

СКРИНІНГ СОРТІВ ПШЕНИЦІ (*TRITICUM AESTIVUM* L.) РІЗНОГО ЕКОЛОГО-ГЕОГРАФІЧНОГО ПОХОДЖЕННЯ НА ПОСУХОСТІЙКІСТЬ

Пикало С.В., Юрченко Т.В., Харченко М.В.

Миронівський інститут пшениці імені В.М. Ремесла

Національної академії аграрних наук України

вул. Центральна, 68, 08853, с. Центральне, Миронівський р-н, Київська обл.

pykserg@ukr.net

Проведено скринінг сортів пшениці м'якої озимої, створених у різних екологічних зонах, на посухостійкість за здатністю проростати на високоосмотичних розчинах із манітолом. Стійкість до водного дефіциту 15 сортів пшениці вивчали за схожістю та морфометричними показниками проростків і головних зародкових коренів. Встановлено, що концентрація манітолу 16 атм дає змогу диференціювати сорти пшениці м'якої озимої за стійкістю до водного дефіциту. Генотипова реакція пшениці на осмотичний стрес проявлялася різним відсотком проростання насіння та неоднаковою довжиною проростків і довжиною головних зародкових коренів за дії стресового чинника. Серед проаналізованих генотипів найбільш посухостійким виявився сорт миронівської селекції Балада миронівська, у якого відсоток проростання насіння на розчинах манітолу концентраціями 16 атм і 18 атм достовірно перевищував стандарт Подолянку. Морфометричні показники пагонів і головних зародкових коренів у пророслого насіння цього сорту на розчині манітолу з осмотичним тиском 16 атм серед решти генотипів були найвищими. Відносно високою посухостійкістю також характеризувалися сорти Грація миронівська, Естафета миронівська і Горлиця миронівська. Сорти Чародійка білоцерківська, Овідій і Wenzell виявилися найчутливішими до осмотичного стресу, оскільки за селективних умов вони мали найнижчий відсоток пророслих насінин і найнижчі морфометричні показники зародкових коренів і пагонів. Показано можливість використання осмотичного розчину з манітолом як тест-системи для проведення скринінгу генотипів пшениці на стійкість до водного дефіциту. Створено новий спосіб оцінки посухостійкості сортів пшениці, який захищено патентом на корисну модель. Представлені результати досліджень сприятимуть ефективнішому використанню протестованих сортів як у рослинництві, так і в селекційній практиці. *Ключові слова:* *Triticum aestivum* L., посухостійкість, насіння, маніт, осмотичний стрес, зародкові корінці, проростки.

Screening of wheat (*Triticum aestivum* L.) varieties of different ecological and geographical for drought tolerance. Pykalo S., Yurchenko T., Kharchenko M. The screening of the winter bread wheat varieties of different ecological and geographical for drought tolerance by the ability to germinate in highly osmotic solutions with mannitol was conducted. Tolerance to water deficit of 15 wheat varieties was studied by germination and morphometric indicators of seedlings and germinal roots. Established that the concentration of 16 atm mannitol to differentiate winter bread wheat varieties for water deficit. Genotypic response of wheat to osmotic stress was expressed by different percentage of seed germination and unequal length of seedlings and germinal roots on exposure to a stress factor. Among the genotypes analyzed the most drought resistant was variety of Myronivka breeding Balada Myronivska, in which the percentage of seed germination in mannitol solutions with concentrations of 16 atm and 18 atm significantly exceeded the standard variety Podolianka. Morphometric indicators of shoots and germinal roots in the germinated seeds of this variety on mannitol solution with osmotic pressure of 16 atm among the other genotypes were highest. The varieties Graziya Myronivska, Estafeta Myronivska and Gorlytsia Myronivska also differed in relatively high drought tolerance. The varieties Charodiika bilotserkivska, Ovidii and Wenzell turned out to be the most sensitive to osmotic stress, because under selective conditions they had a lowest percentage of germinated seeds and low morphometric indicators of germinal roots and shoots. The possibility of using an osmotic solution with mannitol as a test system for screening wheat genotypes for tolerance to water deficit was shown. A new method for assessing the drought tolerance of wheat varieties is created, which was protected by a utility model patent. The presented research results will contribute to a more efficient use of the tested varieties both in crop production and in breeding practice. *Key words:* *Triticum aestivum* L., drought tolerance, seeds, mannitol, osmotic stress, germinal roots, seedlings.

