

Чечуй О.Ф.¹, к.біол.н., доцент; Близнюк О.М.², д.техн.н., професор,
Масалітїна Н.Ю.², к.техн.н., доцент, Белінська А.П.², к.техн.н., доцент,
Варанкіна О.О.², к.техн.н., доцент; Бєлих І.А.², к.біол.н., доцент,
Дьякова Н. М., ст. викл.

ВПЛИВ РІДКИХ КОМПЛЕКСНИХ БІОТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРЕПАРАТІВ НА МЕТАБОЛІЗМ НІТРОГЕНУ ПРИ ФОРМУВАННІ ПРОДУКТИВНИХ ОРГАНІВ ПШЕНИЦІ ОЗИМОЇ

¹Державний біотехнологічний університет, Харків

²Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", Харків

Ключові слова: біотехнологія у рослинництві, мікроелементи, мікроелементи, ультрамікроелементи, малат, сукцинат, аспаратамінортансфераза, аланінаминотрансфераза, Нітроген, *Triticum aestivum L.*

Вступ

Важливим завданням біотехнологій у рослинництві є агровиробництво якісної рослинної зернової продукції в оптимальній для споживача кількості [1]. Україна є одним із потужних імпортерів зерна пшениці, проте, нині, не усі виробничі земельні ділянки є придатними для біотехнологічного виробництва рослинної продукції [2], тому актуальним є виявлення потенційних продуктивних генетичних ресурсів зернових культур при застосуванні більш широкого асортименту мінеральних добрив, зокрема, азотних, одним із важливих компонентів яких є Нітроген [3]. До важливих у харчовому відношенні зернових культур провідне місце займає пшениця озима, оптимальна забезпеченість якої Нітрогеном за внесення азотних мінеральних добрив є запорукою формування якості зернової продукції [4, 5]. Актуальним на даний час є з'ясування впливу поверхневої обробки агропосівів рослин інноваційною групою добрив – рідкими комплексними біотехнологічними препаратами, оскільки до складу яких входять кілька солей мінерального та органічного генезу, що одночасно діють на рослини [6–8]. Так, біологічний ефект на останні макроелементів на біохімічні показники агропосіви є достатньою вивченим [9], в той час як мікро- та ультрамікроелементів, – на стадії з'ясування, тому інноваційним є розробка нових експериментальних рідких комплексних добрив [10], виготовлених на основі суміші останніх у поєднанні із органічними кислотами – малатом та сукцинатом [11, 12], які використовуються у харчовій промисловості, а у рослинах – приймають участь в важливих фізіологічних процесах їх життєдіяльності, таких як, фотосинтез, фотодихання, цикл Кребса, гліюксилатний цикл [13].

Формування продуктивних характеристик пшениці озимої починається на ранніх стадіях утворення фотосинтетичних тканин рослини за участі фотосинтетичних нітрогенномісних сполук – пігментів, інтенсивність ростових процесів при цьому залежить від забезпеченості посівів хімічними сполуками як органічного, так й мінерального походження [14], тому застосування рідких комплексних біотехнологічних препаратів із вищенаведеним складом на одній із критичних стадій розвитку рослин – стадії кушіння є обґрунтованим та актуальним. Показниками метаболізму Нітрогену у пше-

ниці є аспаратамінотрансфераза та аланін амінотрансфераза, вміст хімічних форм цього елемента, а також вміст хлорофілу. Отже, дослідженню впливу органохелатів у складі експериментальних рідких комплексних біотехнологічних препаратів на показники метаболізму Нітрогену за умов експерименту присвячено матеріал даної наукової роботи.

