

УДК 633.11:581.144:58.056:58.084.1

DOI <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2026.148.3.6>

СКРИНІНГ СОРТІВ ПШЕНИЦІ М'ЯКОЇ ОЗИМОЇ НА СТІЙКІСТЬ ДО АБІОТИЧНИХ СТРЕСОРІВ НА РАННІХ ЕТАПАХ РОЗВИТКУ

Пикало С.В. – к.б.н., старший дослідник,
провідний науковий співробітник відділу біотехнології, генетики і фізіології,
Миронівський інститут пшениці імені В. М. Ремесла
Національної академії аграрних наук України
orcid.org/0000-0002-3158-3830

Юрченко Т.В. – к.с.-г.н., старший дослідник,
завідувачка відділу біотехнології, генетики і фізіології,
Миронівський інститут пшениці імені В. М. Ремесла
Національної академії аграрних наук України
orcid.org/0000-0003-0164-4003

Пірич А.В. – к.с.-г.н.,
с.н.с. відділу біотехнології, генетики і фізіології,
Миронівський інститут пшениці імені В. М. Ремесла
Національної академії аграрних наук України
orcid.org/0000-0003-2312-9774

Харченко М.В. – к.с.-г.н.,
науковий співробітник відділу біотехнології, генетики і фізіології,
Миронівський інститут пшениці імені В. М. Ремесла
Національної академії аграрних наук України
orcid.org/0000-0002-4005-2134

Кліматичні зміни, що спостерігаються протягом останніх десятиліть, суттєво впливають на умови вирощування пшениці, зумовлюючи зростання частоти та інтенсивності посух, температурних екстремумів і нерівномірності розподілу опадів. У представленій роботі вивчено сучасні сорти пшениці м'якої озимої різного еколого-географічного походження за посухо-, солестійкістю на початкових етапах органогенезу та досліджено кореляційні зв'язки між показниками стійкості до водного дефіциту та засолення. Дослідження проведено на 20 сортах пшениці м'якої озимої вітчизняної та іноземної селекції. Посухо- та солестійкість оцінювали за попередньо розробленими методиками із застосуванням штучних поживних середовищ на основі 0,67 М розчину сахарози та 0,15 М розчину хлориду натрію. Виділено три групи сортів, які відрізнялись здатністю до росту на субстратах із стресовими агентами та зберігали стабільні морфометричні показники: посухостійкі – МПП Довіра, МПП Дарунок, Turkoaz, Pavlina, T-51; солестійкі – МПП Паляниця миронівська, Зорепад білоцерківський, Афіна, МПП Ауріка; з комплексною стійкістю – Pavlina і Turkoaz. За результатами дисперсійного аналізу визначено, що провідну роль у формуванні морфометричних показників проростків пшениці м'якої озимої відіграє фактор середовища, зокрема умови з використанням селективних агентів – сахарози та хлориду натрію. Кореляційний аналіз показав прямий взаємозв'язок між морфометричними показниками проростків за дії обох стресів, проте різної сили: довжина кореня – сильний ($r = 0,89$); довжина стебла – сильний ($r = 0,73$); співвідношення довжина кореня / довжина стебла – значний ($r = 0,61$); маса кореня – значний ($r = 0,55$); маса стебла – значний ($r = 0,61$); співвідношення маса кореня / маса стебла – помірний ($r = 0,35$). Експериментально підтверджено, що на ранніх етапах розвитку посухо- та солестійкість у пшениці м'якої озимої має спільну фізіолого-морфологічну основу, а коренева система є головним



© Пикало С.В., Юрченко Т.В., Пірич А.В., Харченко М.В., 2026

Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу CC BY 4.0

критерієм толерантності як до осмотичного, так і до сольового стресів. Виділені сорти рекомендовано використовувати у селекційних програмах для підвищення стійкості пшениці м'якої озимої до абіотичних стресорів. Розроблена система оцінювання сортів може бути використана не лише для пшениці, а й для інших зернових колосових культур (тритикале, жито, ячмінь), що розширює масштаби її практичного застосування.

Ключові слова: *Triticum aestivum* L., посуха, засолення, толерантність, проростки, оцінювання.

Pykalo S.V., Yurchenko T.V., Piryach A.V., Kharchenko M.V. Screening of winter bread wheat cultivars for resistance to abiotic stressors at the early stages of plant development

Climate change observed over recent decades has significantly affected wheat growing conditions, leading to an increase in the frequency and intensity of droughts, temperature extremes, and uneven precipitation distribution. The present study examined modern winter bread wheat cultivars of different ecological and geographical origins for drought and salt tolerance at early stages of organogenesis and analyzed the correlation relationships between indicators of tolerance to water deficit and salinity. The research was conducted on 20 winter bread wheat cultivars of domestic and foreign breeding. Drought and salt tolerance were evaluated using previously developed methodologies with the application of artificial nutrient media based on a 0.67 M sucrose solution and a 0.15 M sodium chloride solution. Three groups of cultivars were identified according to their growth ability on substrates containing stress agents and the maintenance of stable morphometric parameters: drought-tolerant cultivars (MIP Dovira, MIP Darunok, Turkoaz, Pavlina, T-51); salt-tolerant cultivars (MIP Palianytsia Myronivska, Zorepad Bilotserkivskiyi, Afina, MIP Aurika); and cultivars with combined tolerance (Pavlina and Turkoaz). According to the results of analysis of variance, the environmental factor played a leading role in the formation of morphometric traits of winter bread wheat seedlings, particularly under conditions involving selective agents such as sucrose and sodium chloride. Correlation analysis revealed a positive relationship between seedling morphometric parameters under both stresses, with different strengths: root length – strong ($r = 0.89$); shoot length – strong ($r = 0.73$); root-to-shoot length ratio – significant ($r = 0.61$); root weight – significant ($r = 0.55$); shoot weight – significant ($r = 0.61$); and root-to-shoot weight ratio – moderate ($r = 0.35$). It was experimentally confirmed that at early stages of development, drought and salt tolerance in winter bread wheat share a common physiological and morphological basis, with the root system being the main criterion of tolerance to both osmotic and salt stresses. The identified cultivars are recommended for use in breeding programs aimed at improving winter bread wheat resistance to abiotic stressors. The developed system for evaluating varieties can be used not only for wheat but also for other cereal crops (triticale, rye, barley), which expands the scope of its practical application.