Постановка проблеми. Пшениця є важливою продовольчою культурою і основним продуктом харчування у 43 країнах світу з населенням понад 1 млрд осіб [1]. Поширеність пшениці зумовлена її високою біологічною пластичністю та поживністю зерна, з якого виготовляють багато харчових продуктів [2].

Серед усіх природних чинників, які найбільш негативно впливають на фізіологічні процеси росту і розвитку рослин пшениці та призводять до зниження урожаю, є водний дефіцит, спричинений посухою [3]. Шкідлива дія посухи полягає, насамперед, у зневодненні та порушенні метаболічних про-

цесів у рослинах, що призводить до розпаду білків, зміни колоїдно-хімічного стану цитоплазми клітини і, як наслідок, до зниження кількості накопиченої рослинами органічної речовини [4]. Очікується, що з прогресуючим глобальним потеплінням клімату періодичність повторення посух із роками буде тільки посилюватися.

Актуальність дослідження. Одним із пріоритетних напрямів селекції пшениці є створення сортів, толерантних до несприятливих екологічних чинників довкілля. Ефективна селекційна робота в цьому напрямі можлива на основі знання і використання

фізіологічних механізмів, що забезпечують рослину стійкістю до несприятливих факторів зовнішнього середовища. Для прискорення селекційного процесу необхідні надійні методи оцінки зразків за конкретними ознаками стійкості до абіотичних факторів. Загалом, для тестування перспективних зразків є величезне різноманіття технологій, які мають схожі принципи роботи. Проте, на нашу думку, жодна з них не є сьогодні оптимальною, внаслідок чого актуальним залишається завдання створення нових і вдосконалення вже наявних методів оцінки селекційного матеріалу.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Представлені матеріали – частина науково-дослідної роботи «Вивчити генетичні та фізіологічні складники формування адаптивного потенціалу зернових і виділити на цій основі донори морозостійкості та посухостійкості для використання в селекції озимої м'якої пшениці» («Біотехнологія і генетика в рослинництві»), номер держреєстрації № 0116U004005.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Як відомо, оцінка посухостійкості рослин у польових умовах передбачає застосування значних матеріальних ресурсів, займає досить тривалий час і потребує відповідних умов середовища для ефективного фенотипового прояву бажаної ознаки. В останні роки для оцінки стрес-толерантності матеріалу до дії водного дефіциту поряд із прямими методами застосовують і непрямі. Вони полягають у використанні не самої стійкості до нестачі вологи, а будь-якої іншої біологічної властивості, що зумовлює високу посухостійкість, або базуються на порівнянні морфолого-фізіологічних характеристик і біохімічних показників рослин під час перенесення їх у стресові умови [5]. Сьогодні є ціла низка непрямих методів оцінки посухостійкості рослин пшениці. Наприклад, проводять реєстрацію товщини листя і визначення в них відносного вмісту води [6], гідроліз статолітного крохмалю [7], визначення інтенсивності транспірації проростків і вносу з транспіраційною вологою мінеральних іонів [8]. Крім перерахованих вище методів, також проводять вимір електроопору у верхній частині проростків за допомогою голчастих електродів [9], реєстрацію температури і електропровідності листя [10], а також оцінку ступеня виходу електролітів із тканин листя [11]. Одним із способів оцінки посухостійкості сільськогосподарських культур, зокрема пшениці, є лабораторне тестування насіння на розчинах осмотичних речовин, що імітують нестачу вологи [12; 13].

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. З урахуванням вищезазначеного нині найефективнішими є методи ранньої діагностики на насінні і проростках, оскільки вони дають змогу проводити оцінку впродовж року й аналізувати велику кількість селекційного матеріалу. Метод заснований на використанні спадкової властивості насіння про-

