

## ВПЛИВ МЕТАБОЛІЧНО-АКТИВНИХ РЕЧОВИН НА ОКРЕМІ ФІЗІОЛОГО-БІОХІМІЧНІ ПОКАЗНИКИ РОСТУ І РОЗВИТКУ ОГІРКІВ СОРТУ НІЖИНСЬКИЙ

Проведено дослідження з метою вивчення впливу метаболічно-активних речовин ( $MgSO_4$ , параоксисбензойної кислоти (ПОБК), вітаміну Е, убіхінону-10 та метіоніну) в різних концентраціях на показники проростання насіння огірків сорту Ніжинський та окремі фізіологічні та біохімічні показники росту і розвитку рослин. Під час проведення дослідів розчини речовин брали в таких концентраціях: параоксисбензойна кислота (0,1 %, 0,01 %, 0,001 %, 0,0001 %, 0,00001 %), метіонін (0,1 %, 0,01 %, 0,001 %, 0,0001 %, 0,00001 %),  $MgSO_4$  (0,1 %, 0,01 %, 0,001 %, 0,0001 %, 0,00001 %), вітамін Е ( $\alpha$ -токоферилацетат) ( $10^{-3}M$ ,  $10^{-6}M$ ,  $10^{-8}M$ ), убіхінон-10 (препарат «Кудесан») ( $10^{-3}M$ ,  $10^{-6}M$ ,  $10^{-8}M$ ). У результаті проведених досліджень було продемонстровано дозозалежний ефект досліджуваних метаболічно-активних речовин на енергію проростання насіння огірків (Cucumis sativus) сорту Ніжинський. Показано, що найефективнішими концентраціями досліджуваних сполук для стимуляції проростання насіння були 0,001 % розчини ПОБК, метіоніну і  $MgSO_4$  та  $10^{-8}M$  розчини убіхінону-10 і вітаміну Е ( $\alpha$ -токоферилацетату). Показано ефективність передпосівної обробки насіння огірків 0,001 % розчином  $MgSO_4$  щодо стимуляції ростових процесів рослин огірків сорту Ніжинський, що виражалось у стимуляції росту стебла і зростанні площі листової пластинки. Найбільша ефективність щодо збільшення вмісту загальних хлорофілів, хлорофілу а і b в листі огірків спостерігалась у рослин, насіння яких перед посівом обробляли 0,001 % розчинами ПОБК і метіоніну та  $10^{-8}M$  розчином вітаміну Е, що може свідчити про зміни в процесах біосинтезу або деградації цих фотосинтезуючих пігментів. Результати цього дослідження можуть мати практичне значення для подальшого вивчення впливу цих метаболічно-активних речовин на рослинні організми з метою подальшого застосування в рослинництві. Речовини, які показали свою ефективність, можуть бути використані як складові компоненти стимулюючих препаратів.

**Ключові слова:** огірки, проростання, довжина стебла, площа листової поверхні, хлорофіл, параоксисбензойна кислота, метіонін, сульфат магнію, вітамін Е, убіхінон-10.

Метаболічно-активні речовини часто використовують у галузі рослинництва. Вони входять до складу багатьох стимуляторів росту та інших препаратів для рослин. Щороку вивчають нові властивості цих речовин та їхні перспективи щодо подальшого застосування. На сьогодні їх використовують для стимуляції росту рослин, захисту їх від шкідників, хвороб та стресів, що сприяє підвищенню показників урожайності та ефективності культурних рослин [1].

Використання метаболічно-активних речовин дає змогу краще розкрити потенціал рослини, підвищити стресостійкість проти факторів живої та неживої природи і в результаті збільшити продуктивність сільськогосподарських культур. Вчені всього світу проводять дослідження в цій галузі для виявлення нових корисних властивостей, які в подальшому можна було б використовувати в рослинництві для збільшення їхньої ефективності. Метаболічно-активні

речовини мають здатність прискорювати та уповільнювати ростові процеси в насінні рослин, захищати його від різних факторів, що безпосередньо впливають на подальше зростання рослини, перебіг її фізіологічних процесів та, що найголовніше, можуть підвищувати показники врожайності [2].

Огірки є поширеною у світі овочевою культурою, тому підвищення її врожайності є актуальним питанням. Окрім селекційно-генетичних методів, застосовують різні біологічні і синтетичні препарати та постійно розробляють нові, більш ефективні. Вони дають змогу змінювати і поліпшувати технології вирощування цієї культури і збільшувати її продуктивність [1].

Доведено, що врожайність безпосередньо залежить від розвитку рослини та її біохімічних показників, зокрема вмісту хлорофілу в листових пластинках. На ці показники впливають різні речовини, якими рослина живиться,

та ті, які синтезуються безпосередньо в рослинному організмі. Особливу увагу приділяють процесам у проростаючому насінні [1,2].

Параоксибензойну кислоту (ПОБК) було виявлено у складі захисної оболонки насіння вівса. Встановлено, що завдяки своїм антиоксидантним властивостям ця сполука слугує своєрідним захисним бар'єром для насіння і захищає від згубної дії бактеріальних та грибкових інфекцій. Завдяки цьому насіння має довшу життєздатність. ПОБК здатна дозозалежно впливати на ростові процеси, респіраторний метаболізм [3,4].