Key words: *Triticum aestivum* L., drought, salinity, tolerance, seedlings, evaluation.

Постановка проблеми. Пшениця м'яка озима (*Triticum aestivum* L.) є однією з провідних продовольчих культур в світі [1, 2]. В Україні її посівна площа до війни становила 6–7 млн. га, а в 2025 році вона займала понад 5 млн. га [3]. Кліматичні зміни, зафіксовані впродовж останніх десятиліть, істотно трансформують умови вирощування цієї культури, спричиняючи підвищення частоти й інтенсивності посушливих явищ, температурних екстремумів та нерівномірного випадання опадів [4, 5]. Такі зміни негативно позначаються на продуктивності рослин, призводять до зниження врожайності, нестабільності валових зборів та погіршення якості зерна, що створює додаткові ризики для продовольчої безпеки [6]. У зв'язку з цим зростає актуальність досліджень, спрямованих на виявлення та використання генотипів пшениці озимої з підвищеним рівнем адаптивності та стійкості до абіотичних стресових чинників.

Актуальність дослідження. Одним із ключових абіотичних чинників, що лімітують ріст і продуктивність рослин, є дефіцит вологи, який значною мірою зумовлює зниження врожайності сільськогосподарських культур [7]. За умов зростання частоти посушливих періодів особливої актуальності набуває створення сортів зернових культур, здатних ефективно реалізовувати продуктивний

потенціал за недостатнього водозабезпечення. Створення посухостійких сортів пшениці з поєднанням високої продуктивності та цінних господарських ознак розглядається як один із стратегічних напрямів стабілізації виробництва екологічно безпечного продовольчого зерна в Україні [8].

Не менш значним чинником деградації агроєкосистем є засолення ґрунтів, пов'язане з накопиченням у кореневмісному шарі підвищених концентрацій розчинних солей натрію [9]. Засолення негативно впливає на водний і мінеральний обмін рослин, що призводить до істотного зниження врожайності більшості культур, у тому числі пшениці. Особливу загрозу цей процес становить для іригаційного землеробства в регіонах з недостатнім зволоженням, де використання зрошення може прискорювати вторинне засолення ґрунтів [10]. Негативний вплив засолення має комплексний характер і зумовлена як порушенням осмотичного балансу клітин, так і прямим токсичним впливом на фізіологічні та біохімічні процеси в клітині [9]. Часто рослини піддаються дії одночасно кількох стресорів, при цьому їх негативний вплив значно посилюється [11]. У зв'язку з цим селекція пшениці на підвищену посухо- та солестійкість є необхідною умовою розширення адаптивного потенціалу культури, підвищення її екологічної пластичності та забезпечення стабільної продуктивності за нестійкого клімату.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Одним із поширених підходів до оцінки посухо- та солестійкості сільськогосподарських культур, зокрема пшениці, є аналіз проростання насіння в умовах штучно зниженого водного потенціалу середовища [12]. Варто підкреслити, що оцінювання реакції насіння та проростків пшениці на осмотичний і сольовий стреси на ранніх етапах онтогенезу є інформативним підходом для характеристики адаптивного потенціалу сортів. Як стресові агенти найчастіше використовують поліетиленгліколь, сахарозу та маніт для оцінки посухостійкості, а хлорид і сульфат натрію – для оцінки солестійкості. Н. І. Прокопів та ін. [13] для створення осмотичного стресу використовували сахарозу, маніт та сорбіт різних молярних концентрацій, що відповідали 16 і 18 атм осмотичного тиску. Встановлено, що поряд із дисахаридом сахарозою шестиатомні аліфатичні спирти маніт і сорбіт виявили ідентичну спроможність до створення водного дефіциту. І. В. Гаврилюк та Г. М. Ковалишина [14] досліджували вплив стресу від посухи, індукованого манітом, на проростання насіння різних сортів пшениці м'якої озимої. Автори дійшли висновку, що доцільно проводити відбір сортів на 10-й день спостережень, коли варіація між варіантами спостережень є найменшою.

Моделюючи умови посухи та засолення, М. Jovovic et al. [15] встановили, що підвищення осмотичного та сольового стресів, спричинених манітом та хлоридом натрію, супроводжувалося суттєвим зниженням показників проростання насіння у всіх досліджених сортів. За більш інтенсивного стресу спостерігалося різке пригнічення або повне припинення проростання, що свідчило про високу чутливість проростків до дефіциту вологи та засолення. Автори зазначають, що виявлені міжсортіві відмінності підтверджують наявність різних механізмів адаптації до абіотичних стресів і обґрунтовують перспективність подальших досліджень для з'ясування їхньої природи та практичного використання в селекції.