ростати за малої кількості вологи, а також здатності проростків розвивати сисну силу на розчинах із підвищеним осмотичним тиском. Встановлено, що висока частка пророслого насіння на субстраті з осмотиком характеризує його здатність проростати в ґрунті за дуже малих запасів вологи [14]. Тому визначення кількості пророслого насіння на розчинах із високим осмотичним тиском, які імітують умови фізіологічної посухи, дає можливість на ранніх етапах онтогенезу оцінити відносну посухостійкість рослин. У ролі осмотика, як правило, використовують високомолекулярний поліетиленгліколь або дисахарид сахарозу, однак подібними властивостями характеризується і такий шестиатомний спирт, як низькомолекулярний маніт. Слід зауважити, що порівняно з непроникаючим поліетиленгліколем маніт проникає у рослинну клітину та знижує нормальний водний потенціал, чим спричиняє зневоднення та гальмування багатьох фізіологічних і метаболічних процесів [15]. Показано [16], що поряд із сахарозою маніт має аналогічну спроможність до моделювання водного стресу, що робить його перспективним для ранньої діагностики посухостійкості сортів пшениці.

Метою роботи є скринінг сортів пшениці м'якої озимої різного еколого-географічного походження на посухостійкість на ранніх етапах онтогенезу шляхом пророщування насіння в розчинах маніту.

Методологічне або загальнонаукове значення. Результати роботи сприятимуть ефективнішому використанню досліджуваних сортів як у рослинництві, так і в селекційній практиці. Представлені дослідження спрямовані на розв'язання проблеми посухостійкості пшениці, а також орієнтовані на розвиток розуміння реакцій рослин на водний стрес і впровадження нових методів для вирішення прикладних завдань селекції пшениці. Розроблений спосіб оцінки стійкості генотипів пшениці м'якої озимої до дії водного дефіциту (патент на корисну модель № 132899 від 11 березня 2019 р. [17]) доповнить методологію та сприятиме створенню нових сортів із цінними практичними властивостями.

Виклад основного матеріалу. Матеріалом досліджень були 15 сортів пшениці м'якої озимої вітчизняної та зарубіжної селекції, серед яких сорти Миронівського інституту пшениці імені В.М. Ремесла НААН України (МІП НААН) (Балада миронівська, МІП Вишиванка, Грація миронівська, Трудівниця миронівська, Естафета миронівська, Вежа миронівська, МІП Дніпрянка, МІП Ассоль, Горлиця миронівська, Березина миронівська, Світанок миронівський), спільної селекції Інституту фізіології рослин і генетики НАН України (ІФРГ НАН) та МІП НААН (Подоланка), Білоцерківської дослідно-селекційної станції Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН (БДСС ІБКЦБ НААН) (Чародійка білоцерківська), Інституту зрошуваного землеробства НААН (ІЗЗ НААН) (Овідій) і сорт австралійської селекції (Wenzell). У досліджах використовували

насіння однієї репродукції та однакової фракції. Як стандарт використовували сорт Подолянка.

З кожного селекційного зразка відбирали насіння по 100 шт. та поміщали в підготовлені чашки Петрі з двома шарами фільтрувального паперу, які попередньо стерилізували в сушильній шафі протягом 2 год за температури 160 °С. На дно кожної чашки поміщали насіння і знезаражували шляхом обприскування розчином гіпохлориту натрію у співвідношенні 1:3. Через 30 хв заливали 10 мл розчину низькомолекулярного маніту різної молярної концентрації, що відповідала 16 і 18 атм осмотичного тиску, і пророщували в термостаті протягом 7 днів за температури 20–21 °С. Селективний розчин готували з використанням дистильованої води і маніту заданої концентрації з подальшим автоклавуванням

тривалістю 15 хв. Контроль – дистильована вода. На 7-у добу визначали такі показники: схожість, довжину головних зародкових коренів, довжину проростків. Вимірювання проводили за допомогою лінійки з точністю до 1 мм (рис. 1). Дослід проводили в триразовій повторності. Статистичну обробку отриманих даних проводили за Доспеховим [18] та за допомогою програми MS Excel.

Відсоток пророслого насіння на розчині маніту одного і того ж сорту змінювався залежно від концентрації розчину. Зі збільшенням концентрації маніту у всіх сортів спостерігалось пригнічення процесу проростання, що свідчить про токсичний вплив стресового агента. Найліпше диференціація поміж досліджуваними зразками проявлялась за осмотичного тиску 16 атм (табл. 1).

