

ВПЛИВ ПОЛІГУАНІДИНУ НА СПРЯМОВАНІСТЬ БІОХІМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ У РОСЛИНАХ ПШЕНИЦІ (*TRITICUM L.*)

А.С. Левішко, І.І. Гуменюк, В.О. Цвігун, С.О. Мазур, О.І. Боцула

Інститут агроекології і природокористування НААН (м. Київ, Україна)

e-mail: aلودua2@gmail.com; ORCID: 0000-0003-4037-1730

e-mail: gumenyuk.ir@gmail.com; ORCID: 0000-0002-6692-0171

e-mail: vika-natceovich@ukr.net; ORCID: 0000-0002-9517-9810

e-mail: mazurlanalana@gmail.com; ORCID: 0000-0002-5025-0134

e-mail: botsulaiar@ukr.net; ORCID: 0000-0001-7047-0102

Пошук дедалі нових біостимулювальних речовин є вимогою часу до сучасного сільського господарства, яке має бути екологічно безпечним та екологічно збалансованим. Відомо, що компанії-виробники сировини щороку інвестують у розробку нових продуктів із біостимулювальною дією для сільськогосподарських культур. З аналізу проведених досліджень помічено, що мало відомо про механізм дії цих речовин як на сільськогосподарські рослини, так і на нецільові об'єкти навколишнього природного середовища. Серед широкого спектра таких речовин виділяють групу сполук, що містять у своєму складі гуанідинову групу. Ці речовини легкодоступні, високоефективні (ефективніші четвертинних амонієвих сполук та хлорактивних препаратів), не утворюють токсичних продуктів у воді, не інактивуються білками, мають стабільні, інертні водні розчини та бактерицидну дію. Загальновідомо, що зростання продуктивності посівів сільськогосподарських культур пов'язують із підвищенням активності та ефективності роботи фотосинтетичного апарату рослин. Метою нашої роботи було розширити розуміння та, можливо, визначити належне місце полігуанідину серед інших речовин біостимулювальної дії у сільському господарстві. Визначення вмісту хлорофілів та каротиноїдів здійснювали спектрофотометричним методом. Для визначення флавоноїдів застосовували спектрофотометричну методику, яка базується на вимірюванні їх абсорбції з комплексом алюмінію хлориду. Доведено, що обробка пшениці в фазі куцання і виходу в трубку препаратом полігуанідину найбільше впливала на вміст білка в зерні пшениці озимої, що забезпечувало формування цього показника на рівні 11,0–13,4% порівняно з контролем. Обробка насіння пшениці препаратом на основі полігуанідину сприяла збільшенню кількості хлорофілу а майже удвічі, дещо менше зростали вміст хлорофілу b та каротину. Отже, застосування полігуанідину сприяє ефективній роботі фотосинтетичного апарату рослин, що зумовить збільшення їх продуктивності.

Ключові слова: фотосинтетичний апарат рослин, рістстимулювальні речовини, сільське господарство.

ВСТУП

Сучасне рослинництво вимагає балансу високої та сталої продуктивності з максимальною безпекою для навколишнього природного середовища, споживачів і працівників сільського господарства. Відома хімічна сполука полігуанідин, яку раніше використовувалася як у складі дезінфектантів, поверхнево активних речовин та комплексотворювачів, останнім часом

стала широко застосовуватися як стимулятор росту та розвитку рослин [1–8]. Це унікальний нетоксичний полімер, що володіє низькою токсичністю, високою стабільністю та є екологічно безпечним, адже розкладається до нетоксичних речовин та не пошкоджує об'єкти, що ним обробляються [9].

Також було чітко показано, що випадки застосування препаратів полігуанідину для дезінфекції різноманітних сільськогосподарських об'єктів не призвели до негатив-

них наслідків для біоценозів, а міграція препарату по харчових ланцюгах була мінімальною [10].

Дослідження Almashova, V.S. та Skok, S.V. засвідчили, що найбільший приріст урожаю зерна пшениці озимої, за умов використання препарату на основі цієї речовини, спостерігався при 3-кратній обробці посівів (у фазі кушення, прапорцевого листка, наливу зерна) — 3,2 ц/га, що більше на 18% відносно контрольного варіанта. При цьому найістотніший вплив обробітку посівів відзначався у фазі кушення. Він становив 2,9 ц/га та на 16% переважав контроль [2]. Незважаючи на повсюдне поширення застосування препаратів полігуанідину як стимулятора росту, в літературі відсутні дані щодо його механізму дії на рослин. Існує чимало прикладів застосування полімерних похідних гуанідину та поліалкіленгуанідинів, але найчастіше їх використовують як дезінфектанти та антисептики у ветеринарній медицині, агро-виробництві, біотехнології та рослинництві. Серед переваг цієї речовини, порівняно з іншими біоцидами — відносна хімічна інертність, що дає змогу створювати ефективні композиції з іншими біологічно активними речовинами та їх екологічна безпечність.

