

ФІЗІОЛОГІЯ РОСЛИН

УДК 581.1:633.11:632.112

doi: 10.25128/2078-2357.23.1–2.9

Ю. М. ПАЛИВОДА, В. М. ГАВІЙ

Ніжинський державний університет імені Миколи Гоголя
вул. Графська, 2, Ніжин, Чернігівська область, 16600
e-mail: yulia.palivoda@gmail.com

ВПЛИВ ОБРОБКИ НАСІННЯ МЕТАБОЛІЧНО АКТИВНИМИ РЕЧОВИНАМИ НА ФОРМУВАННЯ КСЕРОМОРФНОЇ СТРУКТУРИ ЛИСТКІВ ТА ВОДНИЙ ПОТЕНЦІАЛ ПАГОНІВ ПРОРОСТКІВ ПШЕНИЦІ М'ЯКОЇ (*TRITICUM AESTIVUM* L.) ЗА УМОВ ВОДНОГО ДЕФІЦИТУ

У статті наведено порівняльну характеристику впливу метаболічно активних речовин та їх комбінацій на формування ксероморфної структури листків та водний потенціал пагонів проростків пшениці м'якої (*Triticum aestivum* L.) в умовах водного дефіциту. Встановлено, що використання метаболічно активних речовин в умовах водного дефіциту позитивно впливає на площу асиміляційної поверхні проростків та стимулює синтез хлорофілів *a* і *b* у листках пшениці. Збільшення вмісту зелених фотосинтетичних пігментів за відносно незначної площі асиміляційної поверхні є показником ксероморфної структури листків, що вказує на високу адаптаційну здатність пшениці м'якої сорту Провінціалка до умов посухи. Обробка насіння метаболічно активними речовинами сприяє накопиченню води в пагонах, що є одним із напрямів пристосування до збереження оптимального обводнення тканин в умовах водного дефіциту.

Ключові слова: пшениця м'яка, метаболічно активні речовини, ПЕГ 6000, лінійний ріст, площа асиміляційної поверхні, хлорофіл *a* та *b*.

Пшениця є однією з найважливіших сільськогосподарських культур у світі. Україна належить до країн лідерів у світовому виробництві пшениці, посівні площі якої становлять понад 22 % площ посівів усіх зернових культур. Нарощування виробництва пшениці в Україні зростає та є пріоритетним завданням. Але несприятливі умови навколишнього середовища, що зумовлені глобальними змінами клімату, призводять до зниження урожайності зернових. Одним із найгостріших екологічних факторів, який негативно впливає на фізіологічні процеси росту і розвитку пшениці та призводить до зниження урожайності, є водний дефіцит, спричинений посухою. Посуха є фізіологічною формою водного дефіциту. Ґрунтова посуха – один із головних чинників, що лімітує продуктивність сільськогосподарських культур. Недостатнє водозабезпечення гальмує фізіолого-біохімічні процеси, ріст і розвиток рослин [30]. Шкідлива дія посухи полягає у зневодненні та порушенні метаболічних процесів у рослинах, що призводить до розпаду білків, зміни стану цитоплазми клітини і, як наслідок, до зниження кількості накопиченої рослинами органічної речовини [13, 28].

Реакція рослин на дефіцит вологи є комплексною відповіддю, яка включає сприйняття рослинним організмом дії стресора та формування різних складних механізмів стійкості й адаптації [29].

Питання щодо вивчення механізмів посухостійкості пшениці м'якої (*T. aestivum*) є актуальними, оскільки вони орієнтовані на вивчення реакцій рослин на водний дефіцит та впровадження методів підвищення стійкості рослин до посухи.

Згідно з дослідженням Dencis та інші [21] невеликий розмір рослин та зменшена площа листків пов'язані із посухостійкістю. Авторами [31] з'ясовано, що першою фізіологічною реакцією рослин в умовах водного дефіциту є зменшення транспірації продирами.

Водний потенціал у тканинах рослини може підтримуватися на високому рівні за рахунок зменшення втрат води шляхом продирової транспірації.

Українські вчені, вивчаючи механізми посухостійкості рослин [11], дійшли висновку, що рослини з підвищеною посухостійкістю часто мають хромоморфні структури: менші та товстіші листки, більше епідермальних трихом, менші та щільніші продири, товстіший епідерміс кутикули, більш розвинену судинну систему тощо. Трихоми епідермісу листків зменшують транспірацію рослин в умовах інтенсивного освітлення та допомагають відбивати світло.

В умовах водного стресу спостерігаються підвищені співвідношення маси коренів і пагонів. Тривалий час зазначені параметри використовувалися як критерій для характеристики посухостійкості рослин [20].

Головною стратегією адаптації рослин до дефіциту води є підтримання водного балансу економним витрачанням води, інгібуванням росту молодих листків, скиданням частини листків для зменшення площі поверхні випаровування. З'ясовано [3], що за ранішого закривання продирих, швидше зменшуються втрати води.

Рослини використовують різні механізми для пом'якшення несприятливих наслідків посухового стресу. Актуальними є дослідження стратегій стійкості до посухи, серед яких велике значення, для підвищення посухостійкості на різних стадіях росту рослин, має застосування екзогенних регуляторів, синтетичних гормонів і сполук. Встановлено, що використання природних антиоксидантів (аскорбінова та саліцилова, гумінові кислоти, фітогормони, вітаміни тощо) здатне індукувати стійкість до абіотичних стресорів у рослин. Застосування саліцилової кислоти та α -токоферолу підвищує вміст зелених фотосинтетичних пігментів у листках в умовах посухи [18].

На сьогодні актуальною проблемою є розробка найбільш ефективних та найменш шкідливих для навколишнього середовища індукторів стійкості рослин.

Передпосівна обробка насіння пшениці фітопрепаратами на основі екстрактів з рослин, які характеризуються високим вмістом антиоксидантів, сприяє індукції адаптивних реакцій до дефіциту вологи у субстраті, морфологічних та біохімічних змін у проростків, посиленню розвитку надземних органів, покращенню показників водного режиму (зниження водного дефіциту, підвищення вмісту води та інтенсивності транспірації в листках) [22].

В умовах сьогодення у галузі рослинництва часто використовують метаболічно активні речовини, які стимулюють фізіолого-біохімічні показники зернових культур [7].

