

СПОСІБ ОЦІНЮВАННЯ СОЛЕСТІЙКОСТІ ГЕНОТИПІВ ПШЕНИЦІ НА ПОЧАТКОВИХ ЕТАПАХ ОРГАНОГЕНЕЗУ

Пикало С.В., Юрченко Т.В., Харченко М.В., Шадчина Т.М.
Миронівський інститут пшениці імені В.М. Ремесла
Національної академії аграрних наук України
08853, с. Центральне
pykserg@ukr.net

Пшениця є однією з стратегічних та незамінних сільськогосподарських культур. На сьогодні необхідно вести селекцію пшениці за створенням сортів, які володіють високим рівнем стійкості до несприятливих чинників довкілля. Засолення ґрунтів, що пов'язане з високою концентрацією розчинних солей натрію в орному шарі ґрунту, завдає аграрному виробництву непоправної шкоди. Для визначення стійкості рослин пшениці до сольового 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 солестійкості генотипів пшениці. У представленій роботі наведено порівняльну характеристику різних методів, кожен з яких має свої переваги та недоліки. Розроблено спосіб оцінювання солестійкості генотипів пшениці на початкових етапах органогенезу, який полягає у дії штучно змодельованого стресового фактора, спрямованого проти виживання стрес-чутливих форм. Запропонований спосіб охороняється патентом на корисну модель. Новим є те, що оцінювання солестійкості окремих генотипів проводять за зміною довжини і маси пагонів та головних коренів рослин за наступною схемою: пророщування насіння на дистильованій воді – 17 діб; культивування утворених проростків на штучному субстраті з хлоридом натрію концентрацією 0,15 М – 7 діб; визначення довжини та маси кореневої системи і надземної частини рослин. Суть методу полягає у проведенні оцінювання за лабораторних умов, що дає змогу значно прискорити та спростити відбір солестійких 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. Розроблений спосіб дасть можливість об'єктивно характеризувати рівень солестійкості перспективних генотипів пшениці та прогнозувати їхню поведінку у відповідних екологічних умовах. Використання даного методу в селекції озимих зернових культур сприятиме створенню нових сортів, які мають цінні практичні властивості. *Ключові слова:* пшениця, спосіб, стійкість, засолення, оцінювання, проростки.

Method for assessing the salt tolerance of wheat genotypes at the early stages of organogenesis. Pykalo S., Yurchenko T., Kharchenko M., Shadchyna T.

Wheat is one of the strategic and indispensable agricultural crops. Today, it is essential to conduct wheat breeding aimed at developing varieties with a high level of resistance to adverse environmental factors. Soil salinization, associated with high concentrations of soluble sodium salts in the arable soil layer, causes irreparable damage to agricultural production. To determine the salt stress tolerance of wheat plants, a variety of methods with different principles of action are used. The majority of these methods are currently suboptimal, making the development of new and the improvement of existing methods for evaluating wheat genotypes' salt tolerance a relevant task. This study presents a comparative analysis of various methods, each with its own advantages and disadvantages. A method has been developed for evaluating the salt tolerance of wheat genotypes at the early stages of organogenesis. This method involves the use of an artificially simulated stress factor that targets the survival of stress-sensitive forms. The proposed method is protected by a utility model patent. Its novelty lies in the assessment of individual genotypes' salt tolerance based on changes in shoot and primary root length and weight, following this scheme: seed germination in distilled water for 17 days; cultivation of the resulting seedlings on an artificial substrate with 0.15 M sodium chloride for 7 days; measurement of root system and shoot length and weight. The essence of the method is the evaluation under laboratory conditions, which significantly accelerates and simplifies the selection of salt-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 the possibility of year-round evaluation. This method will enable an objective characterization of the salt tolerance level of promising wheat genotypes and allow for forecasting their performance under specific environmental conditions. The application of this method in winter cereal breeding will contribute to the development of new varieties with valuable practical traits. *Key words:* wheat, method, tolerance, salinity, evaluation, seedlings.

