

Ю. М. ПАЛИВОДА, В. М. ГАВІЙ, О. Б. КУЧМЕНКО

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

## ФІЗІОЛОГО-БІОХІМІЧНІ ПОКАЗНИКИ ПРОРОСТКІВ ПШЕНИЦІ М'ЯКОЇ (*TRITICUM AESTIVUM* L.) ПРИ МОДЕЛЮВАННІ ВОДНОГО ДЕФІЦИТУ ЗА ДІЇ МЕТАБОЛІЧНО АКТИВНИХ СПОЛУК

У статті наведено порівняльну характеристику впливу метаболічно активних речовин та їх комбінацій на окремі фізіологічні та біохімічні показники пшениці м'якої в умовах водного дефіциту. Встановлено, що використання метаболічно активних речовин в умовах водного дефіциту стимулювало процеси проростання, ризогенезу, лінійного росту надземної частини рослин та приросту сирі маси надземних і підземних органів пшениці м'якої сорту Провінціалка. Високий вміст проліну у проростках пшениці м'якої за дії метаболічно активних сполук є показником стимулювання адаптації рослин в умовах уповільненого надходження води.

*Ключові слова:* пшениця м'яка, метаболічно активні речовини, ПЕГ 6000, енергія проростання насіння, схожість насіння, лінійний ріст, маса сирі речовини, пролін.

Пшениця – одна з найважливіших сільськогосподарських культур у світі, виробництво якої є важливим для людства. В Україні серед зернових культур *Triticum aestivum* L. належить перше місце. Вона займає понад 6 млн га, що становить понад 22 % від усіх посівних площ зернових культур [2].

За останні 10 років в Україні зростає виробництво пшениці [5]. Але через несприятливі кліматичні умови, в окремі роки, спостерігається зниження урожайності зернових [19]. Вважається, що до 50 % врожаю втрачається тільки під впливом абіотичних стресорів (екстремальні температури, посуха, засолення тощо) [12, 16].

Серед усіх природних чинників, які негативно впливають на фізіологічні процеси росту і розвитку пшениці та призводять до зниження урожайності, є водний дефіцит, спричинений посухою [14].

Шкідлива дія посухи полягає у зневодненні та порушенні метаболічних процесів у рослинах, що призводить до розпаду білків, зміни колоїдно-хімічного стану цитоплазми клітини і, як наслідок, до зниження кількості накопиченої рослинами органічної речовини [18].

Довготривала ґрунтова посуха спричинює значне зростання рівня проліну та вільних амінокислот у пагонах рослин. Накопичення проліну підтримує осмотичний баланс, запобігає дезінтеграції мембран та інактивації ферментів в умовах зневоднення клітин. Пролін також має антиоксидантні властивості [11].

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

Учені світу займаються питанням вивчення впливу посухи на рослини та пошуком речовин, що підвищують посухостійкість сільськогосподарських рослин.

Дослідженнями Moumita, Masayuki Fujita та інших [28] з'ясовано, що обробка насіння пшениці *T. aestivum* гібереліновою кислотою стимулює ріст рослин та поліпшує фізіологічні показники в умовах посухового стресу, пом'якшує викликані посухою окиснювальні пошкодження, регулюючи ферментативні та неферментативні механізми, що врівноважують антиоксидантну систему.

Ansari O. та інші [23] з'ясували, що саліцилова кислота покращує схожість та енергію проростання жита *Secale montanum* Guss. в умовах водного дефіциту.

Застосування  $\alpha$ -токоферолу підвищує вміст зелених фотосинтетичних пігментів у листках, посилює антиоксидантні механізми кукурудзи *Zea mays* L. в умовах посухи [21].

Таким чином, пошук метаболічно активних сполук, що зменшують негативну дію посухи та стимулюють фізіолого-біохімічні процеси в організмі зернових культур, є актуальною проблемою сьогодення.

Метою пропонованої роботи є дослідження впливу обробки насіння метаболічно активними речовинами на фізіологічні та біохімічні показники проростків пшениці м'якої за умов водного дефіциту, змодельованого за допомогою ПЕГ 6000.

### Матеріал і методи досліджень

Для дослідження використовували насіння пшениці м'якої (*T. aestivum*) сорту Провінціалка. Цей сорт селекції Носівської селекційно-дослідної станції Миронівського інституту пшениці імені В. М. Ремесла Національної академії аграрних наук України є одним із найбільш придатних сортів для вирощування продовольчого зерна високої якості в зоні Лісостепу та Полісся та характеризується високою посухостійкістю (6,6–8 балів) [4]. Дослідження проводили 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 Сельдимирової О.А., для оцінки на стійкість до посухи рекомендується використовувати зазначену концентрацію ПЕГ 6000 [15].

Вивчення впливу метаболічно активних речовин на проростання насіння за тривалої дії водного дефіциту проводили в чашках Петрі, насіння пшениці замочували на 3 години у розчинах досліджуваних речовин та їх комбінацій. Дослідження передбачало такі варіанти:

- 1) контроль (необроблене насіння + дистильована вода);
- 2) обробка насіння розчином вітаміну Е ( $10^{-8}$ М) – Е;
- 3) обробка насіння розчином убіхінону-10 ( $10^{-8}$ М) – Q;
- 4) обробка насіння розчином метіоніну (0,001%) – М;
- 5) обробка насіння розчином параоксибензойної кислоти (ПОБК) (0,001%) – П;
- 6) обробка насіння розчином  $MgSO_4$  (0,001%) – Mg;
- 7) обробка насіння комбінаціями речовин: вітамін Е ( $10^{-8}$ М) + убіхінон-10 ( $10^{-8}$ М) - EQ; вітамін Е ( $10^{-8}$ М) + метіонін (0,001%) + ПОБК (0,001%) - ЕМП; вітамін Е ( $10^{-8}$ М) + метіонін (0,001%) + ПОБК (0,001%) +  $MgSO_4$  (0,001%) - ЕММg.