Тому **метою нашої роботи** було розширити існуючі розуміння та, можливо, визначити належне місце полігуанідину серед інших речовин біостимулювальної дії, що дедалі широко застосовується в сільському господарстві.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Хімічна сполука з молекулярною масою 4–10 тис. ум. од. під назвою полігексаметиленгуанідингідрохлорид (ПГМГ-ГХ), раніше використовувалась у складі антисептиків, дезінфектантів, катіонних поліелектролітів, поверхнево активних речовин, комплексотворювачів. Відомо також використання ПГМГ з молекулярною масою 10 тис. ум. од. в утворенні фунгіцидної суміші для протруювання насіння пшениці проти грибкових уражень з пентатіурамом

[11]. Раніше часто поширеним було повсюдне використання бурштинової кислоти у рослинництві для підвищення врожайності зернових культур. Передпосівну обробку насіння пшениці здійснювали 0,4–0,6% розчином бурштинової кислоти, що сприяла стимулюванню росту рослин та збільшенню врожайів зерна [12]. Однак до недоліків цього способу слід зарахувати високу вартість та великі витрати препарату через його високих концентрацій, а також незначне стимулювання проростання насіння. Також недоліками даних обробок була трудомісткість процесу обробки та як наслідок отримання незначних змін порівняно із контрольним варіантом (обробка водою). Однак використання полігексаметиленгуанідингідрохлориду як стимулятора росту і розвитку культурних рослин не було відомо раніше. Також компанії-виробники сировини щороку інвестують у розробку нових продуктів із біостимулювальною дією для сільськогосподарських культур. З аналізу проведених досліджень помічено, що мало відомо про механізм дії цих речовин як на сільськогосподарські рослини, так і на нецільові об'єкти навколишнього природного середовища [13]. Існує багато робіт, що намагаються визначити, чи є дія біостимуляторів на продуктивність рослин прямою чи опосередкованою реакцією, наприклад, через ґрунт чи мікробіом. У багатьох випадках біостимулятори розглядаються з точки зору їх дії на різні регуляторні та функціональні системи рослин (сигнальні, метаболічні, поглинальні та транспортні механізми тощо). Однак, загалом, ці способи дії дуже різноманітні та можуть включати активацію метаболізму азоту чи вивільнення фосфору з ґрунтів, загальну стимуляцію мікробної активності ґрунту або ж стимуляцію росту коренів і посилення приживлення рослин. Відомо, що різні біостимулятори стимулюють ріст рослин, шляхом поліпшення метаболізму рослин, стимулювання проростання, посилення фотосинтезу та збільшення поглинання поживних речовин із ґрунту, тим самим підвищуючи продуктивність рослин. Також вони можуть пом'якшити негатив-

ний вплив чинників абіотичного стресу на рослини та демонструють помітні ефекти при контролі посухостійкості, впливу спеки, засолення, охолодження, заморозків, окисного, механічного та хімічного стресу. Послаблення абіотичного стресу є, мабуть, найбільш часто згадуваною перевагою біостимуляторів [14–18].

Важливим параметром при синтезі та застосуванні антисептичних препаратів є їхня дія не тільки на мікрооб'єкти, від яких проводять захист, але й на здоров'я людини. За параметрами токсичності ПГМГ-ГХ відносять до третього класу помірно небезпечних речовин за потрапляння до шлунка та до четвертого класу мало небезпечних речовин при потраплянні на шкіру. Доведено, що за надходження у навколишнє природне середовище речовина не несе загрози для біоценозів [19]. Загалом вважається, що для визначення способу дії будь-якої речовини необхідно «охарактеризувати специфічний вплив на дискретний біохімічний або регуляторний процес», таким чином, наприклад, «спосіб дії» гліфосату полягає в пригніченні активності ферменту енолпірувілшикімат-3-фосфатсинтази (EPSPS). Біостимулятори часто не відповідають цьому стандарту специфічності, та і справді існує дуже небагато біостимулювальних продуктів, для яких визначено конкретну біохімічну ціль і відомий спосіб дії. Загалом, розробка, впровадження та маркетинг біостимулятора не вимагає демонстрації механізму дії, але все-таки в інтересах виробників цих продуктів прагнути до його розуміння, щоб продукт міг бути покращено, і його використання можна було оптимізувати для різних умов і систем вирощування [14].

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Дослідження здійснювалися у акредитованій випробувальній лабораторії ВЛ «ВАБ» відділу агроєкології і біобезпеки ІАП НААН упродовж 2021–2022 рр. Дослідження дії полігуанідину на фізіологічні показники рослин пшениці (*Triticum L.*) проводили за вегетаційних та лаборатор-

них умов. Використовували насіння пшениці озимої сорту Богдана (насіння для обробки та насіння отримане із врожаю оброблених рослин). Рослини вирощували у вегетаційних посудинах об'ємом 12 л на чорноземі типовому впродовж 30 діб, визначали біометричні показники протягом досліду. У лабораторних умовах визначали енергію проростання та лабораторну схожість за ДСТУ 4138-2002.

Обробка та відбір рослин пшениці здійснювались за таких фізіологічно важливих фаз онтогенезу: обробка насіння, перша обробка по вегетації — початок кущення; друга обробка по вегетації — вихід у трубку. Норма внесення розчину полігуанідину була 100 мл/т оброблюваного насіння на 10 л води; обробка по вегетації, стандартна концентрація сягала 200 мл/га; обробка по вегетації, друга концентрація — 150 мг/га; обробка насіння + обробка по вегетації (стандартна концентрація — 100 мл/т + 200 мл/га). Об'єм води для розведення розчину становив 200 л. Контрольні рослини оброблювали дистильованою водою в аналогічних до розчину полігуанідину нормах.