Постановка проблеми. Пшениця (*Triticum aestivum* L.) є однією з найважливіших харчових культур, яка відіграє вирішальну роль у харчуванні 35 % населення світу [1; 2]. На сьогоднішній день зміна клімату впливає на низку екологічних чинників, які безпосередньо та опосередковано

визначають адаптивність і продуктивність пшениці [3; 4].

Істотне значення для селекційного вдосконалення пшениці має її стійкість до несприятливих чинників довкілля. Створення сортів з високим потенціалом продуктивності повинно бути напряму пов'язане

з їх адаптивними властивостями протистояти впливу стресових чинників навколишнього середовища. Солестійкість поряд зі стійкістю до інших абіотичних стресорів у сучасних умовах набуває дуже важливого значення [5]. З точки зору рослинництва, засолення визначається як надмірна концентрація розчинних солей у ґрунтах. Якщо концентрація солей є настільки високою, що суттєво знижує водний потенціал, такий стрес називають сольовим. Надмірні концентрації солей в ґрунтових розчинах зменшують врожай більшості культурних видів і, зокрема, пшениці. Окрім того, збільшення вмісту солі в ґрунті загрожує іригаційному сільському господарству в посушливих регіонах [6]. Процес поступового засолення ґрунту вказує на перспективність створення солестійких сортів пшениці.

Актуальність дослідження. Засолення ґрунтів, що пов'язане з високою концентрацією натрій розчинних солей в орному шарі ґрунту, нині завдає аграрному виробництву непоправної шкоди. Внаслідок безсистемного та безконтрольного проведення меліоративних заходів негативному впливу засолення піддається значна площа земель.

Як відомо, шкідлива дія засолення має комплексний характер і зумовлена як порушенням осмотичного балансу клітин, так і прямим токсичним впливом на фізіологічні та біохімічні процеси у клітині [7; 8]. Основний напрям розв'язання цієї проблеми – створення сортів із високим генетичним потенціалом продуктивності, які можуть реалізувати його незалежно від лімітів середовища. Для стабільного отримання зернової продукції та для селекції загалом суттєве значення має добір генотипів пшениці, здатних переносити засолення ґрунтів [9]. Успіх селекції пшениці на солестійкість значною мірою залежить від правильного оцінювання цієї ознаки у створюваних сортах. Для скринінгу стійких генотипів існує багато технологій зі схожим принципом роботи. Однак на сьогодні жодна з них не є оптимальною, у зв'язку з чим актуальним залишається створення нових і вдосконалення вже наявних способів оцінювання солестійкості селекційного матеріалу 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. Результати багатьох досліджень засвідчують, що при надлишку солей в проростках гальмуються оби-

дві фази ростових процесів – поділ та розтягування клітин [7; 8; 10]. Причиною гальмування росту проростків на засолених субстратах є пригнічення процесів синтезу, зумовлене акумуляцією підвищеного вмісту іонів солей у клітинах [11]. Ефект гальмування ростових процесів зберігається в умовах засолення протягом усього періоду вегетації, а подальше збільшення концентрації солей пригнічує ростові процеси аж до загибелі рослини [12]. Встановлено, що за однакових рівнів засолення інтенсивність гальмування ростових процесів чітко корелює зі ступенем солестійкості культур і їхніх сортів. [13]. Пшениця характеризується середньою стійкістю до засолення ґрунтів.

Виявлено, що за високих рівнів засолення проростання насіння різко зменшується або припиняється зовсім [14]. Проте ріст проростка пригнічується в засоленому субстраті значно сильніше і за нижчих концентрацій сольового розчину, ніж набухання та наклёвування насіння [13; 14]. Відомо, що тривалий підвищений вміст іонів у ґрунті негативно впливає на низку фізіологічних процесів рослин, викликаючи при цьому анатомічні зміни в рослинних тканинах і органах [12]. Негативна дія високої концентрації солей позначається насамперед на кореневій системі рослин. Коріння рослин при надлишку солей втрачає тургор і відмирає, набуваючи темного забарвлення [15]. Тому відбір рослин за цією ознакою є ефективним підходом у селекції пшениці на стійкість до несприятливих умов довкілля. В якості критерію солестійкості також використовується швидкість подовження листя чи коренів [16].