MgSO<sub>4</sub> є для рослинного організму одним із джерел магнію, який необхідний для функціонування понад 300 ферментів [5]. Окрім того, що магній є центральним атомом молекули хлорофілу, він бере участь у численних фізіологічних процесах під час росту та розвитку рослин. Проте в надмірних концентраціях сульфат магнію може спричинити негативну дію на рослинний організм. Зокрема, високий вміст сульфату магнію викликає ефект засолення, що в подальшому може призвести до зменшення сухої маси рослини. Дефіцит магнію може спричинити сильне зниження врожаю та якості сільськогосподарських культур [6,7].

Метіонін задіяний у багатьох метаболічних процесах рослинних організмів. Зокрема, він потрібний для біосинтезу білків, бере участь у регулюванні стану листових продохів та оптимізації обміну води в рослинному організмі. Активна форма метіоніну, S-аденозилметіонін, виконує ключові функції як основний донор метильної групи і як попередник метаболітів, як-от етилен, поліаміни, вітамін B<sub>1</sub>, 3-диметилсульфопропіонат (осмопротектор), і як джерело сірки: диметилсульфід [8].

Вітамін E є сильним антиоксидантом, який рослини використовують як складову захисних систем проти окиснювального стресу. Високий вміст токоферолів зумовлює стійкість до засолень, посухи, дії важких металів, озону, УФ-променів тощо. Вітамін E координовано працює з іншими антиоксидантами та взаємодіє з фітогормонами (етиленом, абсцизовою кислотою, саліциловою кислотою та ін.) [9]. Найвищу концентрацію токоферолів серед усіх органів рослин має насіння. Оскільки в насінні міститься висока концентрація поліненасичених жирних кислот (ПНЖК), токоферолі також можуть виконувати роль їхніх протекторів. Завдяки високому вмісту токоферолів насіння може довгий час залишатися життєздатним і перебувати в стані спокою за несприятливих умов навколишнього середовища. Крім того, токоферолі

захищають розсаду на ранніх етапах росту від згубної дії активних форм кисню, що утворюються під час активних біохімічних процесів у молодій рослині [10].

Убіхінон в організмі рослин бере участь в обмінних процесах, виявляє антиоксидантні властивості, бере участь у регуляції експресії генів, передачі сигналів у клітинах [9,11]. Разом із пластохіноном він бере участь у процесах фотофосфорильовання та окислювального фосфорильовання відповідно в тилакоїдах хлоропластів та на внутрішній мембрані мітохондрій. Також показано, що вітамін E ( $\alpha$ -токоферилацетат) та убіхінон можуть виявляти імуностимулювальну, антифітотвірсну та антибактеріальну активність [12,13].

**Метою** роботи є дослідження впливу метаболічно-активних речовин (MgSO<sub>4</sub>, параоксибензойної кислоти (ПОБК), вітаміну E, убіхінону-10 та метіоніну) у різних концентраціях на показники проростання насіння огірків сорту Ніжинський та окремі фізіологічні і біохімічні показники росту й розвитку рослин.

### Матеріали і методи дослідження

Дослідження з вивчення ефективності впливу таких метаболічно-активних речовин, як MgSO<sub>4</sub>, ПОБК, вітамін E, убіхінон-10 та метіонін, на показники проростання насіння огірків і фізіологічні та біохімічні показники росту й розвитку рослин проводили в навчально-науковій лабораторії з біохімічних та медико-валеологічних досліджень факультету природничо-географічних та точних наук і на території навчально-дослідної агробіостанції Ніжинського державного університету імені Миколи Гоголя. Для вивчення впливу досліджуваних речовин та їхніх комбінацій використовували насіння огірків (*Cucumis sativus*) сорту Ніжинський.

Під час проведення дослідів розчини речовин брали в таких концентраціях: параоксибензойна кислота (ПОБК) (0,1 %, 0,01 %, 0,001 %, 0,0001 %, 0,00001 %), метіонін (0,1 %, 0,01 %, 0,001 %, 0,0001 %, 0,00001 %), MgSO<sub>4</sub> (0,1 %, 0,01 %, 0,001 %, 0,0001 %, 0,00001 %), вітамін E ( $\alpha$ -токоферилацетат) (10<sup>-3</sup>М, 10<sup>-6</sup>М, 10<sup>-8</sup>М), убіхінон-10 (препарат «Кудесан») (10<sup>-3</sup>М, 10<sup>-6</sup>М, 10<sup>-8</sup>М).

Насіння огірків для кожної з концентрацій розчинів відбирали в кількості 50 шт., пророщували в чашках Петрі, які поміщали в термощафу за температури 20–25 °С на фільтрувальному папері, який був змочений розчинами досліджуваних речовин. У контрольній групі насіння пророщували на фільтрувальному папері, змоченому дистильованою водою. Повторність дослідів була

трикратна. Експеримент тривав 9 діб. Визначали енергію проростання насіння на 5-ту добу та кінцеве проростання (відсоток насінин, що проросли, наприкінці експерименту) [14].

Після проростання насіння та проведення підрахунків його висаджували в теплиці до окремих ємностей із підготовленим ґрунтом.