Визначення вмісту хлорофілів та каротиноїдів здійснювали методом спектрофотометрії (спектрофотометр Ulab 102 UV), за довжиною хвилі, що відповідає максимумам спектрів поглинання досліджуваних пігментів у розчиннику (хлорофіл *a* $\lambda=665$ нм, для хлорофіл *b* — $\lambda=649$ нм, каротиноїди — $\lambda=441$ нм). Розчином порівняння був 96% етанол [20].

Для визначення флавоноїдів застосовували методику, яка базується на вимірюванні їх абсорбції з комплексом алюміній хлориду. Кількісний вміст було перераховано на рутин. Визначення оптичної густини розчинів проводили за довжиною хвилі 410 нм [21]. Вміст вільного проліну здійснювали методом пінгідрину. Оптичну густину вимірювали за довжиною хвилі 520 нм на спектрофотометрі Ulab 102 UV. Значення вмісту проліну розраховували за допомогою калібрувальної кривої, що побудована на основі хімічно чистого проліну («Sigma») [22].

Усі досліди проводили в 3-разовому біологічному та 5-разовому аналітичному повтореннях. Статистичну обробку експериментальних даних здійснювали з використанням STATISTICA 10 та Microsoft Excel 10.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Полігексаметиленгуанідингідрохлорид використовують у сільському господарстві, тому що він сприяє захисту насіння та рослин, стимуляції росту та збільшенню терміну зберігання плодів [23]. Тому у наших дослідженнях із метою виявлення біостимулювальних властивостей полігуанідину визначали лабораторну схожість та енергію проростання насіння пшениці озимої (*Triticum aestivum* L.). (табл. 1).

Було отримано, що лабораторна схожість насіння пшениці озимої становила 90,2% у контролі, а у досліджуваних варіантах із застосуванням полігуанідину — 93,4–95,9%. Найкращими варіантами за

цим показником були варіанти із обробкою рослин по вегетації (стандартна концентрація) та із обробкою насіння + обробка по вегетації (стандартна концентрація) (рис. 1).

Досліджено вплив передпосівної обробки насіння пшениці озимої на ріст і розвиток проростків на ранніх етапах онтогенезу в модельних експериментах. Виявлено стимуляцію ростових показників, для дослідних варіантів із передпосівною обробкою насіння розчинами ПГМГ-ГХ та повну відсутність у них контамінації мікроміцетами. Разом із тим, відмічено кращий розвиток нащадків оброблених рослин ніж контрольних, що проявляється у збільшенні довжини коренів і пагонів проростків більш ніж на 50% через 7 діб проростання (табл. 2).

Так, із отриманих даних ми бачимо, що рослини, які мали комплексну обробку (обробка насіння та обробка по вегетації) та рослини, які були оброблені перед висівом (обробка насіння), мають найгіршу

Таблиця 1. Вплив передпосівної обробки розчином полігуанідину на енергію проростання та схожість насіння пшениці озимої сорту Богдана

Варіант (тип обробки)	Енергія проростання, %	Схожість, %
Контроль (вода)	90,2	92
Обробка насіння	93,4	98
Обробка по вегетації, стандартна концентрація	95,7	100
Обробка по вегетації, друга концентрація	94,2	98
Обробка насіння + обробка по вегетації (стандартна концентрація)	95,9	100
НІР _{0,5}	1,22	1,35

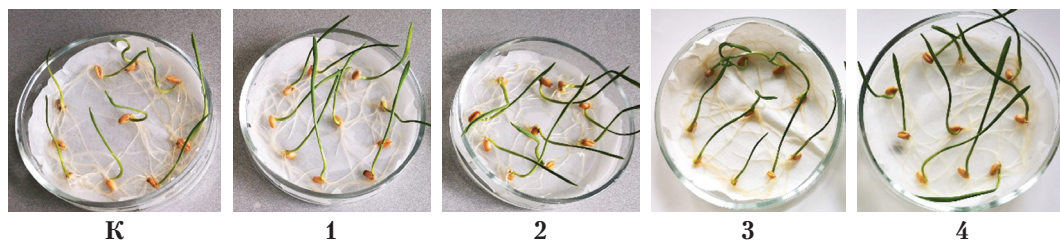


Рис. 1. Схожість проростків пшениці озимої, обробленої розчином полігуанідину

Примітка: К – контроль, 1–4 – варіанти досліджень.

Таблиця 2. Рости показники рослин пшениці за обробки розчином полігуанідину (7 діб)

№	Варіант обробки	Довжина вегетативної частини, см	Вага вегетативної частини, г	Довжина кореня, см	Маса кореня, г
1	Контроль (вода)	6,13	1,55	10,21	0,56
2	Обробка насіння	5,71	1,49	9,57	0,41
3	Обробка по вегетації стандартна концентрація	7,44	4,29	10,11	1,12
4	Обробка по вегетації друга концентрація	7,15	4,66	10,45	1,25
5	Обробка насіння + обробка по вегетації (стандартна концентрація)	6,18	1,78	10,25	0,71
НІР _{0,5}		1,13	0,76	1,65	0,22

розвинену кореневу систему. Рослини, які отримували обробку препаратом в процесі вегетації, навпаки вирізняються краще розвиненою кореневою системою та більшою вегетативною масою.

Для розуміння отриманих результатів та у зв'язку із тим, що основним питанням щодо застосування будь-яких препаратів на рослину є питання підвищення її врожайності, нами було досліджено низку фізіологічно важливих показників.