У іншому дослідженні [16] встановлено достовірну позитивну кореляцію між сухою масою проростків пшениці і швидкістю проростання, індексом енергії проростання насіння, довжиною пагонів і коренів за умов сольового стресу, що підтверджує доцільність використання цих показників як селекційних критеріїв для скринінгу генотипів пшениці за солестійкістю.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Попри те, що селекція на стійкість до абіотичних стресів сформувалася як окремий науковий напрям із широким спектром методичних підходів, низка теоретичних і прикладних аспектів, пов'язаних із механізмами адаптації рослин, залишається недостатньо вивченою. Сучасні дослідження у цьому напрямі ґрунтуються на аналізі морфологічних, анатомічних і фізіолого-біохімічних показників, які визначають рівень стійкості рослин до дії стресових факторів [9, 17]. При цьому ефективність селекційної роботи значною мірою залежить від адекватності методів оцінювання стресостійкості генотипів. Використання осмотичних і солевих моделей із застосуванням сахарози та хлориду натрію дає змогу комплексно оцінити толерантність сортів пшениці на ранніх етапах органогенезу, що би забезпечило швидке і достовірне виявлення генотипів із підвищеною адаптивною здатністю. Дослідження, спрямовані на розв'язання даної проблеми, є актуальними і значущими, оскільки вони орієнтовані на розвиток розуміння реакцій рослин на стрес та широке впровадження нових методів для вирішення прикладних завдань селекції пшениці.

Постановка завдання – формулювання цілей дослідження. Мета роботи – вивчити сучасні сорти пшениці м'якої озимої вітчизняної та іноземної селекції за посухо- та солестійкістю на початкових етапах органогенезу. Структура досліджень передбачала наступні завдання:

- вивчити сучасні сорти пшениці м'якої озимої за посухо- та солестійкістю на початкових етапах органогенезу з використанням попередньо розроблених лабораторних методів оцінювання;

- виділити джерела стійкості пшениці м'якої озимої до абіотичних стресових чинників для ефективного ведення селекційного процесу;

- виявити кореляційні зв'язки між показниками стійкості до водного дефіциту та засолення.

Виклад основного матеріалу дослідження. Матеріалом досліджень були сорти пшениці м'якої озимої вітчизняної та зарубіжної селекції, серед яких нові сорти селекції Миронівського інституту пшениці імені В. М. Ремесла НААН України (МІП) – МІП Дарунок, МІП Стефанія, МІП Паляниця миронівська, МІП Аурика, МІП Довіра, спільної селекції Інституту фізіології рослин і генетики НАН України та МІП – Подоланка, та колекційні зразки пшениці м'якої озимої різних країн походження – Зорепад білоцерківський, Альбатрос одеський, Поліська 90 (Україна), Анія (Казахстан), Афіна (Киргизстан), Turkoaz (Болгарія), MV Lereny (Угорщина), Bodysek (Франція), Manella (Нідерланди), Pavlina (Словаччина), Fotima (Туреччина), Лан Тянь W57-6, T-51, G95-2-1-2 (Китай).

Дослідження виконували у відділі біотехнології, генетики і фізіології МІП впродовж 2025 р. згідно попередньо розроблених методик, які захищені патентами на корисну модель [18, 19]. При оцінюванні посухо-, солестійкості досліди проводили у двох варіантах: (контрольний – дистильована вода, дослідний – розчин сахарози 0,67 М або хлориду натрію (NaCl) 0,15 М) та трьох повтореннях (по 15 насінин в кожному). Оцінювання посухостійкості проводили шляхом пророщування насіння протягом 10 діб на дистильованій воді до фази формування розгорнутого листка за температури повітря +18...+21 °С. Після цього проростки додатково відрощували впродовж 7 діб на розчині сахарози концентрацією 0,67 М. Оцінювання солестійкості здійснювали за аналогічних температурних умов (+18...+21 °С). Насіння пророщували протягом 17 діб на дистильованій воді до фази формування 2–3 листків, після чого проростки відрощували ще 7 діб у розчині NaCl концентрацією 0,15 М. Оцінювали довжину стебла й кореня, їх співвідношення, а також вагу стеблової і кореневої маси 10 рослин. Чим менша різниця між показниками контрольного та дослідного варіантів, тим вища стійкість рослини.

Статистичну обробку отриманих даних проводили за методами описової і варіаційної статистики, а також дисперсійного (ANOVA) та кореляційного аналізу з використанням програм Statistica 10 і Excel 2013. Відмінності між порівнюваними показниками вважали статистично достовірними при рівні значущості $p < 0,05$. Для інтерпретації коефіцієнта кореляції Пірсона (r) використали шкалу Чеддока [20]: $0 < r < 0,09$ – зв'язок відсутній, $0,10 < r < 0,29$ – слабкий, $0,30 < r < 0,49$ – помірний, $0,50 < r < 0,69$ – значний, $0,7 < r < 0,89$ – сильний, $0,90 < r < 0,99$ – дуже сильний, $r = 1,00$ – зв'язок функціональний.

Скринінг сортів пшениці м'якої озимої на стійкість до посухи. Морфометричні характеристики проростків пшениці свідчать про значний вплив водного стресу на ранні фази розвитку рослин. Отримані дані показали неоднакову чутливість сортів до осмотичного навантаження, що зумовлено їхніми генетично обумовленими особливостями. У контрольному варіанті середня довжина стебла становила 22,6 см, а кореня – 27,1 см. Водночас у варіанті із застосуванням сахарози обидва показники суттєво зменшилися – до 14,2 см і 13,9 см відповідно (табл. 1).

Таблиця 1

Морфометричні показники проростків сортів пшениці м'якої озимої в контролі та на субстратах з сахарозою 0,67 М