Для визначення впливу речовин на фізіологічні процеси росту вимірювали висоту стебла і площу листкової пластинки. Вимірювання проводили на двох фазах розвитку рослин: у фазі трьох листків та у фазі цвітіння. Для кожного вимірювання відбирали по 15 рослин з кожної групи. Площу листкової пластинки знаходили за допомогою довжини, ширини листкової пластинки та коефіцієнта, який для огірків становить 0,74 [15].

Вміст пігментів (хлорофілів *a*, *b*) і загальний вміст хлорофілів у листках рослин огірків визначали спектрофотометричним методом за довжин хвиль 665, 654, 649 нм [15].

Статистично опрацьовували матеріал за допомогою методів математичної статистики з використанням стандартних вбудованих функцій пакета спеціалізованого програмного забезпечення MS Office Excel-2010. Для перевірки

статистичних гіпотез використовували t-критерій Стьюдента. Достовірними вважали відмінності за рівня значущості  $p < 0,05$ .

### Результати дослідження та їх обговорення

У результаті проведених досліджень було продемонстровано, що енергія проростання насіння огірків становила 76 % у контрольній групі, а кінцеве проростання становило 82 %. Енергія проростання насіння огірків у розчинах ПОБК різної концентрації коливалась від 48 % (за концентрації ПОБК 0,0001 %) до 84 % (за концентрації ПОБК 0,01 %) (табл. 1). Кінцеве проростання насіння залежно від концентрації ПОБК коливалось від 72 % (0,00001 % ПОБК) до 90–94 % (відповідно 0,001 % і 0,01 % ПОБК) (табл. 1). Насіння огірків на розчинах метіоніну різних концентрацій проростало доволі рівномірно (табл. 1).

Енергія проростання насіння коливалась від 70 % (0,01 % метіонін) до 86 % (0,1 % метіонін). Кінцеве проростання насіння залежно від концентрації метіоніну коливалось від 82 % (0,0001 % метіонін) до 92 % (0,001 % метіонін) (табл. 1).

Таблиця 1. Показники проростання насіння огірків сорту Ніжинський після замочування в розчинах метаболічно-активних речовин різних концентрацій

Концентрації	5 діб (кількість)	%	9 діб (кількість)	%
Контрольна група				
Дистильована вода	38	76	41	82
Розчин ПОБК				
0,1 %	29	58	36	72
0,01 %	24	48	39	78
0,001 %	40	80	45	90
0,0001 %	42	84	47	94
0,00001 %	34	68	39	78
Розчин метіоніну				
0,1 %	37	74	45	90
0,01 %	36	72	41	82
0,001 %	42	84	46	92
0,0001 %	35	70	45	90
0,00001 %	43	86	43	86
Розчин MgSO <sub>4</sub>				
0,1 %	14	28	46	92
0,01 %	9	18	48	96
0,001 %	5	10	49	98
0,0001 %	21	42	45	90
0,00001 %	10	20	50	100
Розчин вітаміну Е (α-токоферилацетату)				
10 <sup>-3</sup> М	35	70	46	92
10 <sup>-6</sup> М	35	70	42	84
10 <sup>-8</sup> М	0	0	8	16
Розчин убіхінону-10				
10 <sup>-3</sup> М	39	78	46	92
10 <sup>-3</sup> М	30	60	38	76
10 <sup>-8</sup> М	23	46	37	74

Динаміка проростання насіння огірків на розчинах  $MgSO_4$  різної концентрації мала відмінний характер порівняно з іншими дослідними групами. Зокрема, енергія проростання насіння коливалась від 10 % (0,001 %  $MgSO_4$ ) до 42 % (0,01 %  $MgSO_4$ ). Проте кінцеве проростання насіння було високе – від 90 % (0,01 %  $MgSO_4$ ) до 98 % (0,001 %  $MgSO_4$ ) (табл. 1). Отримані результати узгоджуються з даними літератури щодо впливу розчинів  $MgSO_4$  на проростання насіння [6].

Відомо, що вітамін Е та убіхінон відіграють важливу роль у функціонуванні рослинного організму. Зокрема, вони залучені до біоенергетичних процесів, захисту від пошкоджуючої дії активних форм кисню та продуктів окислення, є ефективними імуностимуляторами тощо [13,16,17]. У результаті проведених досліджень було показано, що енергія проростання насіння огірків у розчинах убіхінону-10 в концентраціях  $10^{-3}M$ ,  $10^{-6}M$  і  $10^{-8}M$  становила відповідно 46 %, 60 % і 78 %. Кінцеве проростання насіння в розчинах убіхінону-10 в концентраціях  $10^{-3}M$ ,  $10^{-6}M$  і  $10^{-8}M$  становило відповідно 74 %, 76 % і 92 % (табл. 1).

Цікавим виявився результат дослідження впливу розчинів вітаміну Е різної концентрації на проростання насіння огірків (табл. 1). Енергія проростання насіння огірків у розчинах  $\alpha$ -токоферилацетату в концентраціях  $10^{-3}M$ ,  $10^{-6}M$  і  $10^{-8}M$  становила відповідно 0 %, 70 % і 70 %. Кінцеве проростання насіння в розчинах  $\alpha$ -токоферилацетату в концентраціях  $10^{-3}M$ ,  $10^{-6}M$  і  $10^{-8}M$  становило відповідно 16 %, 84 % і 92 %. Привертає увагу інгібуючий вплив розчину  $\alpha$ -токоферилацетату в концентрації  $10^{-3}M$  на проростання насіння. Відомо, що в насінні вітамін Е може бути протектором поліненасичених жирних кислот (ПНЖК) від окиснення [10]. Проте для проростання насіння огірків (*Cucumis sativus*) необхідне збільшення вмісту продуктів окислення ПНЖК, які утворюються внаслідок роботи ензиму ліпоксигенази-13, зокрема 13S-гідроксипероксилінолевої кислоти [10].