У зазначених концентраціях метаболічно активні сполуки виявили високу ефективність щодо впливу на фізіологічні показники росту і розвитку зернобобових і овочевих культур [8, 10]. Повторність дослідів була чотирьохкратна.

Оброблене насіння заливали 20 мл 12% розчину ПЕГ 6000 і пророщували протягом 7 діб у термостаті при температурі 20°C. На 3 день визначали енергію проростання насіння, а на 7 день – схожість насіння, біометричні показники проростків, коефіцієнт пригнічення росту проростків (коефіцієнт депресії), а також вміст вільного проліну в проростках. Енергію проростання та схожість насіння пшениці м'якої визначали за методикою [3]. До числа нормально пророслого насіння відносили насіння, яке має не менше двох нормально розвинених корінців розміром більше довжини насіння і паросток розміром не менше половини його довжини та проростки з незначними дефектами. Рівень депресії ростових процесів за впливу стресового фактора визначали за формулою:  $Z = 100 - (y/x \cdot 100\%)$  [18, 31], де x – середнє значення показника на контролі, y – середнє значення показника на розчині ПЕГ 6000.

Пролін екстрагували та визначали спектрофотометричним методом за методикою [28]. Інтенсивність поглинання червоного кольору вимірювали за 520 нм з L-проліном як стандартом. Вміст проліну виражали в мкмоль/г маси сирої речовини. Статистично опрацьовували матеріал за допомогою методів математичної статистики з використанням

стандартних вбудованих функцій пакета спеціалізованого програмного забезпечення MS Office Excel-2010.

### Результати досліджень та їх обговорення

У процесі проростання насіння зародок, використовуючи запасні поживні речовини насінини, перетворюється на проросток, який здатний самостійно живитися. У цей період важлива роль приділяється енергії проростання та силі росту насіння, від яких залежить врожайність польових культур [7]. Під час фази бубнявіння сухе насіння поглинає воду до настання критичної вологості. У насінині посилюються процеси гідролізу, дихання, мобілізація запасних поживних речовини, що надходять до точки росту. Водний дефіцит призводить до пригнічення проростання насіння шляхом уповільнення надходження в нього води, впливаючи на мобілізацію поживних резервів насінини, що проростає. Обробка насіння метаболічно активними речовинами впливає на енергію проростання та схожість [17].

Визначення посівних якостей насіння за умов водного дефіциту вважається простим та чутливим параметром, що дає уяву про стійкість насіння до проростання за стресових умов [22]. Результати визначення схожості насіння *T. aestivum* за пророщування в умовах уповільненого надходження води на розчині ПЕГ 6000 із попереднім замочуванням у розчинах метаболічно активних сполук наведені у табл. 1.

Таблиця 1

Схожість насіння *T. aestivum* сорту Провінціалка за умов водного дефіциту, змодельованого за допомогою ПЕГ 6000 за дії метаболічно активних речовин

Варіанти досліджу	Енергія проростання	Схожість насіння
	%	%
Контроль	97,5±2,0	52,5±3,0
ПЕГ 6000	97,5±1,3	47,5±1,8
ПЕГ+Е	96,3±2,2	57,5±2,3
ПЕГ Q	97,5±2,0	52,5±2,7
ПЕГ+М	93,8±2,0	57,5±1,7
ПЕГ+П	95,0±2,1	47,5±2,7
ПЕГ+Mg	96,3±3,0	61,3±2,0*#
ПЕГ+EQ	98,8±1,1	60,0±2,1*#
ПЕГ+ЕМП	96,3±2,0	60,0±2,2*#
ПЕГ+ЕМПMg	97,5±2,0	72,5±2,0*#

Примітка.\* Різниця достовірна порівняно з контролем ( $p < 0,05$ );

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

Згідно отриманих нами результатів, пророщування насіння пшениці м'якої за дії метаболічно активних речовин на розчині осмотично-активної речовини ПЕГ 6000 не призвело до зниження енергії проростання дослідного насіння у порівнянні із контролем (дистильована вода). Визначення схожості насіння пшениці м'якої показало, що обробка розчином Mg та комбінаціями EQ, ЕМП, ЕМПMg зменшили пригнічуючу дію ПЕГ 6000, проявили стимулюючий ефект та підвищили схожість насіння. У результаті проведених досліджень було встановлено, що найвища схожість насіння в умовах водного дефіциту була виявлена за попередньої обробки насіння комбінацією метаболічно активних сполук ЕМПMg і складала 72,5 %, що перевищило показники контролю на 20 % та ПЕГ 6000 на 25 %. Це пов'язано з тим, що вітамін Е та убіхінон-10 беруть участь у біоенергетичних процесах, захисті від пошкоджуючої дії активних форм кисню та продуктів окиснення, які утворюються за умов водного дефіциту і є ефективними імуностимуляторами [21, 27]. MgSO<sub>4</sub> є одним із джерел магнію, який необхідний для функціонування понад 300 ферментів [25]. Параоксибензойна кислота завдяки своїм антиоксидантним властивостям слугує своєрідним захисним бар'єром для насіння [24].