Метою роботи було дослідження впливу обробки насіння метаболічно активними речовинами на механізми формування посухостійкості проростків пшениці м'якої за умов водного дефіциту, змодельованого за допомогою ПЕГ 6000.

Матеріали та методи досліджень

Для дослідження використовували насіння пшениці м'якої (*Triticum aestivum* L.) сорту Провінціалка селекції Носівської селекційно-дослідної станції Миронівського інституту пшениці імені В. М. Ремесла НААН України. Цей сорт є одним із найбільш придатних для вирощування продовольчого зерна високої якості в зонах Лісостепу та Полісся, характеризується високою посухостійкістю (6,6–8 балів) [2]. Дослідження проводилися в навчально-науковій лабораторії з біохімічних та медико-валеологічних досліджень Ніжинського державного університету імені Миколи Гоголя. Для моделювання водного

дефіциту використовували розчин нейногенного високомолекулярного полімеру поліетиленгліколю 6000 (ПЕГ 6000) концентрацією 12 %. За дослідженнями [24, 26], зазначена концентрація ПЕГ 6000 є оптимальною для оцінки на стійкість до посухи.

Вивчення впливу метаболічно активних речовин на механізми формування посухостійкості проростків пшениці м'якої (*T. aestivum*) за тривалої дії водного дефіциту проводили в чашках Петрі, насіння пшениці замочували на 3 години у розчинах речовин та їх комбінацій. Дослідження передбачало використання таких варіантів:

1. контроль (необроблене насіння + дистильована вода);
2. обробка насіння розчином ПЕГ 6000 (12 %);
3. обробка насіння розчином вітаміну Е (10^{-8} М) – Е;
4. обробка насіння розчином убихінону-10 (10^{-8} М) – Q;
5. обробка насіння розчином метіоніну (0,001 %) – М;
6. обробка насіння розчином параоксibenзойної кислоти (ПОБК) (0,001 %) – П;
7. обробка насіння розчином $MgSO_4$ (0,001 %) – Mg;
8. обробка насіння комбінацією речовин: вітамін Е (10^{-8} М) + убихінон - 10 (10^{-8} М) – EQ;
9. обробка насіння комбінацією речовин: вітамін Е (10^{-8} М) + метіонін (0,001 %) + ПОБК (0,001 %) – ЕМП;
10. обробка насіння комбінацією речовин: вітамін Е (10^{-8} М) + метіонін (0,001 %) + ПОБК (0,001 %) + $MgSO_4$ (0,001 %) – ЕМПМg.

У зазначених концентраціях метаболічно активні сполуки виявили високу ефективність щодо впливу на фізіологічні та біохімічні показники зернових та зернобобових культур [5, 7]. Повторність дослідів чотириразова.

Оброблене насіння заливали 20 мл 12 % розчину ПЕГ 6000 і пророщували протягом 10 діб у термостаті за температури 20°C. На 7 день визначали біометричні показники проростків, на 10 день – загальний вміст хлорофілів (спектрофотометричним методом) [12].

Опрацьовували матеріал за допомогою методів математичної статистики з використанням стандартних вбудованих функцій пакета спеціалізованого програмного забезпечення MS Office Excel – 2010 (пакет «Аналіз даних»).

Результати досліджень та їх обговорення

Посухостійкість – це комплексна ознака, що контролюється цілісною системою організму і проявляється в його здатності витримувати значне зневоднення та перегрівання, зберігаючи за цих умов нормальний ріст, розвиток та відтворення. Стійкість рослин до посухи пов'язана з низкою подій на морфологічному, фізіологічному та молекулярному рівнях.

Для нормального росту і розвитку рослин необхідний баланс між надходженням та втратами води, тобто, щоб рослина підтримувала свій водний баланс без великого дефіциту. Посухостійкими рослинами вважають ті, в яких у процесі природного добору сформувалися пристосування до поглинання води (потужна коренева система), її транспорту (спеціальна провідна система) та скорочення випаровування (система покривних тканин і система саморегульованого продихового апарату). Не зважаючи на зазначені вище пристосування, у рослині часто спостерігається водний дефіцит [9].

Ученими [6, 10] з'ясовано, що запобігання висиханню рослин досягається завдяки їхнім морфологічним та анатомічним пристосуванням до збереження оптимального обводнення тканин при сухості повітря та ґрунту. Це здійснюється трьома основними напрямками:

- 1) посилення поглинання води з ґрунту завдяки збільшенню потужності кореневої системи та зниженню водного потенціалу коренів;
- 2) регулювання втрати води за допомогою ксероморфної будови листків (невелика площа листової поверхні при високому вмісті фотосинтетичних пігментів);
- 3) накопичення води та активізація її транспорту.

Основним асиміляційним органом рослин, у якому утворюються органічні речовини, що слугують структурно-енергетичним матеріалом для всього організму, є листок. За дефіциту води листки пшениці мають ксероморфну будову, яка проявляється у зменшенні площі листової поверхні та затримці процесів клітинного росту, кращому розвитку стовпчастої

паренхіми [3]. Розмір асиміляційного листкового апарату та період його активної дії є прямим показником фотосинтетичної активності рослини [14]. Фізіологічні показники площі асиміляційної поверхні проростків пшениці м'якої за пророщування в умовах уповільненого надходження води на розчині ПЕГ 6000 із попереднім замочуванням насіння у розчинах метаболічно активних сполук наведені у таблиці 1.

Таблиця 1

Площа асиміляційної поверхні проростків пшениці м'якої (*T. aestivum*) сорту Провінціалка за умов водного дефіциту, змодельованого за допомогою ПЕГ 6000 за дії метаболічно активних речовин

Варіант досліджу	Площа листкової пластинки, см ²	% до контролю
Контроль	3,38±0,18	100,0
ПЕГ 6000	2,74±0,20	81,1
ПЕГ+Е	3,03±0,18#	89,6
ПЕГ+Q	3,30±0,36#	97,6
ПЕГ+М	2,53±0,21	74,9
ПЕГ+П	3,34±0,17#	98,8
ПЕГ+Mg	3,29±0,25#	97,3
ПЕГ+EQ	3,07±0,13#	90,8
ПЕГ+ЕМП	2,89±0,14#	85,5
ПЕГ+ЕМПMg	3,15±0,14#	93,2

Примітка. # – різниця достовірна порівняно з групою рослин, насіння яких пророщували в умовах уповільненого надходження води на розчині ПЕГ (p<0,05)

Згідно отриманих результатів, асиміляційна поверхня проростків пшениці м'якої на розчині ПЕГ 6000 є найменшою. Обробка насіння метаболічно активними речовинами збільшила показники площі асиміляційної поверхні проростків. Так, за обробки насіння пшениці *T. aestivum* розчином П в умовах водного дефіциту площа асиміляційної поверхні проростків зросла на 17,7 %, за обробки розчином Q – на 16,5 %, розчином Mg – на 16,2 % порівняно з площею асиміляційної поверхні проростків, насіння яких знаходилося в умовах водного дефіциту, змодельованого за допомогою ПЕГ 6000. Висока ефективність щодо збільшення площі асиміляційної поверхні проростків пшениці в умовах посухи була виявлена також за використання комбінації ЕМПMg.