Вміст продуктів окиснення ліпідів швидко збільшується протягом проростання насіння. Припускають, що формування продуктів окислення жирних кислот може бути сигналом для деградації запасних ліпідів протягом періоду проростання. Беручи до уваги той факт, що за впливу потужного антиоксиданта убіхінону-10 не спостерігається інгібування проростання насіння, можна припустити, що інгібуючий ефект вітаміну Е в концентрації  $10^{-3}M$  може бути не пов'язаний із його антиоксидантними властивостями. Як продемонстровано в роботі [18,19], максимум зростання вмісту 13S-гідроксипероксилінолевої кислоти як продукту ліпоксигенази-13 спостерігається на 3-тню добу і надалі поступово знижується, що може пояснювати поступове підвищення відсотка насінин, що починають проростати. Отже, можна припустити, що інгібуючий ефект вітаміну Е в концентрації  $10^{-3}M$  може бути зумовлений безпосереднім інгібуючим впливом на ензим ліпоксигеназу-13.

У результаті проведених досліджень було показано, що за передпосівної обробки насіння огірків розчинами ПОБК,  $MgSO_4$  і вітаміну Е довжина стебла у фазі трьох листків була меншою порівняно з контролем (табл. 2), що може свідчити про певний інгібуючий вплив цих метаболічно-активних сполук на ростові процеси. У фазі цвітіння довжина стебла у рослин, насіння яких було оброблене розчинами ПОБК, вітаміну Е і убіхінону-10, також була достовірно нижчою за контрольні величини. Отримані результати підтверджують інгібуючий вплив ПОБК на ростові процеси у рослин, що було продемонстровано у [4]. У фазі цвітіння рослини, насіння яких обробили розчином сульфату магнію, мали найбільший відсотковий приріст висоти стебла серед усіх інших груп – 72 % (табл. 2).

Площа листка – один із найважливіших критеріїв його морфологічних особливостей. Крім цього, листок має найбільші адаптивні властивості

Таблиця 2. Довжина стебла та площа листової пластинки рослин огірків сорту Ніжинський за передпосівної обробки насіння метаболічно-активними речовинами в різних концентраціях

Група	Довжина стебла, см			Площа листової пластинки, см <sup>2</sup>		
	Фаза трьох листків	Фаза цвітіння	Приріст, %	Фаза трьох листків	Фаза цвітіння	Приріст, %
Контроль	20,2±0,9	31,2±1,8#	+55	34,2±1,8	37,9±2,7	+11
ПОБК	15,1±0,6*	23,0±1,4*#	+53	22,5±1,6*	35,2±1,8#	+56
Метіонін	20,8±1,0	27,9±1,9#	+34	30,5±1,5	38,6±1,6#	+27
$MgSO_4$	16,7±1,0*	28,7±1,7#	+72	33,4±1,7	47,9±2,2*#	+43
Вітамін Е	18,2±0,7*	25,2±1,1*#	+38	27,1±1,0*	35,9±1,8#	+32
Убіхінон-10	20,6±0,6	26,6±1,4*#	+29	33,9±1,6	35,1±1,9	+3

Примітки: \* – зміни достовірні порівняно з контролем ( $p < 0,05$ ); # – зміни достовірні порівняно з показниками у фазі трьох листків ( $p < 0,05$ ).

до умов навколишнього природного середовища, що виражається в зміні площі асиміляційної поверхні рослини залежно від чинників абіотичного та біотичного характеру. Серед цих чинників першочергове значення має швидкість формування оптимальної листкової поверхні. Розмір асиміляційного листкового апарату та період його активної дії є прямим показником фотосинтетичної активності рослини. Найкращу за якістю продукцію сільськогосподарських рослин можна отримати в посівах з оптимальною за розмірами площею листків, оптимальним перебігом її формування і структурою [20]. У групах рослин, насіння яких обробляли перед посівом розчинами ПОБК і вітаміну Е, показники у фазі трьох листків були значно нижчими в порівнянні з контрольною групою. Ці результати узгоджуються з показниками довжини стебла в цих рослин. За передпосівної обробки насіння розчином  $MgSO_4$  у фазі трьох листків середня площа поверхні листкової пластинки не відрізняється від контрольних величин, але у фазі цвітіння середня площа листкової пластинки в цій групі суттєво зростає і становить  $47,9 \pm 2,2 \text{ см}^2$ , що на 26 % вище за контрольні величини. Отримані результати свідчать про стимуляцію розвитку вегетативних органів рослин за передпосівної обробки насіння розчином  $MgSO_4$ .