## ФІЗІОЛОГІЯ РОСЛИН

Коренева система відіграє важливу роль у мінеральному живленні рослин, що впливає на продуктивність пшениці.

Фізіологічні показники розвитку кореневої системи проростків насіння пшениці м'якої за пророщування в умовах уповільненого надходження води на розчині ПЕГ 6000 із попереднім замочуванням у розчинах метаболічно активних сполук наведені у табл. 2.

Таблиця 2

Фізіологічні показники розвитку кореневої системи проростків насіння *T. aestivum* сорту  
Провінціалка за умов водного дефіциту, змодельованого за допомогою ПЕГ 6000 за дії  
метаболічно активних речовин

Варіанти досліду	Кількість коренів		Лінійний ріст коренів		Коефіцієнт депресії довжини коренів, %
	шт.	% до контролю	см	% до контролю	
Контроль	4,7±0,19	100,0	7,5±0,5#	100,0	0
ПЕГ 6000	4,5±0,18	95,1	6,1±0,3*	81,4	19,6
ПЕГ+Е	4,6±0,12	98,1	6,7±0,2*	89,0	11,0
ПЕГ+Q	4,7±0,12	99,4	8,8±0,2*#	116,9	-16,9
ПЕГ+М	5,1±0,10*	108,5	6,9±0,2#	91,6	8,4
ПЕГ+П	4,6±0,13	97,2	7,6±0,3#	100,7	-0,7
ПЕГ+Mg	4,7±0,11	99,8	8,2±0,2*#	108,9	-8,9
ПЕГ+EQ	4,9±0,06	105,1	7,5±0,2#	99,6	0,4
ПЕГ+ЕМП	4,8±0,08	102,1	8,6±0,2*#	114,2	-14,2
ПЕГ+ЕМПMg	4,8±0,09	102,1	8,3±0,2*#	110,2	-10,2

*Примітка.*\* Різниця достовірна порівняно з контролем ( $p < 0,05$ );

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

Якщо порівнювати показники ризогенезу та лінійного росту коренів проростків пшениці, насіння якої було попередньо оброблене метаболічно активними речовинами з показниками насіння, що знаходилося в змодельованих умовах посухи (ПЕГ 6000), то з'ясовано, що метаболічно активні речовини володіють рістрегулюючими і антистресовими властивостями, сприяють росту кореневої системи в умовах посухи (табл. 2). Обробка насіння розчином метіоніну найефективніше стимулювала утворення коренів на проростках пшениці в умовах водного дефіциту, кількість яких склала в середньому 5,1 шт. на одній рослині. Найбільш ефективно стимулює лінійний ріст коренів в умовах водного дефіциту розчин убіхінону-10, перевищуючи показник контролю на 16,9 %, нівелюючи інгібуючий вплив ПЕГ 6000, на що і вказує коефіцієнт депресії довжини коренів. Це може бути обумовлене тим, що убіхінон-10 має антиоксидантну дію й захищає мембрани клітин від руйнівного впливу активних форм кисню, що накопичуються в умовах водного дефіциту [26].

Висока ефективність щодо стимулювання лінійного росту коренів проростків пшениці в умовах посухи була відмічена також при використанні таких комбінацій метаболічно активних речовин: ЕМП і ЕМПMg, а також розчинів убіхінону-10 та солі  $MgSO_4$ . Вони не тільки зменшили інгібуючу дію ПЕГ 6000, але й стимулювали лінійний ріст коренів, на що вказують від'ємні показники коефіцієнта депресії довжини кореня. Ефективність використаних комбінацій метаболічно активних сполук можна пояснити тим, що вітамін Е є антиоксидантом, впливає на мембранопроникність та збільшує поглинання поживних речовин, що є важливим в умовах посухи [21]. ПОБК регулює активність комплексу антиоксидантних ферментів та виконує в клітині функцію сигнальних молекул при формуванні захисних реакцій. Метіонін стимулює розвиток кореневої системи та оптимізує водний обмін [1].  $MgSO_4$  – це джерело іонів  $Mg^{2+}$ , що підтримують осмотичний потенціал клітин. Він позитивно впливає на засвоєння фосфору та його переміщення рослиною, процеси дихання, перетворення мінерального азоту

## ФІЗІОЛОГІЯ РОСЛИН

на білкові сполуки. Також він активує більшість ферментів та бере участь у формуванні пектинових речовин стінок клітин [20]. Показники лінійного росту коренів проростків пшениці за обробки насіння комбінацією EQ, розчинами ПОВБ та метіоніну не перевищують значення контролю, але нівелюють негативний вплив на ріст кореневої системи ПЕГ 6000.

Пагін – це головний орган рослини, завдяки якому вона може рости та розвиватися. Він відіграє важливу роль у транспорті речовин.

Фізіологічні показники розвитку пагону проростків насіння пшениці м'якої за пророщування в умовах уповільненого надходження води на розчині ПЕГ 6000 із попереднім замочуванням у розчинах метаболічно активних сполук наведені у табл. 3.