Сорт	Контроль						Сахароза 0,67 М					
	ДС, см	ДК, см	ДК/ДС	МС, г	МК, г	МК/МС	ДС, см	ДК, см	ДК/ДС	МС, г	МК, г	МК/МС
Поділька	23,8	26,3	1,1	1,2	1,0	0,8	18,2	14,0	0,8	0,9	0,7	0,8
МПП Дарунок	26,2	23,9	0,9	1,5	1,0	0,7	17,0	13,9	0,8	1,0	0,8	0,8
МПП Стефанія	24,0	24,0	1,0	1,5	1,2	0,8	16,3	12,8	0,8	1,0	1,1	1,0
МПП Паляниця миронівська	17,4	26,0	1,5	1,3	1,2	0,9	13,4	15,2	1,1	0,8	1,0	1,3
МПП Ауріка	17,2	27,4	1,6	1,3	1,1	0,8	16,1	16,4	1,0	1,0	0,7	0,7
МПП Довіра	26,0	24,0	0,9	1,7	1,0	0,6	20,0	14,9	0,7	1,2	0,7	0,6
Зорепад білоцерківський	25,2	24,3	1,0	1,6	1,0	0,6	17,6	15,1	0,9	1,1	0,8	0,7
Альбатрос одеський	17,9	33,4	1,9	1,4	1,1	0,8	12,4	16,1	1,3	0,7	0,8	1,1
Поліська 90	24,6	34,3	1,4	1,5	1,1	0,8	11,2	13,9	1,2	0,8	0,5	0,6
Анія	24,0	26,7	1,1	1,5	0,9	0,6	17,4	15,0	0,9	1,0	0,7	0,7
Афина	22,5	26,7	1,2	1,1	0,8	0,7	16,7	14,4	0,9	1,0	0,7	0,7
Turkoaz	25,0	23,5	0,9	1,4	1,0	0,7	19,5	13,3	0,7	1,1	0,9	0,8
MV Lerenu	22,8	31,0	1,4	1,2	0,7	0,6	10,4	13,0	1,2	0,6	0,5	0,8
Bodysek	22,2	27,9	1,3	1,2	0,6	0,5	9,8	10,9	1,1	0,6	0,5	0,8
Manella	22,1	25,2	1,1	1,3	0,9	0,7	11,7	14,0	1,2	0,6	0,8	1,2
Pavlina	24,2	23,0	1,0	1,5	1,0	0,7	12,0	14,5	1,2	0,7	0,9	1,2
Fotima	25,2	27,8	1,1	1,4	1,0	0,7	12,0	11,8	1,0	0,6	0,6	0,9
Лан Тянь W 57-6	20,9	30,6	1,5	1,1	0,6	0,6	10,2	12,6	1,2	0,5	0,5	1,0
T-51	21,4	31,2	1,5	1,1	1,1	0,9	10,6	14,9	1,4	0,7	1,0	1,4
G95-2-1-2	19,9	25,6	1,3	1,1	0,6	0,6	11,1	12,5	1,1	0,7	0,5	0,8
Середнє	22,6	27,1	1,2	1,3	0,9	0,7	14,2	13,9	1,0	0,8	0,7	0,9
MAX	26,2	34,3	1,9	1,7	1,2	0,9	20,0	16,4	1,4	1,2	1,1	1,4
MIN	17,2	23,0	0,9	1,1	0,6	0,5	9,8	10,9	0,7	0,5	0,5	0,6
R	9,0	11,3	1,0	0,6	0,6	0,4	10,2	5,5	0,7	0,7	0,6	0,8
НІР ₀₅	2,3	2,9	-	-	-	-	2,3	2,9	-	-	-	-

Примітка: ДС – довжина стебла, ДК – довжина кореня, МС – маса 10 стебел, МК – маса 10 коренів, MAX – максимум, MIN – мінімум, R – розмах варіювання, НІР – найменша істотна різниця.

У контрольних умовах найбільшу довжину стебла формували сорти МПП Дарунок (26,2 см), МПП Довіра (26,0 см) і Зорепад білоцерківський (25,2 см). Після дії сахарози найменше зниження цього показника зафіксовано у сортів МПП Довіра (20,0 см), Turkoaz (19,5 см) та Подолянка (18,2 см), що може свідчити про їхню відносно вищу стійкість до осмотичного стресу. Водночас істотне пригнічення росту стебла спостерігалось у сортів MV Lerenu (з 22,8 до 10,4 см), Bodysek (з 22,2 до 9,8 см), Fotima (з 25,2 до 12,0 см) і Лан Тянь W 57-6 (з 20,9 до 10,2 см), що вказує на підвищену чутливість цих генотипів до зниження водного потенціалу середовища.

Аналогічна закономірність простежувалася і щодо довжини кореня. У контролі найвищі значення цього показника мали сорти Поліська 90 (34,3 см), Альбатрос одеський (33,4 см) і Т-51 (31,2 см). Під впливом сахарози довжина кореня в середньому зменшилася на 49 %, проте окремі сорти (МПП Паляниця миронівська, МПП Ауріка, Т-51, Pavlina) зберігали відносно більші значення порівняно з іншими.

Співвідношення довжини кореня до стебла є важливим індикатором морфологічної адаптації проростків. У контрольному варіанті його середнє значення становило 1,2, тоді як за дії сахарози воно зменшилося до 1,0. Це свідчить про сильніше пригнічення росту надземної частини порівняно з підземною. Така реакція є типовою для рослин за умов водного дефіциту, коли підтримання росту кореневої системи забезпечує поглинання вологи навіть за рахунок обмеження розвитку пагонів. Найвищі значення співвідношення у контролі відзначено у сортів Альбатрос одеський (1,9), МПП Ауріка (1,6) та Лан Тянь W 57-6 (1,5), тоді як найнижчі – у МПП Дарунок (0,9), МПП Довіра (0,9) і Turkoaz (0,9). Після дії сахарози цей показник у більшості сортів зменшувався або наближався до 1.

Середня маса стебла десяти рослин у контролі становила 1,3 г, а кореня – 0,9 г. Під впливом сахарози ці значення знизилися відповідно до 0,8 г і 0,7 г. Найбільше зменшення маси стебла спостерігалось у сортів MV Lerenu, Bodysek, Fotima та Поліська 90. Водночас сорти МПП Довіра, Т-51, Pavlina і МПП Дарунок зберегли відносно вищу біомасу, що свідчить про їхню більшу стійкість до осмотичного навантаження.