Вміст хлорофілу в листковому апараті рослин є одним із найважливіших біохімічних показників, бо саме завдяки хлорофілу відбувається фіксація енергії світла і біосинтез вуглеводів. При переході рослин до стадії цвітіння відбуваються зміни в регуляції біосинтезу і деградації фотосинтезуючих пігментів. Застосування досліджуваних метаболічно-активних речовин для передпосівної обробки насіння огірків спричиняє певні зміни у вмісті хлорофілів у листках рослин огірків (табл. 3). Вміст загальних хлорофілів, хлорофілу *a* і *b* в листках огірків у фазі

трьох листків достовірно не відрізнявся від контрольних величин у всіх дослідних групах. Слід зазначити, що у всіх дослідних групах спостерігалось зростання вмісту хлорофілів у фазі цвітіння порівняно з фазою трьох листків (табл. 3). Найбільше зростання було в рослин, насіння яких перед посівом обробляли розчинами ПОБК, метіоніну та вітаміну Е. Вміст як хлорофілу *a*, так і хлорофілу *b* зростав практично однаково. Отримані результати можуть свідчити про ефективність використання цих речовин у відповідних концентраціях для підвищення рівня хлорофілів у листі рослин огірків сорту Ніжинський.

Точніше визначити ефективність рівня хлорофілу дає змогу розрахунок його вмісту на площу поверхні листкового апарату. Аналізуючи показники вмісту хлорофілів відповідно до площі листкового апарату, слід зазначити, що відбувається також зростання їхнього вмісту у фазі цвітіння порівняно з фазою трьох листків. Зокрема, у рослин, насіння яких проходило передпосівну обробку розчинами ПОБК, метіоніну та вітаміну Е, вміст загальних хлорофілів зростав відповідно на 129 %, 134 % і 155 % у фазі цвітіння порівняно з фазою трьох листків. Найнижчий показник щодо вмісту загального хлорофілу до площі листкового апарату спостерігається в групі рослин, насіння яких обробляли перед посівом розчином  $MgSO_4$  (був нижчим за контрольні величини на 12 %). Зростання цього показника у фазі цвітіння порівняно з фазою трьох листків було тільки на 21 %, що є найнижчим показником серед усіх досліджуваних груп рослин.

Передпосівна обробка насіння огірків розчином вітаміну Е більше впливає на вміст хлорофілів (хлорофілу *a* і *b*), ніж на морфометричні показники, які вивчали (довжина стебла і площа листкової пластинки), що може бути зумовлене роллю вітаміну Е як модулятора біосинтезу хлорофілів.

Таблиця 3. Вміст хлорофілів у листках огірків сорту Ніжинський за передпосівної обробки насіння метаболічно-активними речовинами в різних концентраціях

Групи	Загальний хлорофіл, мг/г сирої маси		
	Фаза трьох листків	Фаза цвітіння	Зміна, %
Контроль	4,12±0,21	6,77±0,52#	+66
ПОБК	3,83±0,11	13,70±0,87*#	+260
Метіонін	4,74±0,24	14,08±0,75*#	+200
$MgSO_4$	4,35±0,23	7,53±0,45#	+70
Вітамін Е	4,19±0,24	14,16±0,86*#	+228
Убіхінон-10	4,06±0,35	6,40±0,47#	+56

Продовження табл. 3

Групи	Хлорофіл <i>a</i> , мг/г сирової маси			Хлорофіл <i>b</i> , мг/г сирової маси		
	Фаза трьох листків	Фаза цвітіння	Зміна, %	Фаза трьох листків	Фаза цвітіння	Зміна, %
Контроль	3,01±0,12	4,50±0,25#	+50	1,29±0,16	2,27±0,14#	+77
ПОБК	2,76±0,14	9,74±0,78*#	+246	1,21±0,10	4,45±0,26*#	+275
Метіонін	3,40±0,25	9,98±0,74*#	+194	1,51±0,09	4,61±0,28*#	+207
MgSO <sub>4</sub>	3,01±0,26	5,15±0,45#	+73	1,41±0,11	2,81±0,14*#	+100
Вітамін Е	3,01±0,24	9,94±0,84*#	+233	1,34±0,13	4,61±0,25*#	+254
Убіхінон-10	2,97±0,16	4,25±0,27#	+40	1,28±0,14	2,29±0,01#	+77

Примітки: \* – зміни достовірні порівняно з контролем ( $p < 0,05$ ); # – зміни достовірні порівняно з показниками у фазі трьох листків ( $p < 0,05$ ).

Крім того, слід зазначити, що хлорофіл є не лише основним пігментом фотосинтезу, а й головним фактором урожайності рослин. Концентрація хлорофілів у листі рослин має високий ступінь кореляції з врожайністю культури. Фотосинтетичні пігменти, зокрема хлорофіли, виконують важливу роль у регуляції онтогенезу рослин. Відомо, що навіть незначна затримка ініціації флоральної трансформації вегетативних апікальних меристем у пагонів може призвести до суттєвого зменшення врожаю, а у разі зрушення фаз онтогенезу в часі різко зростає негативний вплив екологічних факторів на ріст та врожайність рослин. Вміст фотосинтетичних пігментів, зокрема хлорофілу *b*, є фактором, що активує сигнальні шляхи, які регулюють зміни періодів онтогенезу в рослин [21]. Тому отримані результати можуть стати передумовою збільшення врожайності.