Таблиця 3

Фізіологічні показники розвитку пагону проростків насіння *T. aestivum* сорту Провінціалка за умов водного дефіциту, змодельованого за допомогою ПЕГ 6000 за дії метаболічно активних речовин

Варіанти досліджу	Довжина пагону		Коефіцієнт депресії довжини пагону, %
	см	% до контролю	
Контроль	7,7±0,7	100,0	0
ПЕГ 6000	5,0±0,5*	64,4	35,6
ПЕГ+Е	8,1±0,5*#	105,2	-5,2
ПЕГ+Q	9,4±0,5*#	122,1	-22,1
ПЕГ+М	8,7±0,4*#	113,0	-13,0
ПЕГ+П	7,3±0,6#	94,8	5,2
ПЕГ+Mg	8,0±0,4*#	103,9	-3,9
ПЕГ+EQ	9,4±0,4*#	122,1	-22,1
ПЕГ+ЕМП	9,0±0,4*#	116,9	-16,9
ПЕГ+ЕМПМg	9,3±0,4*#	120,8	-20,8

*Примітка.*\* Різниця достовірна порівняно з контролем ( $p < 0,05$ );

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

Досліджувані метаболічно активні речовини показали позитивний вплив на показники лінійного росту пагону проростків пшениці, насіння якої знаходилося в змодельованих умовах посухи (ПЕГ 6000). Високу ефективність застосування зазначених сполук в умовах водного дефіциту підтверджують показники коефіцієнта депресії довжини пагона. Найвищу стимулюючу дію щодо розвитку пагону *T. aestivum* за умов водного дефіциту мають розчин убіхінону-10 та комбінація EQ, перевищуючи показник контролю на 22,1 % та нівелюючи інгібуючий вплив ПЕГ 6000. Відомо, що убіхінон-10 та вітамін Е мають антиоксидантну дію [7, 31], покращують засвоєння поживних речовин та поліпшують водний баланс в умовах водного дефіциту.

Показники лінійного росту пагону проростків пшениці за обробки насіння розчином ПОВБ не перевищують значення контролю, але ПОВБ здатна виявляти захисну дію в умовах водного дефіциту [24].

За умов посухи значно пригнічується приріст маси проростків [6]. Метаболічно активні речовини посилюють процеси накопичення маси як коренів, так і пагону в умовах уповільненого надходження води на розчині ПЕГ 6000 (табл. 4).

Накопичення біомаси проростками *T. aestivum* сорту Провінціалка в умовах водного дефіциту, змодельованого за допомогою ПЕГ 6000 за дії метаболічно активних речовин

Варіанти досліду	Маса сирі речовини коренів		Маса сирі речовини пагону	
	г	% до контролю	г	% до контролю
Контроль	0,035±0,005	100,0	0,055±0,005	100,0
ПЕГ 6000	0,023±0,005	65,7	0,041±0,004	74,5
ПЕГ+Е	0,037±0,003	105,7	0,052±0,003	94,5
ПЕГ+Q	0,041±0,002*#	117,1	0,078±0,010*#	141,8
ПЕГ+М	0,034±0,002	97,1	0,058±0,002	105,5
ПЕГ+П	0,036±0,003	102,9	0,052±0,003	94,5
ПЕГ+Mg	0,042±0,002*#	120,0	0,063±0,002*#	114,5
ПЕГ+EQ	0,046±0,003*#	131,4	0,065±0,002*#	118,2
ПЕГ+ЕМП	0,030±0,003	85,7	0,062±0,004	112,7
ПЕГ+ЕМПMg	0,029±0,002	82,9	0,057±0,002	103,6

Примітка.\* Різниця достовірна порівняно з контролем ( $p < 0,05$ );

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

Загалом маса сирі речовини коренів і пагону була меншою у варіантах, що пророщувалися на розчині ПЕГ 6000. Попереднє замочування насіння в розчинах метаболічно активних речовин усуває інгібуючий вплив змодельованого водного дефіциту. У порівнянні з контролем найвищі показники приросту маси сирі речовини коренів мало насіння, оброблене розчинами убіхінону-10,  $MgSO_4$  та комбінацією EQ. Так, за обробки насіння пшениці *T. aestivum* розчином убіхінону-10 в умовах водного дефіциту маса сирі речовини коренів зросла на 17,1 % у порівнянні з контролем, за обробки  $MgSO_4$  – на 20 %, а обробка комбінацією EQ стимулювала зростання маси сирі речовини на 31,4 % порівняно з показниками контролю.

Найбільш ефективно стимулює приріст маси сирі речовини пагону в умовах водного дефіциту убіхінон-10, що перевищує показники контролю на 41,8 %. Висока ефективність також була відмічена при використанні  $MgSO_4$  та комбінації EQ.

Серед біохімічних показників посухостійкості рослин важливе діагностичне значення має вміст проліну. Пролін – це гетероциклічна амінокислота, вміст якої збільшується у багато разів за дії стресових чинників [9]. Накопичення проліну допомагає рослинам адаптуватись до несприятливих умов, захищаючи від інактивації білків, ДНК та ферментів. Акумуляція проліну за дії стресових чинників є індикатором відповіді на стрес на клітинному рівні [30].

З'ясовано, що попередня обробка рослин саліциловою кислотою підвищує антиоксидантну активність і вміст проліну за умов водного дефіциту [29]. Тому актуальним було дослідження впливу метаболічно активних речовин на вміст вільного проліну у проростках пшениці м'якої за умов водного дефіциту.

У табл. 5 відображений вплив метаболічно активних сполук на вміст вільного проліну в проростках насіння пшениці м'якої, пророщених в умовах уповільненого надходження води на розчині ПЕГ 6000.

Рівень вільного проліну в рослинах у варіанті ПЕГ 6000 був прийнятий за 100 %.