Дослідження існуючих рішень проблеми

Хімічною основою рідких комплексних біотехнологічних добрив, що використовуються в агропромисловості, є NPK у різному співвідношенні, розчини яких застосовуються як окремо, так й у поєднанні із мікро- та ультрамікроелементними, а також органічними сполуками. Розроблені таким чином рідкі комплексні добрива, є мультикомпонентними, оскільки кожна хімічна сполука вже має дві складові – аніонну та катіонну, а комплекси яких містять біогенні мінеральні елементи, хелатовані три-, ди- та монокарбонними органічними кислотами у доступній для рослин формі, тому можуть виявляти певну біологічний ефект на рослини [15, 16]. Досліджено, що колоїдні розчини органохелатів біогенних елементів з карбонними кислотами мають розмір наночастинок до 100 нм, завдяки чому відбувається перехід мікроелементів в іонну форму, тому використання нанометалів може забезпечити повноцінність потрапляння хімічних компонентів у клітини рослин, а, відтак, й оптимізувати метаболічні процеси пшениці озимої [17, 18]. Одним із засобів на основі наночастинок металів, є рідкий біотехнологічний препарат мультикомпонентний препарат «аватар-2», який містить 15 мікро- та ультрамікроелементів та застосований в наших експериментах, а також комбінування останнього із сукцинатом та малатом. Мінеральні елементи у рослинах приймають участь у важливому їх фізіологічному процесі – мінеральному живленні [19], макроелементи є складовими органічних показників якості рослин, зокрема, N – протеїнів, амінокислот, нуклеїнових кислот, амідів, алкалоїдів, нуклеозидів, фосфоліпідів, глікозидів ціаногенних, фітогормону індолілоцтової кислоти, тіаміну, P – нуклеїнових кислот, фосфоровмісних пептидів, фосфогліцеринової кислоти, рибулозобіфосфату, K і Na – ензимів K-Na-АТФаз, Mg – магнієвмісних ензимів, Ca – кальмодуліну та біомембран, S – амінокислот цистеїну, метіоніну, селенометіоніну, трипептиду глутатіону, ацетилкоензиму, в той час як мікроелементи – ензимів [20]. Збалансоване поєднання макро-, мікро- та ультрамікроелементів у рідких комплексних біотехнологічних препаратах є запорукою оптимальної інтенсивності перебігу біохімічних процесів у оброблених цими розчинами посівах пшениці озимої [21]. Мінеральні елементи зерна пшениці мають високу поживну цінність для споживачів [22, 23].

Ключовими ензимами метаболізму Нітрогену пшениці озимої є аспаратамінотрансфераза (ЕС 2.6.1.1, АсАТ) та аланінамінотрансфераза (ЕС 2.6.1.2, АлАТ): перший ензим каталізує реакцію перенесення аміно-групи між аспарагіновою кислотою та α -кетоглутаратом, другий – транспорт аміногрупи між аланіном та α -кетоглутаратом із синтезом пірувату та глутамату, кофактором цих ензимів є пірідоксальфосфат [24, 25]. Продукти ензиматичних реакцій використовуються у кількох біохімічних процесах у рослин пшениці, таких як, утворення амінокислот шляхом амінування кетокислот, накопичення глутаміна, окиснення в циклі Кребса із синтезом аденозинтрифосфатів та відновних еквівалентів тощо [26]. Регуляція активності ключових ензимів метаболічних шляхів, зокрема, азотного, є рівень вільних радикалів у рослинах, тому досліджено ТБК-активних сполук у пшениці озимої в умовах експерименту. Сумарний пул Нітро-

гену у рослинах складається з двох типів: протеїновий азот та не протеїновий. Пул останнього є сумою таких форм Нітрогена, як, до прикладу, амонійний NH_4 , аміачний NH_3 , амінний NH_2 , нітратний NO_3 та ін, кожна з наведених форм Нітрогену відіграє важливу роль у метаболізмі рослин [27].

Одним із критичних періодів формування продуктивних органів пшениці озимої є фаза кушіння та виходу трубку, причому перша забезпечує ступінь оптимальної густоти продуктивних стебел, а на другій відбувається закладка квіток у колосках, що крелює із збільшенням молодого колосу за розміром [28]. Актуальним є вивчення ключових показників метаболізму на ранніх етапах формування продуктивних органів пшениці озимої саме середньостиглих низькостеблових сортів рослини. З огляду на вищенаведене, впливає актуальність даної роботи, що потребує науково-обґрунтованих експериментальних досліджень.

Мета та основні задачі дослідження

Метою роботи є з'ясування впливу рідких комплексних біотехнологічних препаратів на метаболізм нітрогену на ранніх стадіях формування продуктивних органів пшениці озимої на основі аналізу наукових літературних даних та власних досліджень.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

- визначити активність аспартатамінотрансферази, аланінамінотрансферази та вмісту ТБК-активних продуктів за в листі пшениці озимої за біотехнологічних умов експерименту;
- дослідити вміст аміачного азоту та хлорофілу за біотехнологічних експерименту.