### Висновки

У роботі вперше було досліджено вплив метаболічно-активних речовин (ПОБК, метіоніну, MgSO<sub>4</sub>, вітаміну Е та убіхінону-10) на проростання насіння огірків сорту Ніжинський та окремі фізіологічні і біохімічні показники росту й розвитку рослин огірків. У результаті проведених досліджень було продемонстровано дозозалежний ефект досліджуваних метаболічно-активних

речовин (убіхінону-10, вітаміну Е, параоксибензойної кислоти, метіоніну і MgSO<sub>4</sub>) на енергію проростання насіння огірків (*Cucumis sativus*) сорту Ніжинський. Показано, що найефективнішими концентраціями досліджуваних сполук для стимуляції проростання насіння були 0,001 % розчини ПОБК, метіоніну і MgSO<sub>4</sub>, та 10<sup>-8</sup>М розчини убіхінону-10 і вітаміну Е ( $\alpha$ -токоферилацетату).

Показано ефективність передпосівної обробки насіння огірків 0,001 % розчином MgSO<sub>4</sub> щодо стимуляції ростових процесів рослин огірків сорту Ніжинський, що виражалось у стимуляції росту стебла і зростанні площі листової пластинки.

Найбільша ефективність щодо збільшення вмісту загальних хлорофілів, хлорофілу *a* і *b* в листі огірків спостерігалась у рослин, насіння яких перед посівом обробляли 0,001 % розчинами ПОБК і метіоніну та 10<sup>-8</sup>М розчином вітаміну Е, що може свідчити про зміни в процесах біосинтезу або деградації цих фотосинтезуючих пігментів.

Результати цього дослідження можуть мати практичне значення для подальшого вивчення впливу цих метаболічно-активних речовин на рослинні організми з метою подальшого застосування в рослинництві. Речовини, які показали свою ефективність, можуть бути використані як складові компоненти стимулюючих препаратів.

### Список літератури

1. Біостимулятори рослин природного походження. Презентація. Сайт МНТЦ Агробіотех [Інтернет]. [цитовано 2020 квіт. 19]. Доступно на: <http://www.agrobiotech.com.ua>.
2. Nardi S, Pizzeghello D, Schiavon M, Ertani A. Plant biostimulants: physiological responses induced by protein hydrolyzed-based products and humic substances in plant metabolism. *Sci. agric. (Piracicaba, Braz.)*. 2016;73(1):18–23. DOI: 10.1590/0103-9016-2015-0006
3. Cho JY, Moon JH, Seong KY, Park KH. Antimicrobial Activity of 4-Hydroxybenzoic Acid and trans 4-Hydroxycinnamic Acid Isolated and Identified from Rice Hull. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*. 1998;62(11):2273–6. DOI: 10.1271/bbb.62.2273
4. Barkosky RR, Einhellig FA. Allelopathic interference of plant-water relationships by para-hydroxybenzoic acid. *Bot. Bull. Acad. Sin.* 2003;44:53–8. Available from: <http://ejournal.sinica.edu.tw/bbas/content/2003/1/bot441-08.html>.
5. Guo W, Chen S, Hussain N, Cong Y, Liang Z, Chen K. Magnesium stress signaling in plant: just a beginning. *Plant Signal Behav.* 2015;10(3):e992287. DOI: 10.4161/15592324.2014.992287

6. Abid M, Haddad M, Ferchichi A. Effect of magnesium sulphate on the first stage of development of Lucerne [Internet]. In: Porqueddu C, Tavares de Sousa MM, editors. Sustainable Mediterranean grasslands and their multi-functions. Zaragoza: CIHEAM / FAO / ENMP / SPPF; 2008, p. 405–8. Available from: <http://om.ciheam.org/om/pdf/a79/00800685.pdf>.
7. Maathuis FJM. Physiological functions of mineral macronutrients. *Curr. Opin. Plant Biol.* 2009;12:250–8. DOI: 10.1016/j.pbi.2009.04.003
8. Hildebrandt TM, Nunes Nesi A, Araújo WL, Braun HP. Amino Acid Catabolism in Plants. *Mol Plant.* 2015;8(11):1563–79. DOI: 10.1016/j.molp.2015.09.005
9. Miret JA, Munné-Bosch S. Redox signaling and stress tolerance in plants: a focus on vitamin E. *Ann N Y Acad Sci.* 2015;1340:29–38. DOI: 10.1111/nyas.12639
10. Sattler SE, Gilliland LU, Magallanes-Lundback M, Pollard M, Della Penna D. Vitamin E Is Essential for Seed Longevity and for Preventing Lipid Peroxidation during Germination. *The Plant Cell.* 2004;16:1419–32. DOI: 10.1105/tpc.021360
11. Liu M, Lu S. Plastoquinone and Ubiquinone in Plants: Biosynthesis, Physiological Function and Metabolic Engineering. *Front Plant Sci.* 2016;7:1898. DOI: 10.3389/fpls.2016.01898
12. Stahl E, Hartmann M, Scholten N, Zeier J. A Role for Tocopherol Biosynthesis in Arabidopsis Basal Immunity to Bacterial Infection. *Plant Physiol.* 2019;181(3):1008–1028. DOI: 10.1104/pp.19.00618
13. Рожнова НА, Герашенков ГА. Белковые и биохимические маркеры при системной индуцированной устойчивости к фитовирусам у растений табака и картофеля. Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2014;175(4):99–108.
14. Єщенко ВО, Копитко ПГ, Костогриз ПВ, Опришко ВП. Основи наукових досліджень в агрономії. Вінниця: Едельвейс і К; 2014. 332 с.
15. Грицаєнко ЗМ, Грицаєнко АО, Карпенко ВП. Методи біологічних та агрохімічних досліджень рослин і ґрунтів. Київ: НІЧЛАВА; 2003. 320 с.
16. Mène-Saffrané L. Vitamin E biosynthesis and its regulation in plants. *Antioxidants.* 2018;7(1):2. DOI: 10.3390/antiox7010002
17. Mokrosnop VM. Functions of tocopherols in the cells of plants and other photosynthetic organisms. *Ukr. Biochem. J.* 2014;86(5):26–36. DOI: 10.15407/ubj86.05.026
18. Feussner I, Wasternack C, Kindt H, Kuhnt H. Lipoxygenase-catalyzed oxygenation of storage lipids is implicated in lipid mobilization during germination. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.* 1995;92:11849–53. DOI: 10.1073/pnas.92.25.11849
19. Feussner I, Balkenhohl TJ, Porzel A, Kühn H, Wasternack C. Structural elucidation of oxygenated storage lipids in cucumber cotyledons. Implication of lipid body lipoxygenase in lipid mobilization during germination. *J Biol Chem.* 1997;272(34):21635–41. DOI: 10.1074/jbc.272.34.21635
20. Шадчина ТМ, Гуляєв БІ, Кірізіій ДА. Регуляція фотосинтезу і продуктивності рослин: фізіологічні та екологічні аспекти. Київ: Укр. фітосоціоцентр; 2006. 384 с.
21. Тютерева ЕВ, Дмитриева ВА, Войцеховская ОВ. Хлорофилл *b* как источник сигналов, регулирующих развитие и продуктивность растений. Сельскохозяйственная биология. 2017;52(5):843–55. DOI: 10.15389/agrobiology.2017.5.843rus