Фотосинтетична система дуже чутлива до несприятливих факторів навколишнього середовища і стрес від посухи призводить до пошкодження реакційних центрів [25]. Концентрація хлорофілу вважається чутливим індикатором стану рослини і стійкості її до водного стресу. Учені Ірану та Азербайджану довели, що існує тісна взаємодія між генотипами та водним дефіцитом на вміст хлорофілу у різних сортів твердої пшениці [34]. Згідно їх досліджень вміст хлорофілу під час водного дефіциту підвищується у сортів, які мають високий індекс посухостійкості, і зменшується у нестійких сортів. Це пояснюється вищим рівнем антиоксидантів у посухостійких сортів пшениці та більшою стійкістю молекул хлорофілу до окисного пошкодження. У дослідженнях, де вивчали наслідки м'якої і помірної посухи, було показано незмінність вмісту хлорофілів [23]. У працях І.Г. Шматька та співавторів [15] показано, що за умов водного дефіциту посухостійкі сорти озимої пшениці характеризувалися стійкою пігментною системою порівняно із нестійкими сортами. На вміст фотосинтетичних пігментів та інтенсивність фотосинтезу в пшениці істотно впливають елементи мінерального живлення. Їх дефіцит призводить до зниження кількості пігментів у листкових пластинках рослин [8].

Результати дослідження впливу метаболічно активних речовин на вміст хлорофілу в листках проростків пшениці в умовах водного дефіциту представлено у таблиці 2.

Вміст суми хлорофілів *a* і *b* у тканинах листків проростків пшениці м'якої сорту Провінціалка в умовах водного дефіциту, змодельованого за допомогою ПЕГ 6000 за дії метаболічно активних речовин

Варіант досліду	Хлорофіл <i>a+b</i>	
	мг/г	% до контролю
Контроль	0,97±0,05	100,0
ПЕГ 6000	1,09±0,04	112,4
ПЕГ+Е	1,09±0,04	112,4
ПЕГ+Q	1,23±0,07#	126,8
ПЕГ+М	1,20±0,15#	123,7
ПЕГ+П	1,09±0,03	112,4
ПЕГ+Mg	0,99±0,05	102,1
ПЕГ+EQ	1,24±0,05#	127,8
ПЕГ+ЕМП	0,96±0,06	99,0
ПЕГ+ЕМПМg	1,17±0,07#	120,6

Примітка. # – різниця достовірна порівняно з групою рослин, насіння яких пророщували в умовах уповільненого надходження води на розчині ПЕГ ($p < 0,05$)

Згідно отриманих результатів, обробка насіння пшениці комбінацією EQ збільшила показник суми хлорофілів *a* і *b* у листках на 27,8 % порівняно з контролем і на 15,4 % порівняно з проростками, насіння яких знаходилося в умовах посухи. Висока ефективність щодо вмісту суми хлорофілів *a* і *b* в листках проростків пшениці в умовах посухи була відмічена також при використанні таких метаболічно активних речовин, як Q та M та комбінації ЕМПМg. Площа асиміляційної поверхні проростків пшениці м'якої зазначених груп рослин є меншою порівняно з показниками контролю.

Отже, збільшення вмісту зелених фотосинтетичних пігментів за обробки насіння пшениці комбінацією EQ, ЕМПМg та метаболічно активними речовинами Q та M відносно незначної площі асиміляційної поверхні є показником ксероморфної структури листків, що вказує на високу адаптаційну здатність пшениці м'якої сорту Провінціалка до умов посухи та застосування одного з механізмів стійкості до посухи.

Важливою фізіологічною характеристикою, яка впливає на водний потенціал листків та швидкість транспірації, є відносний вміст води у тканинах рослини. Цей показник вважається маркером водного стану рослин, який регулює метаболічну активність у тканинах. Вміст і стан води у клітинах впливає на структуру протоплазми й адсорбційні процеси. У стресових умовах у проростків пшениці спостерігали зневоднення тканин листків та збільшення водного дефіциту. Ученими з'ясовано, що стійкі до посухи рослини економніше витрачають воду на формування сухої речовини, ніж нестійкі. Це спостерігається як в умовах достатнього, так і недостатнього водозабезпечення [4]. Більш стійкі до посухи рослини здатні запасати воду та більш економно її витратити. У рослинних організмів є декілька адаптивних стратегій, які вони використовують у засушливі періоди. Однією з них є накопичення води у тканинах, за рахунок цього підтримується необхідна гідратація клітин і органів.

У змодельованих умовах посухи у проростків пшениці спостерігали зневоднення тканин проростків (табл. 3).

Упродовж дослідження впливу метаболічно активних речовин на вміст води в проростках *T. aestivum* було з'ясовано, що зазначений показник у тканинах пагону був меншим у варіанті ПЕГ 6000 у порівнянні з контролем на 5,1 %, тобто в умовах уповільненого надходження води. Попереднє замочування насіння пшениці в розчинах Е, М, ЕМПМg пом'якшує інгібуючий вплив змодельованого водного дефіциту. У порівнянні з ПЕГ 6000 найбільш ефективно стимулює накопичення води у тканинах пагону (на 1,1 %) комбінація ЕМПМg.