Таким чином, у результаті досліджень виділено дві групи сортів за характером реакції на осмотичний стрес. До стійкіших належали МПП Довіра, МПП Дарунок, Turkoaz, Pavlina і Т-51, які зберігали високі показники довжини й маси стебла та кореня. До чутливих – MV Lerenu, Bodysek, Fotima, Поліська 90, у яких спостерігалось істотне зниження більшості морфометричних параметрів. Встановлені генотипові відмінності підтверджують перспективність використання окремих сортів як вихідного матеріалу для селекції на підвищення посухостійкості пшениці м'якої озимої.

За результатами двофакторного дисперсійного аналізу встановлено, що вирішальний вплив на формування морфометричних показників проростків пшениці озимої мало середовище, зокрема умови з осмотичним стресом, індукованим сахарозою, тоді як генотипові особливості мали менший вплив (рис. 1).

Для довжини стебла частка впливу середовища становила 53,4 % від загального варіювання, що свідчить про істотну залежність ростових процесів надземної частини від зовнішніх умов. Вплив генотипу був помірним (19,2 %), що відображає наявність певних генетичних відмінностей між сортами за реакцією на стрес, тоді як взаємодія “середовище × генотип” становила лише 8,4 %, тобто різні сорти реагували на осмотичний стрес у схожий спосіб.

Для довжини кореня вплив середовища був ще більш вираженим – 73,5 %,

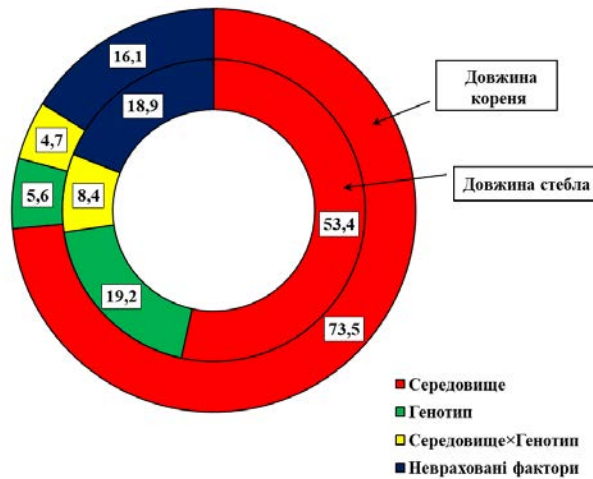


Рис. 1. Вплив (%) чинників на формування довжини стебла та кореня проростків пшениці на субстраті з сахарозою 0,67 М

що свідчить про високу чутливість кореневої системи до умов водного режиму. Частка генотипу (5,6 %) та взаємодії “середовище × генотип” (4,7 %) були незначними, що вказує на домінування абіотичних чинників у регуляції росту коренів за осмотичного стресу.

Отже, основним чинником, що визначає варіювання морфометричних показників проростків пшениці озимої, є середовище, тоді як генотипові особливості мали менший вплив.

Скринінг сортів пшениці м’якої озимої на стійкість до засолення. В ході досліджень виявлено інгібуючу дію NaCl на морфометричні показники проростків усіх генотипів порівняно з контролем. Результати свідчать, що хлорид натрію у концентрації 0,15 М по різному впливав на ріст та розвиток проростків пшениці – залежно від сорту. Дослідження морфометричних показників проростків пшениці м’якої озимої в умовах дії хлориду натрію показало істотний вплив сольового стресу на ріст і розвиток молодих рослин. Порівняно з контролем, у більшості сортів спостерігалось зниження довжини як стебла, так і кореня, що свідчить про порушення водного балансу та фізіологічних процесів у тканинах проростків. У середньому по всіх досліджуваних генотипах довжина стебла зменшилася з 31,4 см до 26,8 см, а довжина кореня – з 46,5 см до 32,2 см, що становить відповідно 88,4 % і 69,2 % від контрольного рівня. Це вказує на більш виражену чутливість кореневої системи до дії солей, оскільки вона першою зазнає впливу високої концентрації іонів у середовищі проростання (табл. 2).

Зниження співвідношення довжина кореня / довжина стебла з 1,5 у контролі до 1,2 у варіанті з NaCl підтверджує погіршення ростового балансу між підземною та надземною частинами. Під впливом сольового навантаження зменшилися також масові показники проростків. Маса стебла 10 рослин знизилася з 2,3 до 2,0 г, маса кореня – з 3,1 до 2,1 г, а співвідношення маса кореня / маса стебла скоротилося з 1,3 до 1,1, що свідчить про послаблення фізіологічної активності кореневої системи.