### References

1. Biostimulants of plants of natural origin. Presentation. Website MNTTS Agrobiotech [Internet]. [cited 2020 April 19]. Available from: <http://www.agrobiotech.com.ua>. Ukrainian.
2. Nardi S, Pizzeghello D, Schiavon M, Ertani A. Plant biostimulants: physiological responses induced by protein hydrolyzed-based products and humic substances in plant metabolism. *Sci. agric. (Piracicaba, Braz.)*. 2016;73(1):18–23. DOI: 10.1590/0103-9016-2015-0006
3. Cho JY, Moon JH, Seong KY, Park KH. Antimicrobial Activity of 4-Hydroxybenzoic Acid and trans 4-Hydroxycinnamic Acid Isolated and Identified from Rice Hull. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry.* 1998;62(11):2273–6. DOI: 10.1271/bbb.62.2273
4. Barkosky RR, Einhellig FA. Allelopathic interference of plant-water relationships by para-hydroxybenzoic acid. *Bot. Bull. Acad. Sin.* 2003;44:53–8. Available from: <http://ejournal.sinica.edu.tw/bbas/content/2003/1/bot441-08.html>.
5. Guo W, Chen S, Hussain N, Cong Y, Liang Z, Chen K. Magnesium stress signaling in plant: just a beginning. *Plant Signal Behav.* 2015;10(3):e992287. DOI: 10.4161/1559.2324.2014.992287
6. Abid M, Haddad M, Ferchichi A. Effect of magnesium sulphate on the first stage of development of Lucerne [Internet]. In: Porqueddu C, Tavares de Sousa MM, editors. Sustainable Mediterranean grasslands and their multi-functions. Zaragoza: CIHEAM / FAO / ENMP / SPPF; 2008, p. 405–8. Available from: <http://om.ciheam.org/om/pdf/a79/00800685.pdf>.
7. Maathuis FJM. Physiological functions of mineral macronutrients. *Curr. Opin. Plant Biol.* 2009;12:250–8. DOI: 10.1016/j.pbi.2009.04.003
8. Hildebrandt TM, Nunes Nesi A, Araújo WL, Braun HP. Amino Acid Catabolism in Plants. *Mol Plant.* 2015;8(11):1563–79. DOI: 10.1016/j.molp.2015.09.005
9. Miret JA, Munné-Bosch S. Redox signaling and stress tolerance in plants: a focus on vitamin E. *Ann N Y Acad Sci.* 2015;1340:29–38. DOI: 10.1111/nyas.12639
10. Sattler SE, Gilliland LU, Magallanes-Lundback M, Pollard M, Della Penna D. Vitamin E Is Essential for Seed Longevity and for Preventing Lipid Peroxidation during Germination. *The Plant Cell.* 2004;16:1419–32. DOI: 10.1105/tpc.021360
11. Liu M, Lu S. Plastoquinone and Ubiquinone in Plants: Biosynthesis, Physiological Function and Metabolic Engineering. *Front Plant Sci.* 2016;7:1898. DOI: 10.3389/fpls.2016.01898
12. Stahl E, Hartmann M, Scholten N, Zeier J. A Role for Tocopherol Biosynthesis in Arabidopsis Basal Immunity to Bacterial Infection. *Plant Physiol.* 2019;181(3):1008–28. DOI: 10.1104/pp.19.00618
13. Rozhnova NA, Gerashchenkov GA. Protein and biochemical markers in systemic induced resistance to phytoviruses in tobacco and potato plants. *Trudy po prikladnoj botanike, genetike i selekcii.* 2014;175(4):99–108. Russian.
14. Yeshchenko VO, Kopytko PG, Kostohryz PV, Opryshko VP. Osnovy naukovykh doslidzhen v ahronomii. Vinnytsia: Edelweis i K; 2014. 332 p. Ukrainian.
15. Grytsaenko ZM, Grytsaenko AO, Karpenko VP. Metody biolohichnykh ta ahrokhimichnykh doslidzhen roslin i gruntiv. Kyiv: NICHЛАВА; 2003. 320 p. Ukrainian.
16. Mène-Saffrané L. Vitamin E biosynthesis and its regulation in plants. *Antioxidants.* 2018;7(1):2. DOI: 10.3390/antiox7010002
17. Mokrosnop VM. Functions of tocopherols in the cells of plants and other photosynthetic organisms. *Ukr. Biochem. J.* 2014;86(5):26–36. DOI: 10.15407/ubj86.05.026
18. Feussner I, Wasternack C, Kindt H, Kuhnt H. Lipoxygenase-catalyzed oxygenation of storage lipids is implicated in lipid mobilization during germination. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.* 1995;92:11849–53. DOI: 10.1073/pnas.92.25.11849
19. Feussner I, Balkenhohl TJ, Porzel A, Kühn H, Wasternack C. Structural elucidation of oxygenated storage lipids in cucumber cotyledons. Implication of lipid body lipoxygenase in lipid mobilization during germination. *J Biol Chem.* 1997;272(34):21635–41. DOI: 10.1074/jbc.272.34.21635