Інколи у короткострокових експериментах виявляються незначні розбіжності між генотипами, а в тривалих – суттєва різниця за величиною урожайності. Тому деякі автори вважають, що тривалі експерименти із засоленням є неодмінною умовою оцінювання солестійкості сортів сільськогосподарських культур [17].

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. В умовах значного поширення і постійного збільшення площ засолених ґрунтів оцінка ступеня солестійкості рослин набуває важливого значення в селекційній практиці. Це обумовлює необхідність розробляти об'єктивні і надійні методи для проведення цієї оцінки. Для скринінгу солестійких генотипів існує багато технологій зі схожим принципом роботи. Нині є метод відбору рослин на солестійкість, заснований на аналізі параметрів урожайності у польових умовах [18; 19]. За критерій солестійкості рослин тут використовують ступінь зниження їх продуктивності при засоленні порівняно з оптимальними умовами. З погляду практичного значення цей спосіб вважається найбільш достовірним та об'єктивним. Проте часом буває важко або навіть неможливо створити два фони вирощування (оптимальний і екстремальний). Складність цього методу поля-

гає також у просторовій гетерогенності фізичних і хімічних властивостей ґрунту, а також у сезонних коливаннях кількості атмосферних опадів.

Існує також спосіб, за якого використовуються вегетаційні приміщення з контрольованими умовами вирощування, де в якості основного критерію стійкості рослин використовують накопичення більшої біомаси при сильному засоленні порівняно з контролем [20]. Проте для виявлення реальної солестійкості сортів зернових культур необхідно проводити тривалі експерименти – від двох тижнів до кількох місяців, що є непрактичним для скринінгу великої кількості генотипів або відбору солестійких нащадків.

Як критерій солестійкості може слугувати відсутність пошкодження листя рослин, що культивуються на засоленому субстраті [9]. При цьому токсичний ефект солей на рослину полягає у їх високій концентрації в цитоплазмі і клітинній стінці. Разом з тим, осмотичний ефект солі може призвести до прискореного старіння листя у зв'язку з дефіцитом в них води. Окрім того, можливий також дефіцит одних або надлишок інших іонів, що в кінцевому рахунку призводить до отримання хибних результатів.

У зв'язку з цим, для оцінки солестійкості, як правило, застосовують лабораторні методи, які дозволяють дати первинну оцінку зразкам і відібрати на початкових етапах перспективні генотипи.

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

Новизна. Розроблено спосіб оцінювання солестійкості сортозразків пшениці на початкових етапах органогенезу, що обумовлений здатністю рослин різних сортів неоднаково рости на сольових розчинах. Запропонований спосіб охороняється патентом на корисну модель (№ 158664 від 05.03.2025, бюл. № 10) [21]. Суть методу полягає в тому, що він проводиться в лабораторних умовах і дає змогу значно прискорити та спростити відбір солестійких зразків. Новим є те, що оцінку солестійкості генотипів проводять за зміною довжини і маси пагонів та головних коренів рослин за наступною схемою: пророщування насіння на дистильованій воді – 17 діб; культивування утворених проростків на штучному субстраті з хлоридом натрію концентрацією 0,15 М – 7 діб; визначення довжини та маси кореневої системи і надземної частини рослин.

Методологічне або загальнонаукове значення. Запропонований спосіб оцінювання солестійкості 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 сольових розчинах з хлоридом натрію [22]. Відібрані партії здорового насіння пророщують у розчинах солей хлориду натрію концентрацією 8 атм. Як показник обліку використовують енергію проростання та лабораторну схожість. Критерієм солестійкості при цьому є зміна цих величин порівняно з такими ж величинами для насіння, що проростає на воді без солі. Чим більша зміна цих показників при засоленні, тим меншою є солестійкість рослин.