Оскільки енергетичною основою фотосинтезу є поглинання фотосинтетичними пігментами сонячної радіації, яка використовується для утворення органічних речовин, то беззаперечно між вмістом хлорофі-

лу та продуктивністю рослин існує прямий зв'язок. Тому треба було перевірити, вміст основних фотосинтетичних пігментів у рослинах за умов обробки їх полігуанідином. На першому етапі наших досліджень для аналізу брали рослини на ранніх етапах онтогенезу (7 діб). Так, нами було показано, що обробка насіння пшениці препаратом на основі полігуанідину збільшує кількість хлорофілу *a* майже вдвічі. Вміст хлорофілу *b* та каротиноїдів також зростали, але дещо менше (рис. 2).

Отже, обробка насіння цією речовиною має вплив на зміну вмісту пігментів у пшениці озимої на ранніх етапах онтогенезу рослин.

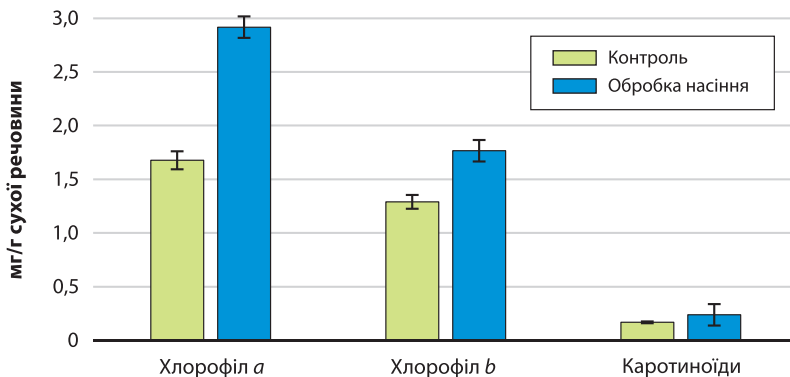


Рис. 2. Вплив обробки насіння полігуанідином на вміст пігментів проростків пшениці (7-ма доба)

Якщо розглянути рослини пшениці озимої після обробки по вегетації (рис. 3), то ми спостерігаємо, що вплив на вміст пігментів подібний до того, що було отримано раніше. Однак у цьому випадку обробка полігуанідином найбільше впливає на вміст хлорофілу *a*, проте кількість інших пігментів залишається практично такою самою. Також слід зазначити, що саме за умов першої обробки по вегетації (фаза – початок куцнення пшениці) спостерігається найінтенсивніший вплив на вміст хлорофілу *a*. Щодо використаних концентрацій полігуанідину, то вони однаково впливали на вміст досліджуваних пігментів у рослинах.

Зважаючи на те, що саме хлорофіл є основною складовою реакційних центрів фотосистем, можна припустити, що збільшення його вмісту вказує на інтенсифікацію процесу фотосинтезу не через регуляцію потоку електронів електронтранспортним ланцюгом, чи покращання відтоку фотоасимілятів, а саме завдяки утворенню нових фотосинтетичних одиниць. Тобто ця речовина за обробки рослини по вегетації (або обробці насіння) певним чином стимулює саме їх утворення. Загалом, у рослинах завжди більше хлорофілу *a*, ніж *b*. Водночас він вважається універсальним пігментом, тому що саме він визначає напрям і швидкість фотосинтезу в рослині.

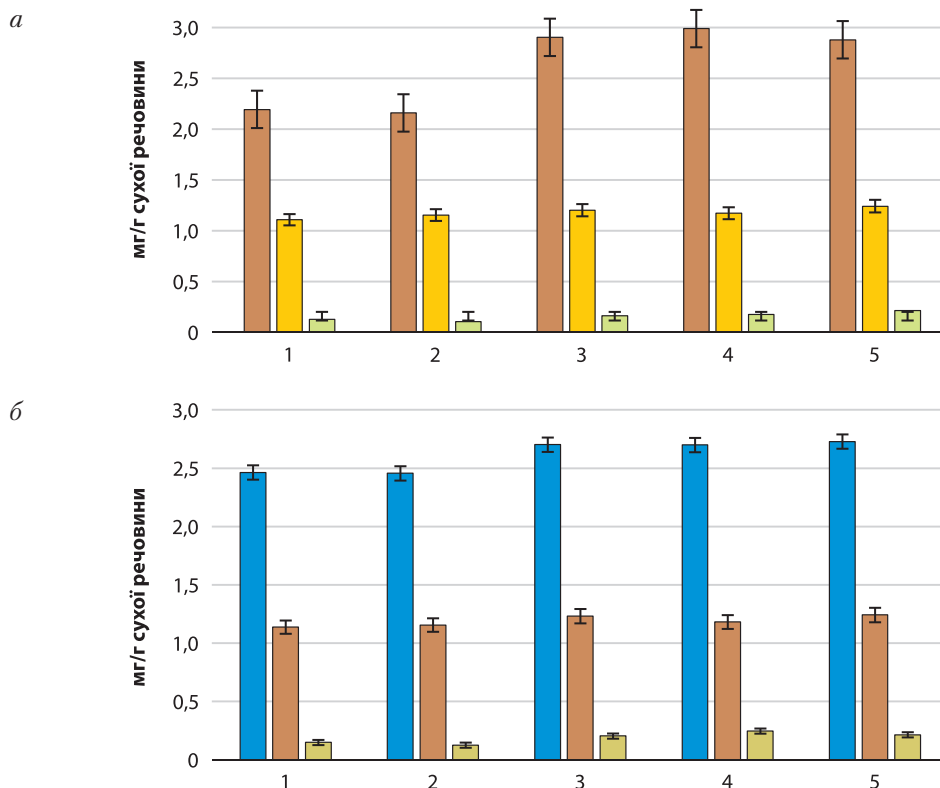


Рис. 3. Вплив обробки пшениці озимої полігуанідином по вегетації на вміст пігментів: *a* – перша обробка; *б* – друга обробка

Примітка: 1. Контроль. 2. Обробка насіння. 3. Обробка по вегетації – концентрація 200 мл/га. 4. Обробка по вегетації – концентрація 150 мл/га. 5. Обробка насіння + обробка по вегетації – концентрація 200 мл/га.