20. Shadchyna TM, Gulyaev BI, Kiriziy DA. Regulation of photosynthesis and plant productivity: physiological and environmental aspects. Kyiv: Ukr. Fitosociocentr; 2006. 384 p. Ukrainian.
21. Tyutereva EV, Dmitrieva VA, Voitsekhovskaja OV. Chlorophyll *b* as a source of signals steering plant development. Sel'skokhozyaistvennaya biologiya [Agricultural Biology]. 2017;52(5): 843–55. DOI: 10.15389/agrobiology.2017.5.843rus. Russian.

*V. Lisovytskyi, O. Kuchmenko*

## INFLUENCE OF METABOLICALLY ACTIVE SUBSTANCES ON INDIVIDUAL PHYSIOLOGICAL AND BIOCEMICAL INDICES OF GROWTH AND DEVELOPMENT OF NIZHYNKY CUCUMBERS

Studies have been conducted on the effect of metabolically active substances ( $\text{MgSO}_4$ , paraoxybenzoic acid (POBA), vitamin E, ubiquinone-10, and methionine) at different concentrations on the germination rates of Nizhynsky cucumber seeds, with selected physiological and biochemical indices. During the experiments, the solutions of the substances were taken at the following concentrations: paraoxybenzoic acid (0,1 %, 0,01 %, 0,001 %, 0,0001 %, 0,00001 %), methionine (0,1 %, 0,01 %, 0,001 %, 0,0001 %, 0,00001 %),  $\text{MgSO}_4$  (0,1 %, 0,01 %, 0,001 %, 0,0001 %, 0,00001 %), vitamin E ( $\alpha$ -tocopheryl acetate) ( $10^{-3}\text{M}$ ,  $10^{-6}\text{M}$ ,  $10^{-8}\text{M}$ ), ubiquinone-10 (“Kudesan” drug) ( $10^{-3}\text{M}$ ,  $10^{-6}\text{M}$ ,  $10^{-8}\text{M}$ ). As a result of the conducted studies, the dose-dependent effect of the studied metabolically active substances on the energy of germination of seeds of cucumbers (*Cucumis sativus*) of the Nizhynsky variety was demonstrated. It was shown that the most effective concentrations of the compounds tested to stimulate seed germination were 0,001 % solutions of POBA, methionine and  $\text{MgSO}_4$ , and  $10^{-8}\text{M}$  solutions of ubiquinone-10 and vitamin E ( $\alpha$ -tocopheryl acetate). The efficiency of pre-sowing treatment of cucumber seeds with 0,001 % solution of  $\text{MgSO}_4$  for stimulation of growth processes of cucumber plants of the Nizhynsky variety was shown, which was expressed in stimulation of stem growth and the growth of the leaf blade area. The highest efficiency in increasing the content of total chlorophylls, chlorophyll a and b in the leaves of the cucumbers was observed in plants whose seeds were treated with 0,001 % solutions of POBA and methionine and  $10^{-8}\text{M}$  vitamin E solution before sowing, which may indicate changes in the processes of biosynthesis or degradation of these pigments. The results of this study may be of practical importance for further study of the effect of these metabolically active substances on plant organisms for further use in plant production. Substances that have shown their effectiveness can be used as constituents of stimulant drugs.

**Keywords:** cucumbers, germination, stem length, leaf area, chlorophyll, paraoxybenzoic acid, methionine, magnesium sulfate, vitamin E, ubiquinone-10.

*Матеріал надійшов 28.04.2020*