Вміст вільного проліну у проростках *T. aestivum* сорту Провінціалка в умовах водного дефіциту, змодельованого за допомогою ПЕГ 6000 за дії метаболічно активних речовин

Варіанти дослідю	Вміст вільного проліну	
	мкмоль/г сирової маси	% до показників за дії ПЕГ 6000
Контроль	0,033±0,002	
ПЕГ 6000	0,045±0,004	100,0
ПЕГ+Е	0,051±0,003*#	113,3
ПЕГ+Q	0,057±0,002*#	126,7
ПЕГ+М	0,04±0,002	88,9
ПЕГ+П	0,04±0,002	88,9
ПЕГ+Mg	0,062±0,001*#	137,8
ПЕГ+EQ	0,08±0,001*#	177,8
ПЕГ+ЕМП	0,037±0,001	82,2
ПЕГ+ЕМПМg	0,077±0,002*#	171,1

Примітка.\* Різниця достовірна порівняно з контролем ( $p < 0,05$ );

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

Дослідження впливу метаболічно активних речовин на вміст вільного проліну в проростках *T. aestivum* показали, що обробка насіння пшениці м'якої комбінаціями EQ та ЕМПМg найефективніше стимулювали накопичення вільного проліну в проростках пшениці в умовах водного дефіциту, перевищуючи показники насіння, що знаходилося в змодельованих умовах посухи на 77,8 % та 71,1 % відповідно. Висока ефективність щодо накопичення вільного проліну в проростках пшениці в умовах посухи була відмічена також при використанні таких метаболічно активних речовин: вітамін Е, убіхінон-10, та солі  $MgSO_4$ . Таку дію можна пояснити тим, що речовини, які входять до складу комбінацій, залучені до біоенергетичних процесів, до захисту від пошкоджуючої дії активних форм кисню та продуктів окислення, виступають в якості ефективних імуностимуляторів тощо [20, 21, 27]. Накопичення проліну як осмотично-активної органічної речовини сприяє утриманню води в клітинах, приймає участь у стабілізації клітинних мембран, є джерелом енергії і запасного азоту [13].

### Висновки

1. Встановлено, що використання метаболічно активних речовин в умовах посухи сприяло кращому проростанню насіння пшениці м'якої сорту Провінціалка та лінійного росту підземної та надземної частин рослин. Попередня обробка комбінацією речовин ЕМПМg є найефективнішою комбінацією для стимуляції проростання насіння в умовах посухи.
2. Обробка насіння розчинами убіхінону-10 та сіллю  $MgSO_4$ , комбінаціями: ЕМП, ЕМПМg, сприяє збільшенню довжини коренів, а розчину убіхінону-10 та комбінаціями EQ, ЕМП, ЕМПМg – збільшенню довжини пагону в умовах водного дефіциту.
3. Досліджувані комбінації метаболічно активних речовин стимулювали приріст сирової маси надземних і підземних органів рослин. Найвищі показники були виявлені при обробці насіння розчинами убіхінону-10 і сіллю  $MgSO_4$ , та комбінацією EQ.
4. Захисна дія метаболічно активних речовин в умовах посухи полягає в індукції нагромадження вмісту вільного проліну у пагонах насіння пшениці м'якої сорту Провінціалка. Це підтверджує перспективність застосування метаболічно активних речовин для адаптації рослин в умовах уповільненого надходження води. Найефективнішими є комбінації EQ та ЕМПМg.
5. Обробка насіння розчинами убіхінону-10,  $MgSO_4$ , комбінаціями EQ, ЕМП, ЕМПМg сприяє підвищенню посухостійкості пшениці м'якої. Передпосівна обробка насіння зазначеними метаболічно активними сполуками може бути використана як елементи технології при вирощуванні зернових культур в умовах водного дефіциту. Тому подальше вивчення

впливу вище зазначених речовин на зернові культури в умовах дефіциту вологи є перспективним напрямком досліджень.