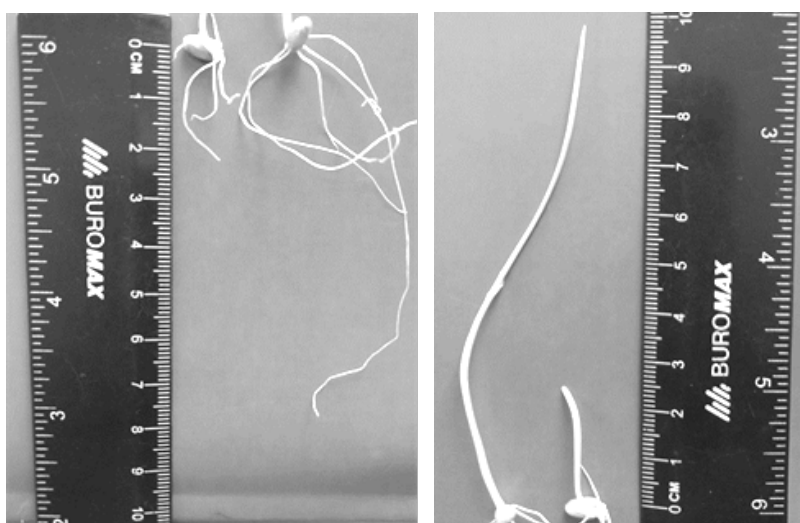


Рис. 1. Вимірювання довжини головних зародкових корінців і проростків

Таблиця 1

Частка пророслого насіння пшениці на сьому добу за різного осмотичного тиску

Сорт	Установа-оригіатор, країна	Пророслого насіння, % до контролю	
		P = 16 атм	P = 18 атм
Балада миронівська	МПП НААН, Україна	97,9±1,4*	45,4±5,1*
МПП Вишиванка	МПП НААН, Україна	64,0±4,8*	33,0±4,7
Грація миронівська	МПП НААН, Україна	85,7±3,5	29,6±4,7*
Трудовниця миронівська	МПП НААН, Україна	64,3±4,9*	22,4±4,2*
Естафета миронівська	МПП НААН, Україна	88,7±3,2	43,3±5,1*
Вежа миронівська	МПП НААН, Україна	68,0±4,8*	23,7±4,4*
МПП Дніпрянка	МПП НААН, Україна	61,5±5,0*	28,1±4,6*
МПП Ассоль	МПП НААН, Україна	63,5±4,9*	19,8±4,1*
Горлиця миронівська	МПП НААН, Україна	89,0±3,1	37,0±4,9
Берегиня миронівська	МПП НААН, Україна	69,1±4,8*	14,9±3,7*
Світанок миронівський	МПП НААН, Україна	78,7±4,2*	22,3±4,3*
Чародійка білоцерківська	БДСС ІБКЦБ НААН, Україна	59,8±5,0*	17,5±3,9*
Овідій	ІЗЗ НААН, Україна	54,1±5,1*	20,4±4,1*
Wenzell	Австралія	61,0±4,9*	24,0±4,3*
Подолянка	ІФРГ НАН, МПП НААН, Україна	85,9±3,5	34,3±4,8

Примітка: * – за критерієм Фішера різниця між стандартом Подолянка достовірна за $p \leq 0,05$

У цьому варіанті досліду використовували такий розподіл за групами: високостійкі – віднесено зразки, в яких проросло понад 70% насіння, середньостійкі – від 20 до 70%, слабостійкі – менше 20%. У результаті проведеного оцінювання сортів пшениці м'якої озимої методом пророщування насіння в розчинах маніту за осмотичного тиску 16 атм виявлено, що до групи високостійких можна віднести 40 % вивчених сортів, а решта – середньостійкі. Сортів, які можна було б віднести до слабостійких, серед досліджуваних не виявлено.

У результаті аналізу виділено сорт Балада миронівська, який за досліджуваним показником достовірно перевищував стандарт. За проростання насіння на розчині маніту 16 атм частина сортів була на рівні стандарту (Грація миронівська, Естафета миронівська, Горлиця миронівська). Решта генотипів показала нижчий відсоток пророслих насінин порівняно зі стандартом. Згідно з отриманими даними можна зробити попередній висновок, що сорт Балада миронівська є найменш осмочутливим, оскільки за селективних умов цей генотип мав найвищу частку пророслого насіння.