Вважається, що хлорофіл *b* є регулятором продуктивності та розвитку рослин [18]. Якщо спостерігається його нестача, то відбувається затримання цвітіння, зменшення листків рослин і передчасне їх старіння. Для сільського господарства це означає зменшення біомаси рослин і зниження їх врожайності. Хлорофіл *b* вважається додатковим пігментом живих клітин. Він дає можливість рослинним клітинам використовувати більш широкий діапазон світлових хвиль для фотосинтезу; захоплює та передає електрони високої енергії до хлорофілу *a*. Та все-таки головну роль у фотосинтезі відіграє хлорофіл *a*, рівень якого, як було показано, можна збільшити обробкою рослин саме полігуанідином.

Отже, можна припустити, що обробка рослин полігуанідином у ключові фази для створення врожаю може, на певний період часу, збільшити утворення хлорофілу *a*, тобто нових фотосинтетичних одиниць. Це може стати ймовірною ланкою ланцюга, яка підсилить поглинання фотосинтетичними пігментами сонячної радіації для утворення органічних речовин — основи майбутнього урожаю. Також, ймовірно, що саме завдяки збільшенню хлорофілів *a*, в оброблених рослинах зростає вміст білка в зерні.

Відомо, що до 20% вуглецю, який фіксується при фотосинтезі надходить на утворення поліфенолів, серед яких значне місце посідають флавоноїди. Всі вони певною мірою беруть участь у антиоксидантному захисті клітин та слугують пастками для вільних радикалів, а також здатні хелатувати йони металів у радикальних процесах. Зміна вмісту флавоноїдів у рослинах відзначається при дії стресових чинників різноманітної природи (наприклад, дія низьких температур, дефіцит азоту або надлишкове освітлення). Слід відмітити, що сукупна дія таких чинників збільшує вміст цих речовин у декілька разів. Загалом вважається, що вони виконують чотири основні функції у рослин: участь у окисно-відновних процесах, роль атрактанта, сигнальної молекули та як антистресового агента. Оскільки вони є універсальни-

ми протекторами біотичних та абіотичних стресів, їх розглядають як компоненти загального адаптаційного синдрому в рослині. Тому нами було розглянуто динаміку вмісту флавоноїдів як універсального фізіологічного адаптогену рослини до несприятливих чинників середовища.

Оцінка вмісту флавоноїдів у рослинах пшениці озимої продемонструвала зниження їх кількості за обробки полігуанідином. Тобто після обробки рослини навпаки зменшували свій адаптивний потенціал, адже на біохімічному рівні вважали, що несприятливі чинники в навколишньому середовищі відсутні. Проаналізувавши всі отримані дані та зважаючи на наявність фітопатогенних мікроміцетів лише в контрольних рослинах, можна припустити, що в цьому випадку роль універсальних захисних речовин від грибних інфекцій виконують флавоноїдні глікозиди, які є основними фенольними компонентами всіх видів злаків. Це означає, що контрольні рослини використовують флавоноїди для захисту від мікозів, а оброблені досліджуванним препаратом полігуанідину мали інший тип захисту від фітопатогенів.

Ще одним із найвідоміших та розповсюджених системних індикаторів, який взаємодіє з усіма напрямками метаболізму вважається амінокислота L-пролін. Загалом, вона багатогранно впливає на функціонування рослин у стресових умовах і багато з її ефектів обумовлені прямим та непрямим впливом на про-/антиоксидантну рівновагу в клітинах.

Аналіз вмісту вільного проліну засвідчив збільшення його концентрації після обробки досліджуваною речовиною майже вдвічі як після першої, так і після другої обробки. Також необхідно звернути увагу, що зменшення концентрації препарату до 0,15 л на 200 л робочого розчину збільшує рівень проліну вже після першої обробки. Збільшення проліну в цьому випадку може зумовити зростання стресостійкості, яка забезпечується метаболічними та фізіологічними змінами. У результаті його накопичення та наступного перетворення на інші амінокислоти через зміни активності

проліноксидази вони можуть використуватися для синтезу нових білків, що і сприяє збільшенню вмісту білка в зерні.

Отже, дослідження вмісту білка в зерні пшениці озимої підтвердив, що обробка препаратом полігуанідину в фазі кушення та виходу в трубку, забезпечило вміст білка в зерні на рівні 13,4%, що більше на 11% порівняно з контролем.

Аналіз отриманих результатів може свідчити про роботу полігуанідину по типу системних фунгіцидів для рослин, тобто стимулює низку системних індикаторів, що взаємодіють з усіма напрямками метаболізму через L-пролін. Отримані дані розширюють наявні уявлення про дію сучасних речовин, що лише починають використовувати для обробки рослин та є основою для розробки технологій їх більш широкого застосування.