Вміст води у тканинах проростків пшениці м'якої сорту Провінціалка в умовах водного дефіциту, змодельованого за допомогою ПЕГ 6000 за дії метаболічно активних речовин

Варіант досліджу	Вміст води у тканинах пагонів	
	%	% до контролю
Контроль	88,54±0,36	100,0
ПЕГ 6000	84,02±0,29	94,9
ПЕГ+Е	84,07±0,43#	95,0
ПЕГ+Q	82,34±0,31	93,0
ПЕГ+М	84,44±0,31#	95,4
ПЕГ+П	82,72±0,52	93,4
ПЕГ+Mg	83,15±0,27	93,9
ПЕГ+EQ	82,19±0,43	92,8
ПЕГ+ЕМП	81,57±0,44	92,1
ПЕГ+ЕМПМg	84,91±0,21#	96,0

Примітка. # – різниця достовірна порівняно з групою рослин, насіння яких пророщували в умовах уповільненого надходження води на розчині ПЕГ ($p < 0,05$)

Отже, рослини здатні підтримувати фізіологічні процеси в умовах легкого або помірного стресу від посухи шляхом коригування певних морфологічних структур, щоб уникнути негативних наслідків стресу від посухи. Попередня обробка насіння метаболічно активними речовинами пшениці м'якої виявила чіткий стимулювальний ефект на окремі механізми формування посухостійкості.

Вплив попередньої обробки насіння досліджуваними метаболічно активними речовинами на процеси формування посухостійкості можна пояснити ефективністю речовин та їх комбінацій. Так, вітамін Е (токоферол) є сильним антиоксидантом, який координовано працює з іншими антиоксидантами та взаємодіє з фітогормонами (етиленом, абсцизовою і саліциловою кислотами та ін.) [17, 32]. Сполука α -токоферолу захищає фотосинтетичний механізм від фотозбудження [33].

Убіхінон в організмі рослин бере участь в обмінних процесах, виявляє антиоксидантну дію і захищає мембрани клітин від руйнівного впливу активних форм кисню, що накопичуються в умовах водного дефіциту [27]. Убіхінон виступає в якості ефективного імуностимулятора. Це пов'язано з тим, що однією із найважливіших функцій убіхінону–10 є транспорт електронів у дихальному ланцюзі під час фотосинтезу. Разом із пластохіноном він є складовою хімічних реакцій фотофосфорилування та окислювального фосфорилування відповідно в тилакоїдах хлоропластів та на внутрішній мембрані мітохондрій.

Метіонін виконує важливу роль у життєдіяльності рослин як амінокислота, що здатна підтримувати нормальне функціонування органів і систем у разі виникнення посухи. Метіонін є попередником синтезу гормонів росту, впливає на роботу синтезуючого апарату, регулює відкриття продихів, бере участь у регуляції метаболізму, визначаючи ефективність роботи фітогормонів. Метіонін може слугувати донором метильних груп та сульфору, що є необхідними у біосинтезі білків, бере участь в обміні води в рослинному організмі [1].

Параоксибензойна кислота виконує в клітині функцію сигнальних молекул при формуванні захисних реакцій, регулює активність комплексу антиоксидантних ферментів. Обробка насіння параоксибензойною кислотою сприяє підвищенню стійкості рослин до посухи [19].

Сульфат магнію як мінеральне добриво містить у своєму складі елементи, які є невід'ємною складовою фізіологічних процесів у всіх рослинах. $MgSO_4$ – це джерело іонів Mg^{2+} , що підтримують осмотичний потенціал клітин. Магній виконує важливу роль у фотосинтезі, оскільки входить до складу молекули хлорофілу, пектинових речовин, бере участь у синтезі білків, переміщенні фосфору, активізує ферменти. Сульфур регулює ріст і розвиток рослини, впливає на синтез білків, ферментів, окисно-відновні процеси клітини, підвищує стійкість до посухи [16].

Поєднана дія вищезазначених метаболічно активних речовин у складі композиції ЕПММg виконує функцію стимулятора росту рослин, а також індуктора захисних реакцій. Метаболічно активні речовини, що входять до складу комбінації, підсилюють дію один одного та найефективніше активують механізми формування посухостійкості.

Висновки

Використання метаболічно активних речовин в умовах посухи сприяло оптимізації формування механізмів посухостійкості пшениці м'якої сорту Провінціалка.

Досліджувані метаболічно активні речовини статистично достовірно впливали на показники площі асиміляційної поверхні проростків насіння пшениці. Найвищу стимулюючу дію виявлено за обробки насіння пшениці розчинами П, Q, Mg та комбінацією ЕМПМg.

Досліджувані комбінації метаболічно активних речовин стимулювали синтез хлорофілів *a* і *b* у листках пшениці в умовах водного дефіциту. Попередня обробка насіння розчинами Q, M та комбінацією EQ сприяє максимальній реалізації фотосинтетичної продуктивності в умовах дефіциту вологи за рахунок посилення ксероморфної будови листків.

Досліджувані комбінації метаболічно активних речовин стимулювали обводнення тканин надземних органів рослин пшениці. Найвищі показники вмісту води виявлено за обробки насіння комбінацією ЕМПМg.

Обробка насіння метаболічно активними речовинами сприяє підвищенню посухостійкості пшениці м'якої, тому подальше вивчення їх впливу на зернові культури в умовах посухи є перспективним напрямком досліджень.

Передпосівна обробка насіння метаболічно активними речовинами може бути використана як елементи технології за вирощування зернових культур в умовах водного дефіциту.