Концентрація маніту 18 атм виявилася значно токсичнішою, оскільки за її дії відсоток проростання насіння в досліджуваних сортів становив лише 24,0–45,4%. Найбільша частка пророслого насіння виявлена в сортів Балада миронівська (45,4%) і Естафета миронівська (43,3%), у яких цей показник

достовірно перевищував сорт-стандарт. За критерієм толерантності до осмотичного стресу найгіршими виявилися сорти Овідій і Wenzell, у яких відсоток пророслого насіння на обох варіантах досліду був найнижчим.

Вважається, що швидкість проростання та схожість насіння за селективних умов залежать не лише від посухостійкості, але і значною мірою від стану зародка і насінневих оболонки [19]. Тому, як наслідок, відбір генотипів в умовах водного дефіциту лише за схожістю насіння не завжди може давати об'єктивний результат. О.В. Бичкова та Л.П. Хлебова [20] досліджували особливості проростання насіння пшениці на розчинах сахарози з високим осмотичним тиском і виявили, що такі ознаки, як довжина головних зародкових коренів і довжина проростка, можуть вказувати на посухостійкість конкретного генотипу. Тому стійкість до водного дефіциту досліджуваних сортозразків пшениці на розчинах із манітом ми оцінювали також за вищевказаними морфометричними показниками пророслих насінин. Слід підкреслити, що за концентрації маніту 18 атм зародкові корені і пагони в досліджуваних формах майже не утворювалися, тому їх вимір проводили лише на варіантах з осмотичним тиском селективного агента 16 атм.

Як відомо, зневоднення тканин, яке виникає під час посухи, змінює хід фізіолого-біохімічних процесів, що, у свою чергу, відбивається на росто-