Проте недоліком вказаного методу є те, що швидкість проростання та схожість насіння за селективних умов може залежати не лише від стійкості генотипу, але і значною мірою від стану зародка і насіннєвих оболонок. Причиною цього є відмінність процесів, які регулюють розтягнення клітин під час проростання і подальшого зростання. Поглинання води насінням і подальше його набухання є переважно фізико-хімічними процесами на відміну від біохімічних, які контролюють поділ клітин і їхнє розтягнення у період росту. Тому відбір генотипів в умовах сольового стресу лише за енергією проростання та схожістю насіння не завжди є ефективним.

Найбільш надійну оцінку посухостійкості рослини 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 модельованого стресового чинника. Вивчення солестійкості пшениці на початкових фазах росту і розвитку рослин дасть змогу визначити рівень сольового 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 – сольовий розчин) та трьох повтореннях (по 15 насінин в кожному), використовуючи виповнене насіння однієї репродукції. Для обох варіантів використовують пластмасові прямокутні кастри (розміром 39 см × 58 см × 22 см) та пластикові пластини (розміром 62 см × 41 см) з 23-а повздовжніми вирізами (розміром 32 см × 0,4 см). Пластини мають розмір відповідний до кастр. Фільтрувальний папір (розміром 28,5 × 23,0 см) вставляють у вирізи на пластинці так, щоб утворилася борозна. При розміщенні пластини на кастру фільтрувальний папір має бути майже повністю зануреним у воду. На пластині створюють 21 борозенку, в кожному з яких розклада-

ють сухе насіння в кількості 15 шт. У кастри наливають дистильовану воду об'ємом 22 л, після чого розміщують на них пластини з насінням. Насіння обох варіантів таким чином пророщують 17 діб до появи 2-3 листків за температури повітря від +18 °C до +21 °C. Через 17 діб кастру дослідного варіанту звільняють від дистильованої води, а натомість заливають 22 л попередньо підготовленого розчину хлориду натрію концентрацією 0,15 М. В подальшому рослини продовжують відрощувати ще 7 діб. У контрольному варіанті рослини продовжують рости на дистильованій воді, а у дослідному – на соловому розчині. Надалі визначають довжину та масу кореневої системи і надземної частини рослин, порівнюючи отримані результати. Чим менша різниця між показниками контрольного та дослідного варіантів, тим вища солестійкість рослини.

Головні висновки. Таким чином, у результаті дослідження розроблено спосіб оцінювання солестійкості генотипів пшениці на початкових етапах органогенезу, який полягає у дії штучно змодельованого стресового фактора, спрямо-

ваного проти виживання стрес-чутливих форм. Запропонований спосіб охороняється патентом на корисну модель. Наведено порівняльну характеристику різних методів щодо оцінювання зразків на стійкість до засолення. Переваги запропонованого методу над традиційними полягають у економії енергозатрат, можливості працювати з великими вибірками зразків та контролювати умови зовнішнього середовища. Представлені дослідження орієнтовані на розвиток розуміння реакцій рослин на соловий стрес та широке впровадження нових методів для вирішення прикладних завдань селекції пшениці.

Перспективи використання результатів дослідження. Розроблений спосіб дасть можливість об'єктивно характеризувати рівень солестійкості перспективних генотипів пшениці та прогнозувати їхню поведінку у відповідних екологічних умовах. Використання даного методу сприятиме розв'язанню проблеми стійкості пшениці до несприятливих чинників довкілля та створенню нових сортів, які мають цінні практичні властивості.