1. Августинович М., Чумак А. Амінокислоти у добривах для позакореневого живлення та їх застосування. URL: <https://makosh-group.com.ua/blog/aminokisloti-u-dobrivah-dlya-pozakorenevo-go-zhivlennya-ta-yih-zastosuvannya/>. (дата звернення: 29.06.2020).
2. Державний реєстр сортів рослин, придатних для поширення в Україні на 2022 рік. [Чинний від 2022-09-08]. Вид. офіц. Київ, 2022. 332 с.
3. Жук О. І. Формування адаптивної відповіді рослин на дефіцит води. *Фізіологія і біохімія культурних рослин*. 2011. Т. 43, № 1. С. 26–37.
4. Заіменко Н. В., Дідик Н. П., Дзюба О. І., Закрасов О. В., Росіцька Н. В., Вітер А. В. Індукція захисних реакцій на посуху у рослин кукурудзи анальцимом за різних зволоженості й типу ґрунту. *Фізіологія і біохімія культурних рослин*. 2013. Т. 45, № 1. С. 35–44.
5. Козючко А. Г., Гавій В. М., Кучменко О. Б. Вплив передпосівної обробки насіння метаболічно активними речовинами на окремі фізіологічні показники сої сорту Аннушка та її продуктивність. *Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка. Сер. Біологія*. Тернопіль, 2020. № 1–2 (79). С. 84–90. DOI: <http://doi.org/10.25128/2078-2357.20.1-2.12>.
6. Колодка А. В., Твердохліб О. В. Механізм посухостійкості у рослин. П'ята міжнародна конференція молодих учених: *Харківський природничий форум (19–20 трав. 2022 р., м. Харків)*: збірник тез. Харків : ХНПУ імені Г. С. Сковороди, 2022. С. 50–54.
7. Куриленко А. О., Куриленко О. В., Кучменко О. Б., Гавій В. М. Вплив передпосівної обробки насіння композиціями метаболічно активних речовин на морфометричні показники сортів жита озимого Синтетик 38 та Забава на різних етапах онтогенезу. *Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія: Агрономія та біологія*. 2021. Т. 46, № 4. С. 25–32. DOI: <http://doi.org/10.32845/agrobio.2021.4.4>.
8. Мальцева Н. М., Гаєвський А. П., Дерев'янюк К. Ю. Вплив біологічно активних речовин та їх композицій на вміст фотосинтетичних пігментів у листках озимої пшениці в умовах дефіциту фосфору. *Фізіологія і біохімія культурних рослин*. 2011. Т. 43, № 5. С. 403–411.
9. Машевська А. С., Єрмейчук Т. М. Фізіологія та біохімія рослин: матеріали для опрацювання теми «Водний режим рослин» з курсу «Фізіологія та біохімія рослин» для студентів II та III курсів денної та заочної форми навчання спеціальності «Біологія» біологічного факультету. Луцьк : Вежа-Друк, 2015. 40 с.
10. Москалець Т. З., Рибальченко В. К. Морфо-фізіологічні та молекулярно-генетичні ознаки ксероморфності *Triticum aestivum* L. *Біологічні системи*. 2015. Т. 7. Вип. 1. С. 45–52.

11. Орлюк А. П., Усик Л. О. Морфологічні і фізіолого-біохімічні показники посухостійкості *Triticum aestivum* L. *Чорноморський ботанічний журнал*. 2005. № 1. С. 90–98.
12. Основи наукових досліджень в агрономії: підручник / В. О. Єщенко, П. Г. Копитко, П. В. Костогрив, В. П. Опришко. Вінниця : ПП «ТД «Едельвейс і К»», 2014. 332 с.
13. Хоменко С. О. Посухостійкість та елементи продуктивності колекційних зразків пшениці м'якої ярої в умовах Лісостепу України. *Миронівський вісник*. 2017. Вип. 4. С. 79–87.
14. Шадчина Т. М., Гуляев Б. І., Кірізій Д. А. та ін. Регуляція фотосинтезу і продуктивність рослин: фізіологічні та екологічні аспекти. Київ : Фітосоціоцентр, 2006. 384 с.
15. Шматько І. Г., Григорюк І. П., Шведова О. Є. Стійкість рослин до водного і температурного стресів. Київ : Наукова думка, 1989. 224 с.
16. Abid M., Haddad M., Ferchichi A. Effect of magnesium sulphate on the first stage of development of Lucerne. *Options Méditerranéennes: Série A*. 2008. Vol. 79. P. 405–408.
17. Ali Q., Tariq Javed M., Haider M., Habib N., Rizwan M., Perveen R., Ali S., Nasser Alyemeni M., El-Serehy H., Al-Misned, F. α -Tocopherol foliar spray and translocation mediates growth, photosynthetic pigments, nutrient uptake, and oxidative defense in Maize (*Zea mays* L.) under drought stress. *Agronomy*. 2020. Vol. 10, No. 9. P. 1235. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy10091235>.
18. Ansari O., Azadi M., Sharif-Zadeh F., Younesi E. Effect of Hormone Priming on Germination Characteristics and Enzyme Activity of Mountain Rye (*Secale montanum*) Seeds under Drought Stress Conditions. *Journal of Stress Physiology & Biochemistry*. 2013. Vol. 9, No. 3. P. 61–71.
19. Barkosky R. R., Einhellig F. A. Allelopathic interference of plant water relationships by para-hydroxybenzoic acid. *Botanical Bulletin of Academia Sinica*. 2003. Vol. 44. P. 53–58.
20. Bychkova O. V., Khlebova L. P. Physiological assessment of drought resistance in spring Durum wheat. *Acta Biologica Sibirica*, Vol. 1, № 1–2. P. 107–116. DOI: <http://doi.org/10.14258/abs.v1i1-2.853>.
21. Dencic S., Kastori R., Kobiljski B., Duggan B. Evaluation of grain yield and its components in wheat cultivars and landraces under near optimal and drought conditions. *Euphytica*, 2000. 113 (1). P. 43–52. DOI: <http://doi.org/10.1023/A:1003997700865>.
22. Didyk N. P., Zakrasov O. V., Kharchenko I. L. Induction of adaptation to drought in wheat by allelochemicals of some species of *Camellia* L. genus. *Plant Introduction*, 2011. Vol. 52. P. 72–77. DOI: <http://doi.org/10.5281/zenodo.2544360>.
23. Flexas J., Medrano H. Energy dissipation in C3 plants under drought. *Functional Plant Biology*, 29 (10). P. 1209–1215. DOI: <https://doi.org/10.1071/FP02015>.
24. Jia P., Melnyk A., Zhang Z., Butenko S. Kolosok V. Effects of seed pre-treatment with plant growth compound regulators on seedling growth under drought stress. *Agrarteadus: Journal of Agricultural Science*, 2021. Vol. 32, № 2. P. 251–256. DOI: <http://doi.org/10.15159/jas.21.35>.
25. Khayatnezhad M., Gholamin R. The effect of drought stress on leaf chlorophyll content and stress resistance in maize cultivars (*Zea mays*). *African Journal of Microbiology Research*, 2012. Vol. 6 (12): P. 2844–2848. DOI: <https://doi.org/10.5897/AJMR11.964>.
26. Kolesnikov M., Gerasko T., Paschenko Yu., Pokoptseva L., Onyschenko O., Kolesnikova A. Effect of water deficit on maize seeds (*Zea mays* L.) during germination. *Agronomy Research*, 2023. Vol. 21, № 1. P. 156–174. DOI: <http://doi.org/10.15159/AR.23.016>
27. Liu M, Lu S. Plastoquinone and Ubiquinone in Plants: Biosynthesis, Physiological Function and Metabolic Engineering. *Front Plant Sci*. 2016. Vol. 7. P. 1898. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.01898>.
28. Nehal N., Sharma N., Singh M., Singh P., Rajpoot P., Kumar Pandey A., Khan A. H., Singh A. K., Yadav R. K. Effect of plant growth regulators on growth, biochemical and yield of Indianmustard [Brassica juncea] under drought stress condition. *Plant Archives*, 2017. 17 (1). P. 580–584.
29. Oguz M., Aycan M., Oguz E., Poyraz I., Yildiz, M. Drought Stress Tolerance in Plants: Interplay of Molecular, Biochemical and Physiological Responses in Important Development Stages. *Physiologia*, 2022. 2 (4). P. 180–197. DOI: <http://doi.org/10.3390/physiologia2040015>.
30. Oo A. T., van Huynenbroeck G., Speelman, S. Measuring the Economic Impact of Climate Change on Crop Production in the Dry Zone of Myanmar: A Ricardian Approach. *Climate*, 2020. 8 (1), 9. DOI: <https://doi.org/10.3390/cli8010009>.
31. Rizza F., Badeck F. W., Cattivelli L., Lidestri O., N. di Fonzo, Stanca A. M. Use of a water stress index to identify barley genotypes adapted to rainfed and irrigated conditions. *Crop Science*, 2004. Vol. 44, Is. 6. P. 2127–2137. DOI: <http://doi.org/10.2135/cropsci2004.2127>.
32. Sattler S., Gilliland L., Magallanes-Lundback M., Pollard M., DellaPenna D. Vitamin E is essential for seed longevity and for preventing lipid peroxidation during germination. *Plant Cell*, 2004. 16 (6). P.1419–32. DOI: <https://doi.org/10.1105/tpc.021360>.