Таблиця 2

**Морфометричні показники проростків сортів пшениці м'якої озимої
в контролі та на субстратах з хлоридом натрію 0,15 М**

Сорт	Контроль						NaCl 0,15 М					
	ДС, см	ДК, см	ДК/ ДС	МС, г	МК, г	МК/ МС	ДС, см	ДК, см	ДК/ ДС	МС, г	МК, г	МК/ МС
Подольнка	33,1	46,4	1,4	2,5	3,5	1,4	30,6	32,4	1,1	2,3	2,2	1,0
МПП Дарунок	30,5	46,0	1,5	2,6	2,9	1,1	29,2	31,6	1,1	2,2	2,1	0,9
МПП Стефанія	29,9	44,5	1,5	2,2	3,4	1,6	25,5	30,1	1,2	2,0	1,8	0,9
МПП Паляниця	30,7	45,7	1,5	2,4	3,5	1,5	27,7	36,2	1,3	2,1	2,8	1,3
МПП Ауріка	30,4	48,9	1,6	2,5	3,7	1,5	28,4	32,1	1,1	2,1	2,2	1,0
МПП Довіра	33,2	42,5	1,3	2,5	4,0	1,6	28,4	34,1	1,2	2,1	2,4	1,1
Зорепад білоцерківський	34,5	49,2	1,4	2,5	3,5	1,4	31,0	35,9	1,2	2,3	2,6	1,1
Альбатрос одеський	30,2	62,1	2,1	2,1	3,6	1,8	27,2	38,2	1,4	2,0	2,9	1,4
Поліська 90	25,5	47,3	1,9	2,2	2,7	1,2	23,5	31,8	1,4	1,9	2,1	1,1
Анія	26,4	46,3	1,7	2,0	2,8	1,4	25,8	34,9	1,4	2,0	2,5	1,3
Афина	32,9	51,0	1,5	2,3	2,6	1,1	28,9	33,1	1,1	2,1	2,0	1,1
Turkoaz	36,1	41,7	1,2	2,6	2,9	1,1	33,2	30,7	0,9	2,4	2,1	0,9
MV Lereny	34,4	47,4	1,4	2,5	3,4	1,4	23,0	30,6	1,3	1,9	2,1	1,1
Vodysek	27,7	46,3	1,7	2,0	3,1	1,5	22,1	25,2	1,1	1,7	1,0	0,6
Manella	32,6	46,3	1,4	2,2	3,0	1,4	25,4	32,4	1,3	2,0	2,2	1,1
Pavlina	33,2	43,5	1,3	2,4	2,5	1,1	29,1	33,4	1,1	2,2	2,3	1,1
Fotima	33,5	40,4	1,2	2,4	2,6	1,1	30,4	28,6	0,9	2,2	1,4	0,6
Лан Тянь W 57-6	33,8	45,6	1,3	2,7	2,9	1,1	19,9	29,8	1,5	1,2	1,7	1,4
T-51	33,1	48,7	1,5	2,2	2,6	1,2	22,3	33,5	1,5	1,8	2,3	1,3
G95-2-1-2	26,5	39,8	1,5	2,1	2,2	1,1	24,3	28,8	1,2	1,9	1,7	0,9
Середнє	31,4	46,5	1,5	2,3	3,1	1,3	26,8	32,2	1,2	2,0	2,1	1,1
MAX	36,1	62,1	2,1	2,7	4,0	1,8	33,2	38,2	1,5	2,4	2,9	1,4
MIN	25,5	39,8	1,2	2,0	2,2	1,1	19,9	25,2	0,9	1,2	1,0	0,6
R	10,6	22,3	0,9	0,7	1,8	0,7	13,3	13,0	0,6	1,2	1,9	0,8
НІР ₀₅	3,6	5,4	-	-	-	-	3,6	5,4	-	-	-	-

Примітка: ДС – довжина стебла, ДК – довжина кореня, МС – маса 10 стебел, МК – маса 10 коренів, MAX – максимум, MIN – мінімум, R – розмах варіювання, НІР – найменша істотна різниця.

Найменше пригнічення ростових процесів зафіксовано у сортів МПП Паляниця миронівська, Зорепад білоцерківський, МПП Ауріка, Афина, Pavlina та Turkoaz, які характеризувалися відносно стабільною довжиною стебла (зменшення не перевищувало 10–15 %) і помірним скороченням довжини кореня. У цих генотипів спостерігалася збереження оптимального співвідношення між надземними і підземними органами, що свідчить про наявність адаптивних механізмів, спрямованих на підтримання ростових процесів в умовах осмотичного стресу. Такі сорти можна вважати відносно солестійкими.

Більш істотне зниження біометричних параметрів відзначено у сортів Лан Тянь W 57-6, Vodysek, G95-2-1-2, MV Lereny, для яких довжина стебла та кореня зменшилася на 25–35 %, а маса органів – майже удвічі. Це свідчить про їх підвищену чутливість до сольового навантаження.

Отримані результати засвідчили, що дія 0,15 М NaCl викликає істотне зниження ростових показників проростків пшениці, особливо за довжиною і масою кореневої системи. У середньому довжина кореня зменшилася до 69,2 %, а довжина стебла – до 88,4 % від контрольних значень. Відносно стійкими до сольового навантаження виявилися сорти МППаляниця миронівська, Зорепад білоцерківський, Афина, МППауріка, Pavlina, Turkoaz, які характеризувалися найменшим зниженням морфометричних показників. Найчутливішими до дії NaCl були сорти Лан Тянь W 57-6, Vodysek, G95-2-1-2 та MV Lereny, що свідчить про їх низьку толерантність до дії хлориду натрію.

Проведений двофакторний дисперсійний аналіз дозволив кількісно оцінити вплив різних чинників на формування довжини стебла та кореня проростків пшениці озимої за дії 0,15 М хлориду натрію.

Для довжини стебла частка впливу генотипу становила 28,7 %, середовища – 9,4 %, а взаємодії генотип × середовище – 16,4 % від загального варіювання (рис. 2). Найбільшу частину варіації (45,6 %) припадало на невраховані чинники, що свідчить про складну полігенну природу ознаки та вплив мікроеваріацій умов росту. Це означає, що за умов сольового стресу реакція генотипів на фактор середовища була диференційованою, але стебло загалом менше залежало від безпосередньої дії середовища порівняно з кореневою системою.

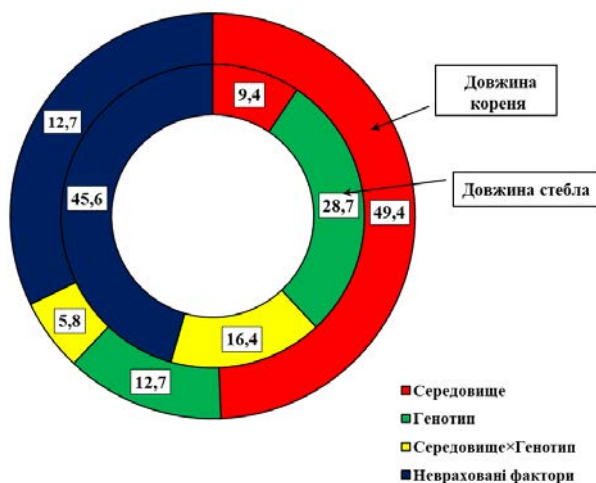


Рис. 2. Вплив (%) чинників експерименту на формування довжини стебла та кореня проростків пшениці в контролі та на субстраті з 0,15 М NaCl

Натомість для довжини кореня визначальним чинником виявилось середовище, частка якого сягала 49,4 % загального варіювання. Це свідчить, що ріст кореня значною мірою зумовлений зовнішніми умовами, зокрема осмотичним потенціалом середовища. Вплив генотипу та взаємодії генотип × середовище був нижчим – 12,7 % та 5,8 % відповідно, хоча обидва ефекти залишались достовірними. Таким чином, реакція кореневої системи на сольовий стрес мала переважно середовищну природу, тоді як ріст стебла більшою мірою визначається генетичними особливостями сортів.