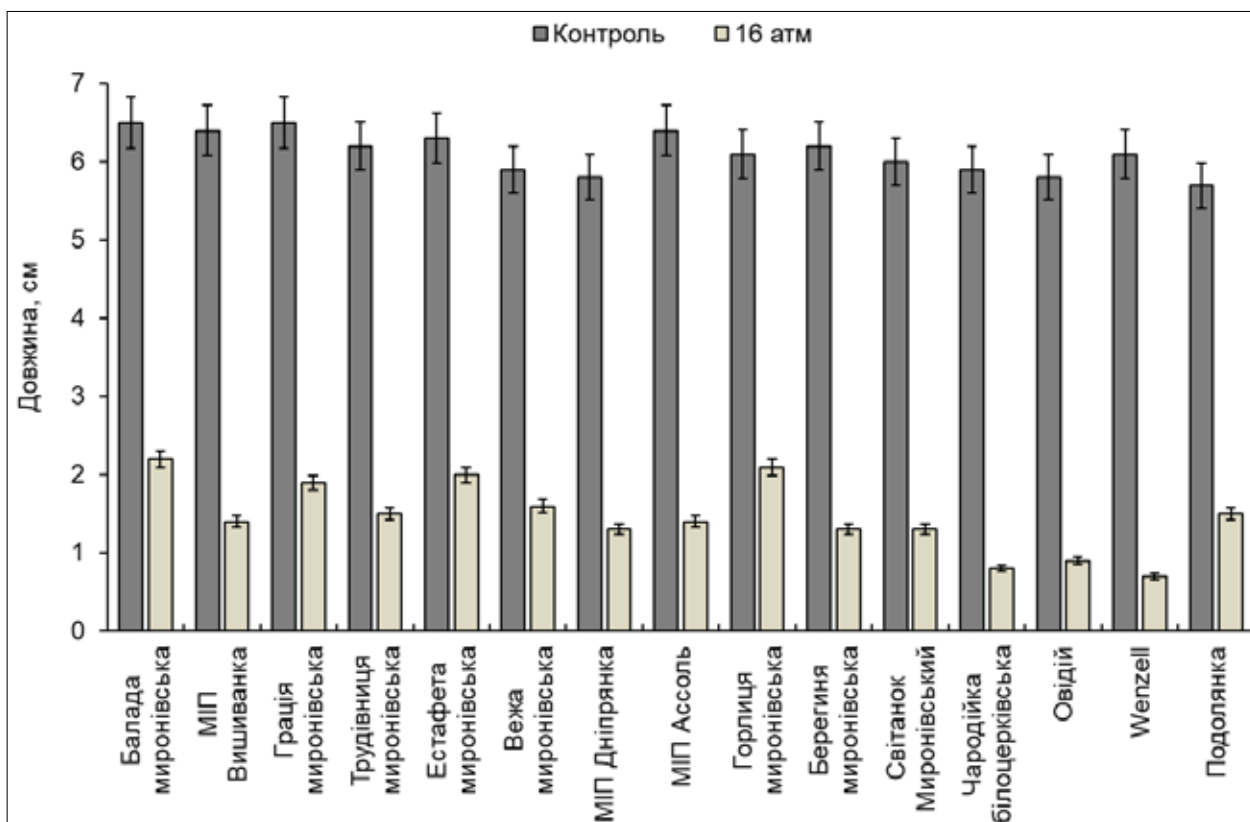


Рис. 2. Довжина головних зародкових коренів пшениці за умов осмотичного тиску 16 атм, см

вих процесах рослини [20]. В умовах осмотичного стресу довжина зародкових коренів достовірно знижувалася порівняно з контролем у всіх сортів і була у 3–8 разів нижчою залежно від сорту (рис. 2).

При цьому слід виділити сорти Балада миронівська, Грація миронівська, Естафета миронівська та Горлиця миронівська, показники довжини коренів у яких були найбільшими (2,0–2,2 см) і достовірно відрізнялися від сорту-стандарту Подолянка (1,5 см). Сорти Чародійка білоцерківська, Овідій і Wenzell, що мали найнижчий відсоток пророслого насіння, сформували зародкові корені найменшої довжини (0,7–0,9 см).

Головною причиною уповільнення росту рослин в умовах осмотичного стресу вважається ослаблення здатності коренів постачати до пагонів необхідні для їхнього росту продукти метаболізму, тобто уповільнення надходження поживних елементів із субстрату, пригнічення їх засвоєння в коренях [3]. Зокрема, підкреслюється, що пригнічення росту рослин на початку онтогенезу є наслідком гальмування надходження і перетворення окремих елементів мінерального живлення [4].

Відомо, що дія екстремальних факторів на рослини, зокрема і дефіцит вологи, суттєво знижує інтенсивність ростових процесів не лише підземної, а й надземної частини рослини [21]. Під час роботи було виявлено інгібуючу дію маніту на проростки

всіх досліджуваних генотипів, оскільки їхні морфометричні показники за умов стресу і в контролі істотно відрізнялися один від одного. Лінійні розміри проростків у контролі варіювали від 8,6 до 9,7 см (рис. 3).

Під час пророщування форм на розчині маніту максимальними лінійними розмірами проростка володіли сорти Балада миронівська (4,2 см), Естафета миронівська (4,0 см) і Горлиця миронівська (4,1 см). Незважаючи на відносно високі показники довжини проростків у контролі (8,7–8,9 см), в умовах осмотичного стресу сорти Овідій і Wenzell показали найнижчі результати (2,1 і 1,8 см відповідно).

Отже, показано, що морфометричні показники пророслого насіння за стресових умов поряд з його схожістю є також інформативними для аналізу посухостійкості досліджуваних сортів.

Головні висновки. Проведено скринінг сортів пшениці м'якої озимої, створених у різних екологічних зонах, на посухостійкість за здатністю проростати на високоосмотичних розчинах із манітом. Виявлено, що найбільш посухостійким серед проаналізованих виявився сорт миронівської селекції Балада миронівська, у якого відсоток проростання насіння на розчинах маніту концентраціями 16 і 18 атм достовірно перевищував стандарт Подолянку. Морфометричні показники пагонів і зародкових коренів у пророслого насіння цього сорту на розчині маніту з осмотичним