33. Sharma P., Jha A. B., Dubey R. S., Pessarakli M. Reactive oxygen species, oxidative damage, and antioxidative defense mechanism in plants under stressful conditions. *Journal of Botany*, 2012. P. 1–26. DOI: <https://doi.org/10.1155/2012/217037>.
34. Zaefyzadeh M., Quliyev R. A., Babayeva S. M., Abbasov M. A. The effect of the interaction between genotypes and drought stress on the superoxide dismutase and chlorophyll content in durum wheat landraces. *Turk J Biol*, 2009. Vol. 33. P. 1–7. DOI: <https://doi.org/10.3906/biy-0801-12>.

References

1. Avhustynovych M., Chumak A. Aminokysloty u dobryvakh dlia pozakorenevoho zhyvlennia ta yikh zastosuvannia. URL: <https://makosh-group.com.ua/blog/aminokislotti-u-dobrivah-dlya-pozakorenevo-go-zhyvlennia-ta-yih-zastosuvannia/>. (data zvernennia: 29.06 2020). [in Ukrainian]
2. Derzhavnyi reiestr sortiv roslyn, prydatnykh dlia poshyrennia v Ukraini na 2022 rik. [Chynnyi vid 2022-09-08]. Vyd. ofits. Kyiv, 2022. 332 s. [in Ukrainian]
3. Zhuk O. I. Formuvannia adaptyvnoi vidpovidy roslyn na defitsyt vody. *Fiziolohiia i biokhimiia kulturnykh roslyn*. 2011. T. 43, № 1. S. 26–37. [in Ukrainian]
4. Zaimenko N. V., Didyk N. P., Dziuba O. I., Zakrasov O. V., Rositska N. V., Viter A. V. Induktsiia zakhysnykh reaktiv na posukhu u roslyn kukurudzy analitsymom za riznykh zvolozhenosti y typu gruntu. *Fiziolohiia i biokhimiia kulturnykh roslyn*. 2013. T. 45, № 1. S. 35–44. [in Ukrainian]
5. Koziuchko A. H., Havii V. M., Kuchmenko O. B. Vplyv peredposivnoi obrobky nasinnia metabolichno aktyvnymy rehovynamy na okremi fiziolohichni pokaznyky soi sortu Annushka ta yii produktyvnist. *Naukovi zapysky Ternopil'skoho natsionalnoho pedahohichnoho universytetu imeni Volodymyra Hnatiuka. Ser. Biolohiia*, 2020. № 1–2 (79). S. 84–90. DOI: <http://doi.org/10.25128/2078-2357.20.1-2.12>. [in Ukrainian]
6. Kolodka A. V., Tverdokhlib O. V. Mekhanizm posukhostiikosti u roslyn. Piata mizhnarodna konferentsiia molodykh uchenykh: *Kharkivskiy pryrodnychiy forum* (19–20 trav. 2022 r., m. Kharkiv): zbirnyk tez. Kharkiv : KhNPU imeni H. S. Skovorody, 2022. S. 50–54. [in Ukrainian]
7. Kurylenko A. O., Kurylenko O. V., Kuchmenko O. B., Havii V. M. Vplyv peredposivnoi obrobky nasinnia kompozytsiinykh metabolichno aktyvnykh rehovyn na morfometrychni pokaznyky sortiv zhyta ozymoho Syntetyk 38 ta Zabava na riznykh etapakh ontogenezu. *Visnyk Sum'skoho natsionalnoho ahrarnoho universytetu. Seriya: Ahronomiia ta biolohiia*. 2021. T. 46, № 4. S. 25–32. DOI: <http://doi.org/10.32845/agrobio.2021.4.4>. [in Ukrainian]
8. Maltseva N. M., Haievskiy A. P., Derevianko K. Iu. Vplyv biolohichno aktyvnykh rehovyn ta yikh kompozytsii na vmist fotosyntetychnykh pihmentiv u lystkakh ozymoi pshenytsi v umovakh defitsytu fosforu. *Fiziolohiia i biokhimiia kulturnykh roslyn*. 2011. T. 43, № 5. S. 403–411. [in Ukrainian]
9. Mashevska A. S., Yermeychuk T. M. Fiziolohiia ta biokhimiia roslyn: materialy dlia opratsiuvannia temy «Vodnyi rezhym roslyn» z kursu «Fiziolohiia ta biokhimiia roslyn» dlia studentiv II ta III kursiv dennoi ta zaochnoi formy navchannia spetsialnosti «Biolohiia» biolohichnoho fakultetu. Lutsk : Vezha-Druk, 2015. 40 s. [in Ukrainian]
10. Moskalets T. Z., Rybalchenko V. K. Morfo-fiziolohichni ta molekuliarno-henetychni oznaky kseromorfnosti *Triticum aestivum* L. *Biolohichni systemy*. 2015. T. 7. Vyp. 1. S. 45–52. [in Ukrainian]
11. Orliuk A. P., Usyk L. O. Morfolohichni i fizioloho-biokhimichni pokaznyky posukhostiikosti *Triticum aestivum* L. *Chornomorskiy botanichnyi zhurnal*. 2005. № 1. S. 90–98. [in Ukrainian]
12. Osnovy naukovykh doslidzhen v ahronomii: pidruchnyk / V. O. Yeshchenko, P. H. Kopytko, P. V. Kostohryz, V. P. Opryshko. Vinnytsia : PP «TD «Edelweis i K»», 2014. 332 s. [in Ukrainian]
13. Khomenko S. O. Posukhostiikist ta elementy produktyvnosti kolektsiinykh zrazkiv pshenytsi miakoi yaroj v umovakh Lisostepu Ukrainy. *Myronivskiy visnyk*. 2017. Vyp. 4. S. 79–87. [in Ukrainian]
14. Shadchyna T. M., Huliaiev B. I., Kirizii D. A. ta in. Rehuliatsiia fotosintezy i produktyvnist roslyn: fiziolohichni ta ekolohichni aspekty. Kyiv : Fitosotsiotsentr, 2006. 384 s. [in Ukrainian]
15. Shmatko I. H., Hryhoriuk I. P., Shvedova O. Ie. Stiikist roslyn do vodnoho i temperaturnoho stresiv. Kyiv : Naukova dumka, 1989. 224 s. [in Ukrainian]
16. Abid M., Haddad M., Ferchichi A. Effect of magnesium sulphate on the first stage of development of Lucerne. *Options Méditerranéennes: Série A*. 2008. Vol. 79. P. 405–408.
17. Ali Q., Tariq Javed M., Haider M., Habib N., Rizwan M., Perveen R., Ali S., Nasser Alyemini M., El-Serehy H., Al-Misned, F. α -Tocopherol foliar spray and translocation mediates growth, photosynthetic pigments, nutrient uptake, and oxidative defense in Maize (*Zea mays* L.) under drought stress. *Agronomy*. 2020. Vol. 10, No. 9. P. 1235. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy10091235>.
18. Ansari O., Azadi M., Sharif-Zadeh F., Younesi E. Effect of Hormone Priming on Germination Characteristics and Enzyme Activity of Mountain Rye (*Secale montanum*) Seeds under Drought Stress Conditions. *Journal of Stress Physiology & Biochemistry*. 2013. Vol. 9, No. 3. P. 61–71.