Взаємозв'язок між показниками посухостійкості та солестійкості проростків пшениці м'якої озимої. Проведений кореляційний аналіз дозволив

встановити характер взаємозв'язку між морфометричними показниками проростків пшениці озимої за дії стресів різної природи – посушливого (сахароза,) і сольового (хлорид натрію).

Найвищий рівень взаємозв'язку виявлено між довжиною кореня проростків пшениці озимої за осмотичного (посушливого) та сольового стресів ($r = 0,89$) (табл. 3). Це свідчить про те, що розвиток кореневої системи є ключовим і спільним адаптивним механізмом при обох видах стресу.

Таблиця 3

Кореляція між морфометричними параметрами посухо- та солестійкості проростків пшениці м'якої озимої

Морфометричні параметри посухостійкості	Морфометричні параметри солестійкості проростків					
	ДС	ДК	ДК/ДС	МС	МК	МК/МС
ДС	0,73	–	–	–	–	–
ДК	–	0,89	–	–	–	–
ДК/ДС	–	–	0,61	–	–	–
МС	–	–	–	0,61	–	–
МК	–	–	–	–	0,55	–
МК/МС	–	–	–	–	–	0,33

Примітка: ДС – довжина стебла, ДК – довжина кореня, МС – маса 10 стебел, МК – маса 10 коренів, МАХ – максимум, МІН – мінімум, R – розмах варіювання.

Висока позитивна кореляція між довжиною стебла ($r = 0,73$) також підтверджує узгодженість ростових процесів надземної частини за різних типів несприятливих умов. Дещо нижчий, але все ж значний рівень кореляції виявлено для співвідношення довжини кореня до довжини стебла ($r = 0,61$), що свідчить про узгоджений характер ростових реакцій, спрямованих на підтримання оптимального балансу між підземною та надземною частинами рослини. Для показників маса стебел і маса коренів взаємозв'язки були також значними: $r = 0,61$ і $r = 0,55$ відповідно. Найнижча кореляція спостерігалася між співвідношенням маса кореня / маса стебла ($r = 0,35$).

Таким чином, встановлено, що стійкість до посухи та засолення у пшениці має спільну фізіолого-морфологічну основу, особливо виражену на рівні розвитку кореневої системи. Найтісніший взаємозв'язок між довжиною кореня за різних типів стресу ($r = 0,89$) підтверджує, що саме коренева система є ключовим індикатором адаптації рослин до дії абіотичних стресів, зокрема посухи та засолення, оскільки саме вона першою реагує на зміни у водно-сольовому режимі ґрунту. Тому високі коефіцієнти кореляції між показниками розвитку коренів за умов водного дефіциту та засолення свідчать, що стійкість до обох типів стресу визначається спільними адаптивними механізмами.

Подібні закономірності індивідуальної сортової реакції на осмотичний стрес виявлено і в дослідженнях В. Варавкіна та Н. Таран [21], які вивчали осморегуляторні властивості насіння пшениці озимої в умовах концентрованих розчинів сахарози. Автори показали, що за підвищеного осмотичного тиску спостерігається різна інтенсивність лінійного росту коренів залежно від сорту, тоді як пригнічення росту пагонів посилюється зі зростанням концентрації сахарози в діапазоні 14–22 атм у всіх досліджуваних генотипів. Це свідчить про високу чутливість

надземної частини проростків до осмотичного стресу та водночас про значну роль кореневої системи у формуванні адаптивної відповіді. Негативний вплив сольового стресу на проростання та ранній розвиток проростків пшениці підтверджено також у роботах М. Khayatnezhad & R. Gholamin [22], які встановили зниження водопоглинання, схожості насіння та інтенсивності ростових процесів у п'яти генотипів *Triticum aestivum* L. за дії NaCl.

Висновки. Встановлено, що осмотичний та сольовий стреси істотно пригнічували ріст проростків пшениці, що проявлялося у зменшенні довжини та маси стебла і кореня. Виділено три групи сортів, які відрізнялись здатністю до росту на субстратах із стресовими агентами та зберігали стабільні морфометричні показники: посухостійкі – МП Довіра, МП Дарунок, Turkoaz, Pavlina, T-51; солестійкі – МП Паляниця миронівська, Зорепад білоцерківський, Афіна, МП Аурика; з комплексною стійкістю – Pavlina і Turkoaz. Встановлені генотипові відмінності підтверджують перспективність використання окремих сортів як вихідного матеріалу для селекції на підвищення стійкості до абіотичних стресів пшениці озимої. За результатами дисперсійного аналізу встановлено, що вирішальний вплив на формування морфометричних показників проростків пшениці озимої переважно має середовище, зокрема умови з селективними агентами – сахарозою та хлоридом натрію. Виявлено сильний взаємозв'язок ($r = 0,89$) між довжиною кореня та сильну позитивну кореляцію ($r = 0,73$) між довжиною стебла за різних типів стресу, що може свідчити про спільність адаптаційних механізмів до стресових чинників різної природи. Експериментально підтверджено, що посухо- та солестійкість у пшениці має спільну фізіолого-морфологічну основу, а коренева система є головним показником толерантності як до осмотичного, так і до сольового стресів.