Матеріали та методи досліджень

В роботі використовували наступні рідкі комплексні біотехнологічні препарати:

- 1) « $\text{N}_3:\text{P}_{18}:\text{K}_{18}$ » виробництва ЗАТ «Черкасзот» (Україна) із додаванням суміші, що містить Ca 1,9%, Mg 0,32%, S 0,8%;
- 2) «аватар_м-2, що містив $\text{N}_3:\text{P}_{18}:\text{K}_{18}$ Ca 1,9Mg 0,32 S 0,8 + «аватар-2» – B, Zn, Fe, Mn, Cu, Mo, V, Ni, Ti, La, Se, Ge, J, Si, Ag
- 3) «аватар_м-2-м, що містив $\text{N}_3:\text{P}_{18}:\text{K}_{18}$ Ca 1,9Mg 0,32 S 0,8 + «аватар-2» – B, Zn, Fe, Mn, Cu, Mo, V, Ni, Ti, La, Se, Ge, J, Si, Ag + L-малат.
- 4) «аватар_м-2-ст, що містив $\text{N}_3:\text{P}_{18}:\text{K}_{18}$ Ca 1,9Mg 0,32 S 0,8 + «аватар-2» – B, Zn, Fe, Mn, Cu, Mo, V, Ni, Ti, La, Se, Ge, J, Si, Ag + сукцинат натрію.

Препарат «аватар-2» розроблено Українським НДІ нанотехнологій та ресурсозбереження КНУ, в ході виготовлення якого органохелати біогенних елементів отримували з їх колоїдних розчинів шляхом хелатування наночастинок розміром 45-80 нм мадатом або сукцинатом. Перша позначка_м в умовні нзві біотехнологічного препарату відображає основу створенні останніх – начаність мікроелементів у відповідних розчинах. Малато- та сукцинатохелати мікроелементів отримували з їх колоїдних розчинів хелатуванням наночастинок розміром 45-80 нм. Експерименти проводили на виробничих ділянках Роганського стаціонару Державного біотехнологічного університету, ґрунт – переважно чорнозем звичайний, малогумусний важкосуглинковий на карбонатному лесі, попередник – горох, гербіцид – Імперіал виробництва ТОВ «Агроекоплюс», активними речовинами якого є імазамокс та імазаріп лінії Tor-laghnig. Розмір обраних

експериментальних ділянок становить 0,45 м² облікової площі, розташування рендомізованим методом при трикратній повтоюваності варіантів.

В роботі використовували пшеницю озиму (*Triticum aestivum* L.) сорту Шулин-дінка генерації Еліта, створений шляхом біотехнологічного селекційного поєднання морфологічно однорідних ліній з гібридною популяцією Харківська 23 та Леукулум 19, цей сорт пшениці озимої є середньостиглим, низькостебловим із середнім рівнем адаптації до знижених температу доквілля. Мінеральні добрива вносили у систему ґрунт-рослини у співвідношення мікроелементів 3:2:1 в дозі N₆₀P₃₀K₁₅: N₃₀P₁₅ K_{7,5} – в основне удобрення та N₃₀P₁₅K_{7,5} – на початковій стадії відновлення вегетації.

Рідкі комплексні біотехнологічні препарати застосовували шляхом передсівної обробки насіння, а також екзогенної обробки посівів рослин у фазу кушіння у час формування другого вузла кушіння. Аналіз середніх зразків здійснювали у фазу початку виходу в трубку (етап ВВСН 28-34). Листки пшениці озимої для аналізу відбирали разом із листовими пластинами, а також міжвузлами піхв.

Активність АсАТ та АлАТ визначали реакцією із 2,4-дінітрофенілгідрозином у лужному середовищі за внесення субстратно-буферного розчину, що містив фосфатний буфер, аспарагінову кислоту та 2-оксоглутарат, реакції проводили у лужному середовищі за методом Raitman S., модифікованим для рослинного матеріалу за допомогою фотоелектроколориметру КФК-2 при γ 540 нм згідно [29]. Активність першого ензиму виражали в мкМ пірувату / (год · г сирової тканини), другого – в мкМ оксалоацетату / (год · г сирової тканини).

Вміст ТБК-активних продуктів визначали із реакцією з 2-біобарбітуровою кетоною після осадження протеїнів трихлороцтовою кислотою із додаванням бутанолу до безбілкових розчинів за допомогою спектрофотометру СФ-26 при γ 532 нм згідно [30], результати дослідження виражали у нМ малонового діальдегіду / г тканини.