19. Barkosky R. R., Einhellig F. A. Allelopathic interference of plant water relationships by para-hydroxybenzoic acid. *Botanical Bulletin of Academia Sinica*. 2003. Vol. 44. P. 53–58.
20. Bychkova O. V., Khlebova L. P. Physiological assessment of drought resistance in spring Durum wheat. *Acta Biologica Sibirica*, Vol. 1, № 1–2. P. 107–116. DOI: <http://doi.org/10.14258/abs.v1i1-2.853>.
21. Dencic S., Kastori R., Kobiljski B., Duggan B. Evaluation of grain yield and its components in wheat cultivars and landraces under near optimal and drought conditions. *Euphytica*, 2000. 113 (1). P. 43–52. DOI: <http://doi.org/10.1023/A:1003997700865>.
22. Didyk N. P., Zakrasov O. V., Kharchenko I. L. Induction of adaptation to drought in wheat by allelochemicals of some species of *Camellia* L. genus. *Plant Introduction*, 2011. Vol. 52. P. 72–77. DOI: <http://doi.org/10.5281/zenodo.2544360>.
23. Flexas J., Medrano H. Energy dissipation in C3 plants under drought. *Functional Plant Biology*, 29 (10). P. 1209–1215. DOI: <https://doi.org/10.1071/FP02015>.
24. Jia P., Melnyk A., Zhang Z., Butenko S. Kolosok V. Effects of seed pre-treatment with plant growth compound regulators on seedling growth under drought stress. *Agraarteadus: Journal of Agricultural Science*, 2021. Vol. 32, № 2. P. 251–256. DOI: <http://doi.org/10.15159/jas.21.35>.
25. Khayatnezhad M., Gholamin R. The effect of drought stress on leaf chlorophyll content and stress resistance in maize cultivars (*Zea mays*). *African Journal of Microbiology Research*, 2012. Vol. 6 (12): P. 2844–2848. DOI: <https://doi.org/10.5897/AJMR11.964>.
26. Kolesnikov M., Gerasko T., Paschenko Yu., Pokoptseva L., Onyschenko O., Kolesnikova A. Effect of water deficit on maize seeds (*Zea mays* L.) during germination. *Agronomy Research*, 2023. Vol. 21, № 1. P. 156–174. DOI: <http://doi.org/10.15159/AR.23.016>
27. Liu M, Lu S. Plastoquinone and Ubiquinone in Plants: Biosynthesis, Physiological Function and Metabolic Engineering. *Front Plant Sci*. 2016. Vol. 7. P. 1898. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.01898>.
28. Nehal N., Sharma N., Singh M., Singh P., Rajpoot P., Kumar Pandey A., Khan A. H., Singh A. K., Yadav R. K. Effect of plant growth regulators on growth, biochemical and yield of Indian mustard [*Brassica juncea*] under drought stress condition. *Plant Archives*, 2017. 17 (1). P. 580–584.
29. Oguz M., Aycan M., Oguz E., Poyraz I., Yildiz, M. Drought Stress Tolerance in Plants: Interplay of Molecular, Biochemical and Physiological Responses in Important Development Stages. *Physiologia*, 2022. 2 (4). P. 180–197. DOI: <http://doi.org/10.3390/physiologia2040015>.
30. Oo A. T., van Huynenbroeck G., Speelman, S. Measuring the Economic Impact of Climate Change on Crop Production in the Dry Zone of Myanmar: A Ricardian Approach. *Climate*, 2020. 8 (1), 9. DOI: <https://doi.org/10.3390/cli8010009>.
31. Rizza F., Badeck F. W., Cattivelli L., Lidestri O., N. di Fonzo, Stanca A. M. Use of a water stress index to identify barley genotypes adapted to rainfed and irrigated conditions. *Crop Science*, 2004. Vol. 44, Is. 6. P. 2127–2137. DOI: <http://doi.org/10.2135/cropsci2004.2127>.
32. Sattler S., Gilliland L., Magallanes-Lundback M., Pollard M., DellaPenna D. Vitamin E is essential for seed longevity and for preventing lipid peroxidation during germination. *Plant Cell*, 2004. 16 (6). P.1419–32. DOI: <https://doi.org/10.1105/tpc.021360>.
33. Sharma P., Jha A. B., Dubey R. S., Pessarakli M. Reactive oxygen species, oxidative damage, and antioxidative defense mechanism in plants under stressful conditions. *Journal of Botany*, 2012. P. 1–26. DOI: <https://doi.org/10.1155/2012/217037>.
34. Zaefyzadeh M., Quliyev R. A., Babayeva S. M., Abbasov M. A. The effect of the interaction between genotypes and drought stress on the superoxide dismutase and chlorophyll content in durum wheat landraces. *Turk J Biol*, 2009. Vol. 33. P. 1–7. DOI: <https://doi.org/10.3906/biy-0801-12>.