1. Августинович М., Чумак А. Амінокислоти: міф чи реальність. *Пропозиція: Головний журнал з питань агробізнесу*. 2018. № 12. URL: <https://propozitsiya.com/ua/aminokysloty-mif-chy-realist>.
2. В Україні збільшено посівні площі озимих під урожай 2021. Kurkul.com. 2021. URL: <https://kurkul.com/news/24758-v-ukrayini-zbilsheno-posivni-ploschi-ozimih-pid-urojay-2021>.
3. ГОСТ 12038:1984. Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести. URL: <http://docs.cntd.ru/document/gost-12038-84>.
4. Державний реєстр сортів рослин, придатних для поширення в Україні на 2021 рік. [Чинний від 2021-11-16]. Вид. офіц. Київ, 2021. 526 с.
5. Динаміка збору пшениці в Україні за останні 10 років – графіка. AgroPolit. URL: <https://agropolit.com/news/19377-dinamika-zboru-pshenitsi-v-ukrayini-za-ostanni-10-rokiv--grafika>.
6. Дідик Н. П., Росіцька Н. В., Беребеничук Л. Д. Вплив рутину, аскорбінової та саліцилової кислот на функціональний стан рослин пшениці в умовах посухи. *Физиология и биохимия культурных растений*. 2011. Т. 43, № 5. С. 453–458.
7. Каленська С. М. Насіннезнавство та методи вивчення якості насіння сільськогосподарських культур: навчальний посібник. Вінниця: ФОП Данилюк, 2011. 320 с.
8. 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. Вип. № 1–2 (79). С. 84–90. DOI: <http://doi.org/10.25128/2078-2357.20.1-2.12>.
9. Колупав Ю. Є. Основи фізіології стійкості рослин: курс лекцій. Харків, 2010. 121 с.
10. Лісовицький В. В., Кучменко О. Б. Вплив метаболічно-активних речовин на окремі фізіолого-біохімічні показники росту і розвитку огірків сорту Ніжинський. *Наукові записки НАУКМА. Біологія і екологія*. 2020. Том 3. С. 35–42. DOI: <http://doi.org/10.18523/2617-4529.2020.3.35-42>.
11. Маленька У., Кобилецька М., Терек О. Вплив саліцилової кислоти на вміст вільних амінокислот і проліну в рослин пшениці та кукурудзи за умов посухи. *Біологічні Студії*. 2014. Том 8. № 2. С. 123–132.
12. Моргун В. В., Дубровна О. В., Моргун Б. В. Сучасні біотехнології отримання стійких до стресів рослин пшениці. *Физиология растений и генетика*. 2016. Т. 48, № 3. С. 196–214.
13. Нестеренко О. Г., Рашидов Н. М. Визначення кореляції між вмістом проліну та води в коренях *Pisum sativum* L. під впливом абіотичних стресових факторів. *Біологічні системи*. 2017. Т. 9, Вип. 2. С. 192–196.
14. Пикало С. В., Демидов О. А., Юрченко Т. В., Прокопів Н. І., Харченко М. В. Порівняльна оцінка методів визначення посухостійкості сортів пшениці м'якої озимої. *Science Rise: Biological Science*. 2019. № 4, № 19. С. 17–21. DOI: 10.15587/2519-8025.2019.186813.
15. Сельдимирова О. А. Тестирование селективных агентов для оценки яровой мягкой пшеницы на устойчивость к засухе. *Экобиотех*. 2019. Том 2, № 1. С. 51–62. DOI: <http://doi.org/10.31163/2618-964X-2019-2-1-51-62>.
16. Твердохліб О. В., Богуславський Р. Л. Видове різноманіття пшениці, напрямки і перспективи його використання. *Збірник наукових праць Уманського національного університету садівництва*. Умань, 2012. Вип. 80, ч. 1. С. 37–47.
17. Тимошук Т. М. Вплив сумісного застосування біологічних і хімічних засобів захисту рослин на проростання насіння і розвиток озимої пшениці. *Вісник ДАУ*. 2003. № 1. С. 266–270.
18. 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.
19. Як змінювалась урожайність основних культур в Україні протягом 2017–2020 років. *Слово і діло*. URL: <https://www.slovoidilo.ua/2020/11/04/infografika/ekonomika/yak-zminyuvalas-urozhajnist-osnovnyx-kultur-ukrayini-protayahom-2017-2020-rokiv>.
20. 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.
21. Ali, Q., Tariq Javed M., Haider, M., Habib, N., Rizwan, M., Perveen, R., Ali, S., Nasser Alyemeni M., El-Serehy, H., Al-Misned, F.  $\alpha$ -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>.



22. Almansouri M., Kinet Jm., Lutts S. Effect of salt and osmotic stresses on germination in durum wheat (*Triticum durum* Desf.). *Plant and Soil*. 2001. Vol. 231, No. 2. P. 243–254. DOI: <https://doi.org/10.1023/A:1010378409663>.
23. 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.
24. 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.
25. Guo W., Chen S., Hussain N., Cong Y., Liang Z., Chen K. Magnesium stress signaling in plant: just a beginning. *Plant Signal Behav.* 2015. Vol. 10, No. 3. Article: e992287. DOI: <https://doi.org/10.4161/15592324.2014.992287>.
26. Hasanuzzaman M., Bhuyan M., Zulfiqar F., Raza A., Mohsin S., Mahmud J., Fujita M., Fotopoulos V. Reactive Oxygen Species and Antioxidant Defense in Plants under Abiotic Stress: Revisiting the Crucial Role of a Universal Defense Regulator. *Antioxidants*. 2020. Vol. 9, P. 681. DOI: <https://doi.org/10.3390/antiox9080681>.
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. Moumita, Mahmud J., Biswas P., Nahar K., Fujita M., Hasanuzzaman M. Exogenous application of gibberellic acid mitigates drought-induced damage in spring wheat. *Acta Agrobotanica* 2019. Vol. 72, No 2. P. 1776. DOI: <https://doi.org/10.5586/aa.1776>.
29. Pradeep Kumar P., Hemantaranjan A., Sarma B. Growth and antioxidant system under drought stress in Chick pea (*Cicer arietinum* L.) as sustained by salicylic acid. *Journal of Stress Physiology and Biochemistry*. 2011. Vol. 7, No. 4. P. 131–144.
30. Szabados L., Savoure A. Proline: a multifunctional amino acid. *Trends in Plant Science*. 2010. Vol. 15, No. 2. P. 89–97. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2009.11.009>.
31. Vus N., Vasylenko A., Lutenko V., Kobyzeva L., Besuhla O., Shevchenko L., Ponurenko S., Feng Baili, Saliy D. Concentration effect of polyethylene glycol in evaluation of grain legumes for drought tolerance. *Žemės Ūkio Mokslai*. 2020. Vol. 27, No.2. P. 149–159. DOI: <https://doi.org/10.6001/zemesukiomokslai.v27i2.4337>

