12.2024, Бюл. № 50.