ВИСНОВКИ

У результаті проведених досліджень нами було показано, що обробка насіння пшениці озимої (*Triticum aestivum* L.) препаратом на основі полігуанідину збільшує кількість хлорофілу *a* майже удвічі. Вміст

хлорофілу *b* та каротину також зростали, але дещо менше. Таким чином, обробка насіння цією речовиною має вплив на зміну вмісту пігментів у пшениці озимої на ранніх етапах її онтогенезу. Показано, що саме за умов першої обробки по вегетації (фаза — початок кушення пшениці) спостерігається найінтенсивніший вплив на вміст хлорофілу *a*. Припускаємо, що обробка рослин полігуанідином у ключові фази для створення врожаю може, на певний період часу, збільшити утворення хлорофілу *a*. Оцінка вмісту флавоноїдів у рослинах пшениці озимої продемонструвала зниження їх кількості за обробки полігуанідином. Тобто після обробки рослини навпаки зменшували свій адаптивний потенціал, адже на біохімічному рівні вважали, що несприятливі чинники в навколишньому середовищі відсутні. Аналіз вмісту вільного проліну засвідчив збільшення його концентрації після обробки досліджуваною речовиною майже вдвічі як після першої, так і після другої обробки. Його накопичення та перетворення на інші амінокислоти через зміну активності проліноксидази сприяє збільшенню вмісту білка в зерні.

ЛІТЕРАТУРА

- Lyoshyna L., Tarasyuk O. and Bulko O. Effect of polymeric biocide polyhexamethylene guanidine hydrochloride on morpho-physiological and biochemical parameters of wheat seedlings under copper stress. *Agricultural Science and Practice*. 2020. Vol. 7 (1). P. 49–58. DOI: <https://doi.org/10.15407/agrisp7.01.049>
- Almashova V.S. and Skok S.V. Effectiveness of application of biological preparations and plant growth regulators for growing agricultural crops in the Southern Steppe Zone of Ukraine. *Bulletin of Sumy National Agrarian University. The Series: Agronomy and Biology*. 2022. Vol. 47 (1). P. 11–17. DOI: <https://doi.org/10.32845/agrobio.2022.1.2>
- Nyzhnyk, T.Yu. et al. Research and application of polyhexamethyleneguanidine in potato growing. *World Science*. 2019. Vol. 1. Iss. 2 (42). P. 33–37. DOI: <https://doi.org/10.31435/rs.global/ws/28022019/6350>
- Василенко М.Г., Терновий Ю.В., Швиденко І.К., Душко П.М. Застосування біологічного стимулятора росту рослин «Екостим» у сільськогосподарському виробництві. *Агроекологічний журнал*. 2020. № 3. С. 96–101. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.3>. O.C. 2020.211532
- Любич В.В. Формування продуктивності пшениці м'якої озимої залежно від застосування регуляторів росту. *Новітні агротехнології*. 2020. № 10 (1). С. 1–7. DOI: <https://doi.org/10.47414/na.10.1.2022.264385>
- Смірних В.М., Тищенко М.В., Філоненко С.В. та ін. Регулятор росту рослин «Грейнактив-С» покращує насіння цукрових буряків. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2018. № 3. С. 50–55.
- Нагорнюк О.М., Матковська С.І., Матвійчук Б.В. та ін. Екологічна оцінка застосування регуляторів росту рослин в умовах закритого ґрунту за вирощування сянців Сосни звичайної (*Pinus sylvestris* L.). *Агроекологічний журнал*. 2022. № 1. С. 128–135. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.1.2022.255187>
- Філонік І.О., Апасюхін О.І. Стимулятор росту і розвитку зернових культур та спосіб стимулювання росту і розвитку кукурудзи та пшениці: Пат. Україна 77607. № а200507758; 15.12.2006, Бюл. № 12.
- Перебинос А.Р., Кривомаз Т.І. Фунгіциди в практиці захисту дерев'яних будівельних конструкцій від мікропошкоджень. *Екологічні науки: науково-практичний журнал*. 2018. № 1 (20). Т. 1. С. 151–155.
- Lysytsya A.V. Research on the impact of polyhex-