Перспективи використання результатів дослідження. Матеріали дослідження можуть бути використані для подальшого добору вихідних форм у селекційних програмах, спрямованих на підвищення посухо-, солестійкості пшениці м'якої озимої. Виявлені тісні кореляційні зв'язки між морфометричними показниками під час дії різних типів стресу свідчать про універсальність адаптаційних реакцій рослин і відкривають перспективи для інтегрованої селекції за кількома ознаками стійкості. Представлені дослідження доповняють методологію та сприятимуть розв'язанню проблеми стійкості пшениці м'якої озимої до несприятливих кліматичних чинників.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Гамаюнова В. В., Корхова М. М., Панфілова А. В., Смірнова І. В., Коваленко О. А., Хоненко Л. Г. Пшениця озима: ресурсний потенціал та технологія вирощування. Миколаїв: МНАУ, 2021. 300 с.
2. Cui J., Ding J., Deng S., Shao G., Wang W., Wang X. Wheat breeding strategies under climate change based on CERES-Wheat model. *Computers, Materials & Continua*. 2022. Vol. 72 (3). P. 6107–6118. DOI: 10.32604/cmcc.2022.027611
3. Рудавська Н. М., Беген Л. Л., Гречешнюк О. В. Вплив агротехнологічних заходів на формування окремих елементів продуктивності пшениці озимої. *Агронаука і практика*. 2025. Вип. 4. Ч. 3. С. 27–32. DOI: 10.32636/agrosience.2025-(4)-3-5
4. 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 (16). 12349. DOI: 10.3390/su151612349
5. Robles-Zazueta C. A., Crespo-Herrera L. A., Piñera-Chavez F. J., Rivera-Amado C., Aradottir G. I. Climate change impacts on crop breeding: Targeting interacting biotic and abiotic stresses for wheat improvement. *The Plant Genome*. 2024. Vol. 17 (1). e20365. DOI: 10.1002/tpg2.20365

6. 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 (6). P. 2745–2751. DOI: 10.1002/jsfa.12289
7. 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 (9). P. 1780–1792. DOI: 10.20546/ijcmas.2019.809.206
8. 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. DOI: 10.7124/FEEO.v21.805
9. Hmissi M., Chaieb M., Krouma A. Differences in the physiological indicators of seed germination and seedling establishment of durum wheat (*Triticum durum* Desf.) cultivars subjected to salinity stress. *Agronomy*. 2023. Vol. 13. 1718. DOI: 10.3390/agronomy13071718
10. Алексєєнко А. В., Адобовська М. В. Засоленість чорноземів Дунай-Дністровської зрошувальної системи. *Вісник Одеського національного університету. Географічні та геологічні науки*. 2025. Т. 30. № 2 (47). С. 82–91. DOI: 10.18524/2303-9914.2025.2(47).344747
11. Sugumar T., Shen G., Smith J., Zhang H. Creating climate-resilient crops by increasing drought, heat, and salt tolerance. *Plants*. 2024. Vol. 13 (9). 1238. DOI: 10.3390/plants13091238
12. Пикало С., Демидов О., Юрченко Т. Хоменко С., Гуменюк О., Харченко М., Прокопик Н. Методи оцінки посухостійкості селекційного матеріалу пшениці. *Вісник Львівського університету. Серія біологічна*. 2020. Вип. 82. С. 63–79. DOI: 10.30970/vlubs.2020.82.05
13. Прокопик 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). DOI: 10.31548/dopovid2019.03.004
14. Гаврилюк І. В., Ковалишина Г. М. Вплив посухи, спричиненої D-манітолом, на проростання насіння сортів пшениці м'якої озимої. *Землеробство та рослинництво: теорія і практика*. 2024. Вип. 4 (14). С. 100–110. DOI: 10.54651/agri.2024.04.12
15. Jovovic M., Govedarica-Lucic A., Tesanovic D., Tunguz V. Influence of salt and osmotic stress on germination of different wheat cultivars. *International Journal of Crop Science and Technology*. 2015. Vol. 1 (2). P. 47–53.
16. Jovovic M., Tunguz V., Miroslavljevic M., Przulj N. Effect of salinity and drought stress on germination and early seedlings growth of bread wheat (*Triticum aestivum* L.). *Genetika*. 2018. Vol. 50 (1). P. 285–298. DOI: 10.2298/GENSR1801285J
17. Čatav Š. S. Physiological responses of bread and durum wheat seeds to osmotic stress and salinity in the early germination stage. *Botanica Serbica*. 2023. Vol. 47 (2). P. 325–336. DOI: 10.2298/BOTSERB2302325C
18. Спосіб оцінювання сортозразків пшениці до дії посухи на початкових етапах органогенезу: пат. 157893 Україна: МПК А01Н1/04. № 202402382; заявл. 06.05.2024; опубл. 11.12.2024, Бюл. № 50.
19. Спосіб оцінювання солестійкості сортозразків пшениці на початкових етапах органогенезу: пат. 158664 Україна: МПК А01Н1/04. № 202403040; заявл. 10.06.2024; опубл. 05.03.2025, Бюл. № 10.
20. Chaddock R. E. Principles and methods of statistics. Boston: Houghton Mifflin Company, 1925. 471 p.
21. Варавкін В. О., Таран Н. Ю. Інтенсивність ростових процесів проростків озимої пшениці (*Triticum aestivum* L.) різної селекції за умов високого осмотичного тиску. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка*. 2014. № 4. С. 423–428.
22. Khayatnezhad M., Gholamin R. Study of NaCl salinity effect on wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars at germination stage. *American-Eurasian J. Agric. & Environ. Sci.* 2010. Vol. 9 (2). P. 128–132.

Дата першого надходження статті до видання: 01.04.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 01.05.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 22.05.2026