## References

1. Avgustynovych M., Chumak A. Amino acids: myth or reality. Propozytisia [Electronic resource]. *Holovnyi zhurnal z pytan ahrobiznesu*. 2018. No. 12. URL: <https://propozitsiya.com/ua/aminokysloty-mif-chy-realist>. [in Ukrainian]
2. In Ukraine, the sown area of winter crops for the 2021 harvest has been increased. [Electronic resource]. Kurkul.com. 2021. URL: <https://kurkul.com/news/24758-v-ukrayini-zbilsheno-posivni-ploschi-ozimih-pidurojay-2021>. [in Ukrainian]
3. HOST 12038:1984. Seeds of agricultural crops. Methods for determining germination. [Electronic resource]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/gost-12038-84>. [in Russian]
4. State Register of Plant Varieties Suitable for Distribution in Ukraine for 2021. [Electronic resource]. [Effective from 2021-11-16]. View. ofits. Kyiv, 2021. 526 p. [in Ukrainian]
5. Dynamics of wheat harvest in Ukraine for the last 10 years – schedule. [Electronic resource]. AgroPolit. URL: <https://agropolit.com/news/19377-dynamika-zboru-pshenitsi-v-ukrayini-za-ostanni-10-rokiv--grafika>. [in Ukrainian]
6. Didyk N.P., Rositska N.V., Berebenichuk L.D. The effect of rutin, ascorbic and salicylic acids on the functional state of wheat plants under drought conditions. *Physiology and biochemistry of cultivated plants*. 2011. Vol. 43, No. 5. P. 453–458. [in Ukrainian]
7. Kalenska S.M. Seed science and methods of studying the quality of seeds of agricultural crops: a textbook. Vinnytsia: FOP Danyliuk. 2011. 320 p. [in Ukrainian]
8. Koziuchko A.G., Havii V.M., Kuchmenko O.B. Influence of pre-sowing treatment of seeds with metabolically active substances on the individual physiological parameters of soybean varieties Annushka. *Naukovi zapysky Ternopilskoho natsionalnoho pedahohichnoho universytetu imeni Volodymyra Hnatiuka. Ser. Biolohiia*. Ternopil: TNPU im. V. Hnatiuka, 2020. No. 1–2 (79). P. 84–90. DOI: <http://doi.org/10.25128/2078-2357.20.1-2.12>. [in Ukrainian]
9. Kolupaev Y.E. Fundamentals of plant physiology: a course of lectures. Kharkiv, 2010. 121 p. [in Ukrainian]
10. Lisovytskyi V.V., Kuchmenko O.B. Influence of metabolically active substances on individual physiological and biochemical indices of growth and development of Nizhynsky cucumbers. *Scientific Notes* 52 ISSN 2078-2357. Наук. зап. Терноп. нац. пед. ун-ту. Сер. Біол., 2021, Т. 81, № 3

- of NaUKMA. *Biology and ecology*. 2020. Vol. 3.P. 35–42. DOI: <http://doi.org/10.18523/2617-4529.2020.3.35-42>. [in Ukrainian]
11. Malenka U., Kobyletska M., Terek O. Influence of salicylic acid on the content of free amino acids and proline in wheat and corn plants under drought conditions. *Biolozhichni Studii*. 2014. Vol 8, No 2. P. 123–132. [in Ukrainian]
  12. Morhun V.V., Dubrovna O.V., Morhun B.V. Modern biotechnologies for obtaining stress-resistant wheat plants. *Fyzyolohyia rastenyi y henetyka*. 2016. Vol. 48, No. 3. P. 196–214. [in Ukrainian]
  13. Nesterenko O. G., Rasydov N. M. Determination of the correlation between proline and water content of the *Pisum sativum* L. roots under abiotic stress factors influence. *Biological systems*. 2017. Vol. 9, No. 2. P. 192–196. [in Ukrainian]
  14. Pykalo S., Demydov O., Yurchenko T., Prokopik N., Kharchenko, M. Comparative assessment of methods for evaluation of drought tolerance in winter bread wheat varieties. *ScienceRise: Biological Science*. 2019. Vol. 4. No. 19. P. 17–21. DOI: <https://doi.org/10.15587/2519-8025.2019.186813>. [in Ukrainian]
  15. Seldimirova O.A. Testing of selective agents for evaluation of spring soft wheat for drought resistance. *Ekobiotechk*. 2019. Vol. 2, No. 1. P. 51–62. DOI: <http://doi.org/10.31163/2618-964X-2019-2-1-51-62>. [in Russian]
  16. Tverdokhlib O.V., Bohuslavskyy R.L. Species diversity of wheat, directions and prospects of its use. *Collection of scientific works of Uman National University of Horticulture*. Uman. 2012. Vol. 80, No. 1. P. 37–47. [in Ukrainian]
  17. Tymoshchuk T.M., Derecha O.A., Solodka L.O. Influence of joint application of biological and chemical plant protection products on seed germination and development of winter wheat. *Visnyk DAU*. 2003. No. 1. P. 266–270. [in Ukrainian]
  18. Khomenko S.O. Drought tolerance and yield components of bread spring wheat collection samples in environments of forest-steppe of Ukraine. *Myronivskiy Visnyk*. 2017. Vol. 4. P.79–87. [in Ukrainian]
  19. How did the yield of major crops in Ukraine change during 2017–2020. [Electronic resource]. Slovo i Dilo. URL: <https://www.slovoidilo.ua/2020/11/04/infografika/ekonomika/yak-zminyuvalas-urozhajnist-osnovnyx-kultur-ukrayini-protyahom-2017-2020-rokiv>. [in Ukrainian]
  20. 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.
  21. Ali, Q., Tariq Javed M., Haider, M., Habib, N., Rizwan, M., Perveen, R., Ali, S., Nasser Alyemeni M., El-Serehy, H., Al-Misned, F.  $\alpha$ -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>.
  22. Almansouri M., Kinet Jm., Lutts S. Effect of salt and osmotic stresses on germination in durum wheat (*Triticum durum* Desf.). *Plant and Soil*. 2001. Vol. 231, No. 2. P. 243–254. DOI: <https://doi.org/10.1023/A:1010378409663>.
  23. 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.
  24. Barkosky R.R., Einhellig F.A. Allelopathic interference of plant water relationships by parahydroxybenzoic acid. *Botanical Bulletin of Academia Sinica*. 2003. Vol. 44. P.53–58.
  25. Guo W., Chen S., Hussain N., Cong Y., Liang Z., Chen K. Magnesium stress signaling in plant: just a beginning. *Plant Signal Behav*. 2015. Vol. 10, No. 3. Article: e992287. DOI: <https://doi.org/10.4161/15592324.2014.992287>.
  26. Hasanuzzaman M., Bhuyan M., Zulfiqar F., Raza A., Mohsin S., Mahmud J., Fujita M., Fotopoulos V. Reactive Oxygen Species and Antioxidant Defense in Plants under Abiotic Stress: Revisiting the Crucial Role of a Universal Defense Regulator. *Antioxidants*. 2020. Vol. 9, P. 681. DOI: <https://doi.org/10.3390/antiox9080681>.
  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. Moumita, Mahmud J., Biswas P., Nahar K., Fujita M., Hasanuzzaman M. Exogenous application of gibberellic acid mitigates drought-induced damage in spring wheat. *Acta Agrobotanica 2019*. Vol. 72, No 2. P. 1776. DOI: <https://doi.org/10.5586/aa.1776>.
  29. Pradeep Kumar P., Hemantaranjan A., Sarma B. Growth and antioxidant system under drought stress in Chick pea (*Cicer arietinum* L.) as sustained by salicylic acid. *Journal of Stress Physiology and Biochemistry*. 2011. Vol. 7, No. 4. P. 131–144.
  30. Szabados L., Savoure A. Proline: a multifunctional amino acid. *Trends in Plant Science*. 2010. Vol. 15, No. 2. P. 89–97. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2009.11.009>.