- amethyleneguanidine on the plant component of biocenoses. *Biosystems Diversity*. 2017. Vol. 25 (2). P. 89–95. DOI: <https://doi.org/10.15421/011713>
11. Lachenmeier Dirk W. Antiseptic Drugs and Disinfectants. Side Effects of Drugs Annual. 2015. Vol. 37. P. 273–279. DOI: <https://doi.org/10.1016/bs.seda.2015.06.005>
 12. Durán-Lara E.F., Valderrama A. and Marican A. Natural Organic Compounds for Application in Organic Farming. *Agriculture*. 2020. Vol. 10 (2). P. 41–49. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture10020041>
 13. Feitosa de Vasconcelos A.C. and Garófalo Chaves L.H. Biostimulants and Their Role in Improving Plant Growth under Abiotic Stresses. *Biostimulants in Plant Science*. 2020. IntechOpen. 160 p. DOI: <https://doi.org/10.5772/intechopen.88829>
 14. Михальська О.М., Бельдій Н.М., Дем'янюк О.С. Агроекологічна оцінка застосування регуляторів росту рослин для вирощування овочевих культур. *Агроекологічний журнал*. 2013. № 1. С. 71–75.
 15. Ben Mrid, R. et al. Secondary metabolites as biostimulant and bioprotectant agents: A review. *Science of The Total Environment*. 2021. Vol. 777. P. 1–17. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146204>
 16. Roupheal Y. and Colla G. Biostimulants in Agriculture. *Frontiers in Plant Science*. 2020. Vol. 11. P. 40–47. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00040>
 17. Ященко С.А., Грабовська Т.О., Грабовський М.Б., Слободенюк О.І. Ефективність біопрепарату Ентеронормін на ранніх етапах онтогенезу рослин пшениці озимої. *Агроекологічний журнал*. 2019. № 2. С. 50–54. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.2.2019.174019>
 18. Ricci M., Tilbury L., Daridon B. and Sukalac K. General Principles to Justify Plant Biostimulant Claims. *Frontiers in Plant Science*. 2019. Vol. 10 (494). P. 1–8. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00494>
 19. Лисиця А.В., Висоцький А.О., Мандигра Ю.М. Перспективні напрями застосування похідних гуанідину в ветеринарній медицині, біотехнології та агровиробництві. *Ветеринарна біотехнологія. Бюлетень*. 2017. № 30. С. 133–145. DOI: https://doi.org/10.31073/vet_biotech30-18
 20. Гриненко У.В., Журавель І.О. Визначення вмісту хлорофілів та каротиноїдів в листі шпинату городнього (*Spinacia oleracea* L.) *Збірник наукових праць співробітників Національної медичної академії післядипломної освіти імені П.Л. Шупика*. 2017. № 28. С. 29–33.
 21. Вронська Л.В. Розробка спектрофотометричної методики визначення флавоноїдів у пагонах чорниці звичайної. *Фармацевтичний часопис*. 2018. № 4. С. 49–56. DOI: <https://doi.org/10.11603/2312-0967.2018.4.9703>
 22. Шихалєєва Г.Н., Будняк А.К., Шихалєєв І.І., Івашченко О.І. Модифікована методика визначення проліну в рослинних об'єктах. *Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна. Сер.: біологія*. 2014. № 21 (1112). С. 168–172.
 23. Богдан Т.З., Богдан О.В. Спосіб обробки коренеплодів та бульб як посівного матеріалу. Пат. Україна 65952. №u201103157; заяв. 17.03.2011; опубл. 26.12.2011, Бюл. №24, 2011 р.

REFERENCES

1. Lyoshyna, L., Tarasyuk, O. & Bulko, O. (2020). Effect of polymeric biocide polyhexamethylene guanidine hydrochloride on morpho-physiological and biochemical parameters of wheat seedlings under copper stress. *Agricultural Science and Practice*, 7 (1), 49–58. DOI: <https://doi.org/10.15407/agrisp.7.01.049> [in English].
2. Almashova, V.S. & Skok, S.V. (2022). Effectiveness of application of biological preparations and plant growth regulators for growing agricultural crops in the Southern Steppe Zone of Ukraine. *Bulletin of Sumy National Agrarian University. The Series: Agronomy and Biology*, 47 (1), 11–17. DOI: <https://doi.org/10.32845/agrobio.2022.1.2> [in English].
3. Nyzhnyk, T.Yu. et al. (2019). Research and application of polyhexamethyleneguanidine in potato growing. *World Science*, 2 (42), 33–37. DOI: <https://doi.org/10.31435/rs.global.ws/28022019/6350> [in English].
4. Vasylenko, M.H., Ternovij, Yu.V., Shvydenko, I.K. & Dushko, P.M. (2020). Zastosuvannya biolohichnoho stymuliatoru росту росlyn «Ekostym» u silskohospodarskomu vyrobnytstvi [Application of the biological stimulator of plant growth «Ekostym» in agricultural production]. *Ahroekolohichnyi zhurnal — Agroecological Journal*, 3, 96–101. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.3.O.C.2020.211532> [in Ukrainian].
5. Liubych, V.V. (2022). Formuvannya produktyvnosti pshenytsi miakoi ozymoi zalezno vid zastosuvannya rehuliatoriv росту [Formation of productivity of soft winter wheat depending on the application of growth regulators]. *Novitni ahrotekhnolohiyi — The latest agrotechnologies*, 10 (1), 1–7. DOI: <https://doi.org/10.47414/na.10.1.2022.264385> [in Ukrainian].
6. Smirnych, V.M. et al. (2018). Rehuliator росту росlyn «Hreinaktiv-S» pokrashchuie nasinnia tsukrovyykh buriakiv [Plant growth regulator «Grainaktiv-S» improves sugar beet seeds]. *Visnyk Poltavskoi derzhavnoi ahrarynoi akademii — Bulletin of the Poltava State Agrarian Academy*, 3, 50–55 [in Ukrainian].
7. Nagorniuk, O.M., Matkovska, S.I., Matviichuk, B.V. et al. (2022). Ekolohichna otsinka zastosuvannya rehuliatoriv росту росlyn v umovakh zakrytoho gruntu za vyroshchuvannya siantsiv Sosny zvychainoi (*Pinus sylvestris* L.) [Ecological evaluation of the application of plant growth regulators in closed soil conditions for growing Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) seedlings]. *Ahroekolohichnyi zhurnal — Agroecological Journal*, 1, 128–135. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.1.2022.255187> [in Ukrainian].
8. Filonik, I.O. & Aprasiuchin, O.I. (2006). Stymuliator росту i rozvytku zernovyykh kultur ta sposib stymulivannya росту i rozvytku kukurudzuy ta pshenytsi: Patent 77607 na korynsnu model [Stimuliator of growth and