Література

1. 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. Iss. 8. 7524.
2. Tadesse W., Sanchez-Garcia M., Assefa S. G., Amri A., Bishaw Z., Ogbonnaya F. C. Genetic gains in wheat breeding and its role in feeding the world. *Crop Breeding, Genetics and Genomics*. 2019. Vol. 1. e190005.
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.
4. Zahra N., Hafeez M. B., Wahid A., Al Masruri M. H., Ullah A., Siddique K. H., Farooq M. 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.
5. Almansouri M., Kinet J., Lutts S. Effect of salt and osmotic stresses on germination in durum wheat (*Triticum durum* Desf.). *Plant Soil*. 2001. Vol. 231. No. 2. P. 243–254.
6. Деркач І.В., Романюк Н.Д. Вплив засолення ґрунту на рослинні організми. *Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка. Серія Біологія*. 2016. Вип. 3/4 (67). С. 91–106.
7. Krasensky J., Jonak C. Drought, salt, and temperature stress-induced metabolic rearrangements and regulatory networks. *Journal of Experimental Botany*. 2012. Vol. 63. Iss. 4. P. 1593–1608.
8. Bartels D., Sunkar R. Drought and salt tolerance in plants. *Critical Reviews in Plant Sciences*. 2005. Vol. 24. Iss. 1. P. 23–58.
9. Munns R., James R. A. Screening methods for salinity tolerance: a case study with tetraploid wheat. *Plant and Soil*. 2003. Vol. 253. Iss. 1. P. 201–218.
10. Frensch J. Primary responses of root and leaf elongation to water deficits in the atmosphere and soil solution. *Journal of Experimental Botany*. 1997. Vol. 48. Iss. 5. P. 985–999.
11. Hedref T., Bengu T. A physiological investigation on the mechanisms of salinity tolerance in some barley culture forms. *Journal of Forensic Sciences*. Vol. 27. 2004. P. 1–16.
12. Ashraf M., Parveen N. Photosynthetic parameters at the vegetative stage and during grain development of two hexaploid wheat cultivars differing in salt tolerance. *Biologia Plantarum*. 2002. Vol. 45. P. 401–407.
13. Chen Z., Newman I., Zhou M., Mendham N., Zhang G., Shabala S. Screening plants for salt tolerance by measuring K⁺: a case study for barley. *Plant, Cell & Environment*. 2005. Vol. 28. Iss. 10. P. 1230–1246.
14. Barker A.V., Maynard D.N., Mioduchowska B., Buch A. Ammonium and salt inhibition of some physiological processes associated with seed germination. *Physiologia Plantarum*. 1970. Vol. 23. Iss. 5. P. 898–907.
15. Brugnoli E., Bjorkman. Growth of cotton under continuous salinity stress; Influence on allocation pattern, stomatal and non-stomatal components of photosynthesis and dissipation of excess light energy. *Planta*. 1992. Vol. 187. P. 335–347.
16. Munns R., Schachtman D. P., Condon A. G. The significance of a two-phase growth response to salinity in wheat and barley. *Australian Journal of Plant Physiology*. 1995. Vol. 22. Iss. 4. P. 561–569.
17. Rivelli A.R., James R.A., Munns R., Condon A.T. Effect of salinity on water relations and growth of wheat genotypes with contrasting sodium uptake. *Functional Plant Biology*. 2002. Vol. 29. Iss. 9. P. 1065–1074.
18. Van Straten G., De Vos A.C., Rozema J., Bruning B., Van Bodegom P.M. An improved methodology to evaluate crop salt tolerance from field trials. *Agricultural Water Management*. 2019. Vol. 213. P. 375–387.
19. Методика державного сортопробування сільськогосподарських культур / за ред. В. В. Волкодава. 2000. Київ: Алефа, С. 10–50.

20. El-Hendawy S.E., Hu Y., Yakout G.M., Awad A.M., Hafiz S.E., Schmidhalter U. Evaluating salt tolerance of wheat genotypes using multiple parameters. *European Journal of Agronomy*. 2005. Vol. 22. No. 3. P. 243–253.
21. Спосіб оцінювання солестійкості сортів пшениці на початкових етапах органогенезу: пат. 158664 Україна: МПК A01H1/04. No 202403040; заявл. 10.06.2024; опубл. 05.03.2025, Бюл. № 10.
22. McKimmie T., Dobrenz A.K. A method for evaluation of salt tolerance during germination, emergence, and seedling establishment. *Agronomy Journal*. 1987. Vol. 79. No. 5. P. 943–945.