Y. M. Palivoda, V. M. Havii

Nizhyn Mykola Gogol State University, Ukraine

THE INFLUENCE OF SEED TREATMENT WITH METABOLIC ACTIVE SUBSTANCES ON THE FORMATION OF THE XEROMORPH STRUCTURE OF THE LEAVES AND THE WATER POTENTIAL OF THE SHOTS OF COMMON WHEAT (*TRITICUM AESTIVUM* L.) SEEDLINGS UNDER CONDITIONS OF WATER DEFICIT

The article offers a comparative analysis of how metabolically active substances, individually and in combinations, affect the development of xeromorphic leaf structures and the water potential of shoots in common wheat (*Triticum aestivum* L.) seedlings when subjected to water deficit conditions simulated using PEG 6000. The study involved the use of 10 options for seed treatment : control (untreated seed + distilled water); PEG 6000 solution (12 %); solution of vitamin E (10⁻⁸M) – E;

ubiquinone-10 solution (10^{-8}M) – Q; methionine solution (0,001 %) – M; solution of paraoxybenzoic acid (POBA) (0,001 %) – P; MgSO_4 solution (0,001 %) – Mg; combinations: vitamin E (10^{-8}M) + ubiquinone-10 (10^{-8}M) – EQ; vitamin E (10^{-8}M) + methionine (0,001 %) + POBA (0,001 %) – EMP; vitamin E (10^{-8}M) + methionine (0,001 %) + POBA (0,001 %) + MgSO_4 (0,001 %) – EMPMg. Experimental water deficit is simulated with a 12% solution of PEG 6000.

It was observed that treating *T. aestivum* wheat seeds with solutions of paraoxybenzoic acid, ubiquinone-10, and magnesium sulfate under conditions of water deficit resulted in a 17.7 %, 16.5 %, and 16.2 % increase in the assimilation surface area of seedlings, respectively, compared to those subjected to water deficit conditions simulated using PEG 6000. Furthermore, the treatment of *T. aestivum* wheat seeds with solutions of ubiquinone-10, methionine, and the combination of vitamin E + ubiquinone-10 stimulated chlorophyll synthesis in wheat leaves, resulting in a 14.4 %, 11.3 %, and 15.4 % increase, respectively, compared to the group of plants whose seeds were germinated under conditions of slow water supply, resulting in a smaller leaf surface area, which is indicative of a xeromorphic leaf structure.

Treating the seeds with these specific solutions enhances photosynthetic productivity in conditions of moisture deficit by reinforcing the xeromorphic structure of the leaves. This underscores the high adaptability of wheat from the Provintsiarka variety to drought conditions.

It was determined that pre-treating seeds with a combination of vitamin E, methionine, paraoxybenzoic acid (POBA), and magnesium sulfate (MgSO_4) resulted in a 1.1 % increase in water accumulation in the shoots, in comparison to the measurements obtained from seedlings whose seeds were exposed to water deficit conditions simulated using PEG 6000.

Consequently, the application of metabolically active substances in seed treatment proves to be effective in enhancing the drought resistance of soft wheat *T. aestivum*. This approach can be incorporated as an integral component of the technology for cultivating grain crops under conditions of water deficit.

Key words: soft wheat, metabolically active substances, PEG 6000, linear growth, assimilation surface area, chlorophyll a and b.

Надійшла 06.06.2023.

УДК 581.143:577.175.1.05

doi: 10.25128/2078-2357.23.1–2.10

С. О. ПРИПЛАВКО, В. М. ГАВІЙ, В. І. ШЕЙКО

Ніжинський державний університет імені Миколи Гоголя
вул. Графська, 2, Ніжин, Чернігівська область, 16600
e-mail: gaviyv@gmail.com

ВПЛИВ ПЕРЕДПОСІВНОЇ ОБРОБКИ НАСІННЯ МЕТАБОЛІЧНО АКТИВНИМИ РЕЧОВИНАМИ НА КІЛЬКІСНІ ТА ЯКІСНІ ПОКАЗНИКИ ВРОЖАЮ КОРЕНЕПЛОДІВ МОРКВИ СОРТУ НАНТСЬКА

У статті наведено порівняльну характеристику впливу метаболічно активних речовин: вітаміну Е, параоксибензойної кислоти (ПОБК), метіоніну, MgSO_4 (магнію сульфат), убіхінону-10 та їх комбінацій, таких як: вітамін Е + убіхінон-10; вітамін Е + параоксибензойна кислота + метіонін; вітамін Е + параоксибензойна кислота + метіонін + магнію сульфат – на кількісні показники та якість урожаю коренеплодів моркви посівної сорту Нантська. Встановлено їх стимулювальний вплив на довжину, товщину, середню масу коренеплодів та вміст у них цукрів. Комбінація речовин вітамін Е + ПОБК + метіонін + MgSO_4 протягом усього