- development of grain crops and method of stimulation of growth and development of corn and wheat: Patent 77607 for a utility model]. № *a200507758*; *15.12.2006, Bull. No 12* [in Ukrainian].
9. Perebynos, A.R. & Kryvomaz, T.I. (2018). Funhitytsy v praktysyi zakhystu derevianykh budivelnykh konstruksii vid mikroposhkodzhen [Fungicides in the practice of protecting wooden building structures from microdamage]. *Ekologichni nauky — Ecological sciences*, *1* (20), 151–155 [in Ukrainian].
 10. Lysytsya, A.V. (2017). Research on the impact of polyhexamethyleneguanidine on the plant component of biocenoses. *Biosystems Diversity*, *25* (2), 89–95. DOI: <https://doi.org/10.15421/011713> [in English].
 11. Lachenmeier, Dirk W. (2015). Antiseptic Drugs and Disinfectants. *Side Effects of Drugs Annual*, *37*, 273–279. DOI: <https://doi.org/10.1016/bs.seda.2015.06.005> [in English].
 12. Durán-Lara, E.F., Valderrama, A. & Marican, A. (2020). Natural Organic Compounds for Application in Organic Farming. *Agriculture*, *10* (2), 41–49. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture10020041> [in English].
 13. Feitosa de Vasconcelos, A.C. & Garófalo Chaves, L.H. Biostimulants and Their Role in Improving Plant Growth under Abiotic Stresses. *Biostimulants in Plant Science*. IntechOpen. DOI: <https://doi.org/10.5772/intechopen.88829> [in English].
 14. Myholska, O.M., Beldii, N.M. & Demyanyuk, O.S. (2013). Ahroekologichna otsinka zastosuvannia rehuliatoriv rostu roslyn dlia vyroshchuvannia ovochevykh kultur [Agroecological assessment of the use of plant growth regulators for growing vegetable crops]. *Ahroekologichnyi zhurnal — Agroecological journal*, *1*, 71–75 [in Ukrainian].
 15. Ben Mrid, R. et al. (2021). Secondary metabolites as biostimulant and bioprotectant agents: A review. *Science of The Total Environment*, *777*, 1–17. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146204> [in English].
 16. Roupael, Y. & Colla, G. (2020). Biostimulants in Agriculture. *Frontiers in Plant Science*, *11*, 40–47. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00040> [in English].
 17. Yashchenko, S.A., Grabovska, T.O., Grabovskiy, M.B. & Slobodeniuk, O.I. (2019). Efektyvnist biopreparatu Enteronormin na rannikh etapakh ontogenezu roslyn pshenytsi ozymoi [Effectiveness of biological preparation Enteronormin at early stages of ontogenesis of winter wheat plants]. *Ahroekologichnyi zhurnal — Agroecological journal*, *2*, 50–54. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.2.2019.174019> [in Ukrainian].
 18. Ricci, M., Tilbury, L., Daridon, B. & Sukalac, K. (2019). General Principles to Justify Plant Biostimulant Claims. *Frontiers in Plant Science*, *10* (494), 1–8. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00494> [in English].
 19. Lysytsia, A.V., Vysotskiy, A.O. & Mandyhra, Yu.M. (2017). Perspektyvni napriamy zastosuvannia pokhidnykh huanidynu u veterynarii medytsyni, biotekhnologii ta ahrovyrobnytstvi [Prospective areas of application of guanidine derivatives in veterinary medicine, biotechnology and agroindustry]. *Veterynarna biotekhnologiya — Veterinary biotechnology*, *30*, 133–145. DOI: https://doi.org/10.31073/vet_biotech_30-18 [in Ukrainian].
 20. Hrynenko, U.V. & Zhuravel, I.O. (2017). Vyznachen-nia vmistu khlorofiliv ta karotynoidiv v lysti shpynatu horodnoho (*Spinacia oleracea* L.) [Determination of the content of chlorophylls and carotenoids in spinach leaves (*Spinacia oleracea* L.)]. *Zbirnyk naukovykh prats Natsional'noyi medychnoyi akademiyi pislyadyplomnoyi osvity imeni P.L. Shupyka — Collection of scientific works National Medical Academy of Postgraduate Education of the P.L. Shupyka*, *28*, 29–33 [in Ukrainian].
 21. Vronska, L.V. (2018). Rozrobka spektrofotometrychnoi metodyky vyznachennia flavonoidiv u pahonakh chornytsi zvychainoi [Development of a spectrophotometric method for the determination of flavonoids in common blueberry shoots]. *Farmatsevtichnyy chasopys — Pharmaceutical journal*, *4*, 49–56. DOI: <https://doi.org/10.11603/2312-0967.2018.4.9703> [in Ukrainian].
 22. Shykhaliyeva, H.M., Budniak, A.K., Shykhaliyev, I.I. & Ivashchenko, O.L. (2014). Modyfikovana metodyka vyznachennia prolinu v roslynnykh ob'ektakh [A modified method for determination of proline in plants]. *Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho universytetu imeni V.N. Karazina — Bulletin of Kharkiv National University named after V.N. Karazin*, *21*, 168–172 [in Ukrainian].
 23. Bogdan, T. Z. & Bogdan, O. V. (2011). Sposib obrobky koreneplodiv ta bulb yak posivnogo materialu: Patent 65952 na korysnu model [Method of processing root crops and tubers as a seed material: Patent 65952 for a utility model]. № *u201103157*; *Bull. No. 24* [in Ukrainian].

Стаття надійшла до редакції журналу 22.12.2022