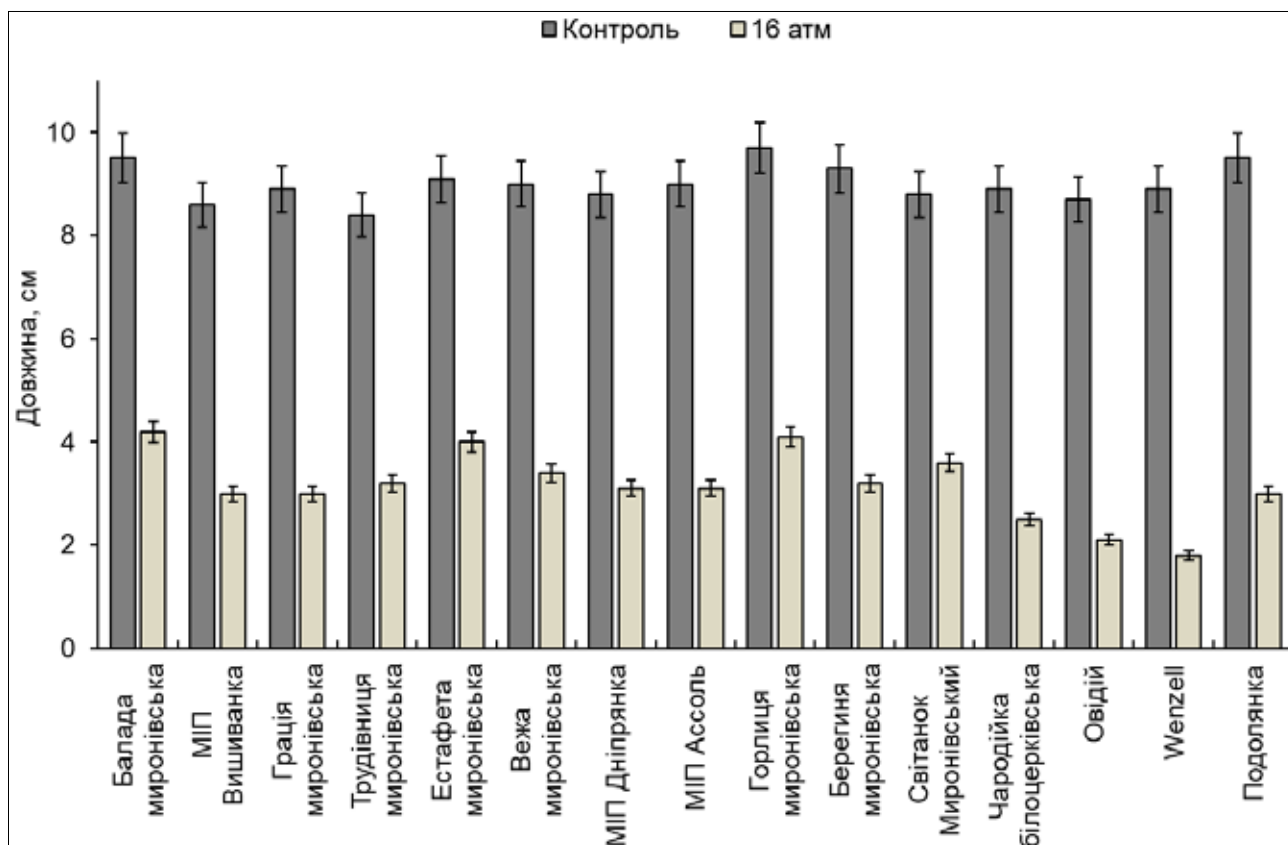


Рис. 3. Довжина проростків пшениці за умов осмотичного тиску 16 атм, см

тиском 16 атм серед решти генотипів були найвищими. Результати роботи сприятимуть ефективнішому використанню досліджуваних сортів як у рослинництві, так і в селекційній практиці. Розроблено та запатентовано новий спосіб оцінки стійкості генотипів пшениці до водного дефіциту, використання якого сприятиме прискоренню процесу створення посухостійких сортів цієї культури.

Перспективи використання результатів дослідження. Отримані результати є певним внеском у вивчення як теоретичних, так і практичних аспектів посухостійкості пшениці та можуть застосовуватися як елементи селекційних програм. Використання розробленого методу в селекції пшениці сприятиме створенню нових сортів, що мають цінні практичні властивості.