31. Vus N., Vasylenko A., Lutenko V., Kobyzeva L., Besuhla O., Shevchenko L., Ponurenko S., Feng Baili, Saliy D. Concentration effect of polyethylene glycol in evaluation of grain legumes for drought tolerance. *Žemės Ūkio Mokslai*. 2020. Vol. 27, No.2. P. 149–159. DOI: <https://doi.org/10.6001/zemesukiomokslai.v27i2.4337>

*Y. M. Palivoda, V. M. Gaviy, O. B. Kuchmenko*

Nizhyn Mykola Gogol State University, Ukraine

PHYSIOLOGICAL AND BIOCHEMICAL INDICATORS OF SOFT WHEAT SEEDLINGS (*TRITICUM AESTIVUM* L.) IN EXPERIMENTAL WATER DEFICIENCY UNDER THE ACTION OF METABOLICALLY ACTIVE SUBSTANCES

The article presents a comparative description of the effect of metabolically active substances and their compositions on individual physiological and biochemical parameters of soft wheat in drought conditions. The study involved the use of 7 options for seed treatment: control (untreated seeds + distilled water); vitamin E solution ( $10^{-8}$ M) - E; ubiquinone-10 solution ( $10^{-8}$ M) - Q; methionine solution (0.001%) - M; paraoxybenzoic acid solution (POBA) (0.001%) - P;  $MgSO_4$  solution (0.001%) - Mg; compositions of substances: 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. The experimental water deficiency was simulated by a 12% solution of PEG 6000.

It was found that the germination of soft wheat seeds under the action of metabolically active substances in a solution of osmotically active substance PEG 6000 did not lead to a decrease in the germination energy of the experimental seeds compared to the control. Determination of germination of soft wheat seeds showed that treatment with Mg solution and compositions of EQ, EMP, EMPMg reduced the inhibitory effect of PEG 6000, showed a stimulating effect and increased seed germination. The highest seed germination in water-deficient conditions was found by treatment with EMPMg composition.

Studies of the effect of metabolically active substances on the processes of rhizogenesis of soft wheat seedlings have shown that seeds' treatment with the solution of methionine most effectively stimulated the formation of roots on wheat seedlings in conditions of water deficiency. Ubiquinone-10 solution stimulated linear root growth in conditions of water deficiency most effectively, exceeding the control by 16,9%, neutralizing the inhibitory effect of PEG 6000. High efficiency in stimulating linear root growth of wheat seedlings in drought conditions was observed after using the compositions EMP and EMPMg, and solutions of ubiquinone-10 and  $MgSO_4$ . Ubiquinone-10 solution and composition EQ showed the best stimulating effect on the development of a shoot of soft wheat under water deficiency. Seeds treated with solutions of ubiquinone-10,  $MgSO_4$  and EQ had the highest rates of weight gain of roots. The seeds treated with ubiquinone-10 solution stimulated weight gain of the shoot more effectively under water deficiency (exceeded the control by 41.8%).

Treatment of soft wheat seeds with compositions EQ and EMPMg stimulated the accumulation of free proline in wheat seedlings most effectively under water deficiency. Proline is an indicator of plant adaptation in conditions of slow water supply and increased drought resistance of soft wheat.

Thus, seeds pre-sowing treatment with the studied metabolically active compounds and their compositions could be used as elements of technology in the cereals cultivation under water deficiency.

*Keywords: soft wheat, metabolically active substances, PEG 6000, seed germination energy, seed germination, linear growth, crude mass, proline.*

Надійшла 27.07.2021.