Література

1. Черенков А.В., Гасанова І.І., Солодушко М.М. Пшениця озима – розвиток та селекція культури в історичному аспекті. *Бюлетень Інституту сільського господарства степової зони*. 2014. № 6. С. 3–6.
2. Жемела Г.П., Кузнецова О.А. Вплив сортових властивостей на продуктивність та якість зерна пшениці м'якої озимої. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2012. № 3. С. 23–25.
3. Blum A. Drought resistance, water-use efficiency, and yield potential – are they compatible, dissonant, or mutually exclusive? *Australian Journal of Agricultural Research*. 2005. Vol. 56. № 11. P. 1159–1168.
4. Bartels D., Sunkar R. Drought and salt tolerance in plants. *Critical Reviews in Plant Sciences*. 2005. Vol. 24. № 1. P. 23–58.
5. Терек О.І., Яворська Н.В., Величко О.І., Ткаченко В.П. Ростові параметри та вміст індолілоцтової та абсцизової кислот у проростків сої за умов гіпо- і гіпертермії в разі дії регуляторів росту івіну та емістиму. *Вісник Львівського університету. Серія : Біологічна*. 2005. Вип. 40. С. 148–153.
6. Haley S.D., Quick J.S., Morgan J.A. Excised-leaf water stress evolution and association in field-grown winter wheat. *Canadian Journal of Plant Science*. 1993. Vol. 73. № 1. P. 55–63.
7. Генкель П.А., Баданова К.А., Левина В.В. О новом лабораторном способе диагностики жаро- и засухоустойчивости для селекции. *Физиология растений*. 1970. Т. 17. № 2. С. 431–437.
8. Тарасюк О.І., Починок В.М. Фотосинтетична активність прапорцевих листків ліній озимої м'якої пшениці, які містять рідкісні *Glu*-алелі. *Вісник Харківського національного аграрного університету. Серія : Біологія*. 2014. Вип. 3. С. 29–34.
9. Ляшок А.К., Мусич В.Н. Способы отбора устойчивых озимых и яровых растений из ярово-озимых гибридов в фитотроне. *Системы интенсивного культивирования растений* : сб. науч. тр. Ленинград, 1987. С. 125–129.
10. Никитин В.А. Быстрый способ определения электропроводности растительной ткани. *Физиология растений*. 1964. Т. 13. № 2. С. 373–376.
11. Кожушко Н.Н. Выход электролитов как критерий оценки засухоустойчивости и особенности его использования для зерновых культур. *Методы оценки устойчивости растений к неблагоприятным условиям среды* / под ред. Г.В. Удовенко. Ленинград : Колос, 1976. С. 32–42.
12. Дорофеев В.Ф., Руденко М.И., Удачин Р.А. Засухоустойчивые пшеницы (методические указания) / под ред. В.Ф. Дорофеева. Ленинград : ВИР, 1974. 186 с.
13. Олейникова Т.В., Осипов Ю.Ф. Определение засухоустойчивости сортов пшеницы и ячменя, линий и гибридов кукурузы по прорастанию семян на растворах сахарозы с высоким осмотическим давлением. *Методы оценки устойчивости растений к неблагоприятным условиям среды* / под ред. Г.В. Удовенко. Ленинград : Колос, 1976. С. 23–32.
14. Варавакин В.А., Таран Н.Ю. Диагностика засухоустойчивости сортов пшеницы разной селекции по осморегуляторным свойствам семян. *Scientific Journal "ScienceRise"*. 2014. Т. 3. № 1(3). С. 18–22.
15. Генерозова И.П., Маевская С.Н., Шугаев А.Г. Ингибирование метаболической активности митохондрий этиолированных проростков гороха, подвергнутых водному стрессу. *Физиология растений*. 2009. Т. 56. № 1. С. 45–52.
16. 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). URL: <http://journals.nubip.edu.ua/index.php/Dopovidi/article/view/12692>.
17. Спосіб оцінки генотипів пшениці м'якої озимої до дії водного дефіциту: пат. 132899 Україна: МПК А01Н 1/04. No 201811089; заявл. 09.11.2018; опубл. 11.03.2019, Бюл. № 5. 4 с.
18. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). 5-е изд, доп. и перераб. Москва : Агропромиздат, 1985. 351 с.
19. Sakmak T., Dumlupinar R., Erdal S. Acceleration of germination and early growth of wheat and bean seedlings grown under various magnetic field and osmotic conditions. *Bioelectromagnetics*. 2010. Vol. 31. № 2. P. 120–129.
20. Бычкова О.В., Хлебцова Л.П. Физиологическая оценка засухоустойчивости яровой твердой пшеницы. *Acta Biologica Sibirica*. 2015. Т. 1. № 1–2. С. 107–116.
21. Жук О.И., Григорюк И.П. Ростовая реакция проростков озимой пшеницы на температурный стресс и обработку препаратом «Димекс». *Физиология и биохимия культурных растений*. 2001. Т. 33. № 6. С. 485–489.