Вміст аміачного азоту визначали за полумікрометодом шляхом титрування сірчаною кислотою після спалювання наважки згідно [31], результати дослідження виражали у мкг NH₃ /мл гомогенату.

Вмісту хлорофілу загальний визначали в етанольних фільтратах при внесенні за допомогою фотоколориметру КФК-2 при γ 650 нм згідно [32], результати дослідження виражали у мг/г тканини.

Отримані у біотехнологічних дослідженнях експериментальні дані оброблені із використанням пакету програми методів біостатистики Biostat 10 із визначенням М-середнього та sem-похибки середнього. Вірогідність розбіжностей між групами варіантів оцінювали непараметричними методами з використанням критерію Wilcoxon-Manni-Witney [33].

Результати дослідження

Синтез протеїнів у пшениці озимій потребує постійно поповнення фонду вільних амінокислот, ключовими субстратами для чого є піруват, оксалоацетат та α -оксоглутарат, що здійснюється за участю ключових ензимів метаболізму Нітрогену – аспартатамінотрансфераза (ЕС 2.6.1.1, АсАТ) та аланінамінотрансфераза (ЕС 2.6.1.2, АлАТ). У табл. 1 наведені результати впливу рідких комплексних біотехнологічних препаратів на активність ключових ензимів метаболізму азоту та на загальний вміст цього елемента за агрохімічного фону N₆₀P₃₀K₁₅ у вузлах кушіння та листі пшениці озимої.

Виявлено тенденцію до підвищення активності АсАТ, в той час суміші макро-елементів на ензиматичну активність іншого ензиму, навпаки, в середньому, на 23% за впливу комплексу NPKCaMgS на посіви пшениці озимої. Відбувається підвищення активності АсАТ, в середньому, на 41 %, а АлАТ – на 36,3% за препарату Аватар_м-2 у листі пшениці озимої. Виявлено зниження активності обох ключових ензимів метаболізму Нітрогену за впливу комплексу препарату Аватар_м-2-м, в середньому, на 27,2 % та 32,5%, відповідно, що свідчить про сталізацію мікроелементами метаболічного спрямування продуктів та субстратів за метадобічного стану клітин листя пшениці озимої. Ці дані спонукають до проведення подальших наших експериментів, пов'язаних із з'ясуванням дії окремих йонів та органічних кислот на метаболічні процеси рослин. За впливу Аватар_м-2-ст відбувається зниження активності АлАТ, в середньому 26,6 %, в той час прояв сукцитату на активність АсАТ виявився більш істотним – в середньому на 48,3 %, адже біотехнологічний препараті Аватар_м-2-ст містить сукцинат, в той час як Аватар_м-2-м – яблучну кислоту.

Таблиця 1 – Вплив рідких комплексних біотехнологічних препаратів на активність ключових ензимів метаболізму азоту та на загальний вміст цього елемента за агрохімічного фону $\text{N}_{60}\text{P}_{30}\text{K}_{15}$ в листі пшениці озимої, $M \pm \text{sem}$, $n=5$

Фактори впливу	АсАТ, мкМ пірувату / (год · г сирої тканини)	АлАТ, мкМ оксалоацетату / (год · г сирої тканини)	ТБК-активні продукти, нМ малонowego діальдегіду / г
Контроль	11,08 ± 0,67	6,73 ± 0,40	42,27 ± 6,88
РКД-макро	14,16 ± 0,78	8,30 ± 0,25*	36,41 ± 2,66*
Аватар _м -2	16,51 ± 0,16*	9,28 ± 0,54*	29,18 ± 2,95*
Аватар _м -2-м	8,43 ± 0,32*	4,46 ± 0,17*	72,04 ± 8,53*
Аватар _м -2-ст	7,64 ± 0,41*	5,28 ± 0,34	61,75 ± 7,14*

* $p \leq$ порівняно із результати контрольних вимірювань

В реакціях АлАТ утворюється піруват – ключовий субстрат глікогеногенезу, підвищення якого може сприяти активації синтезу вуглеводів, необхідних для ростових процесів. Ензими АсАТ та АлАТ відіграють ключову роль у метаболізмі аспартату, аланіну та глутамату, крім того, ці два ензими використовуються для утворення амідів – аспарагіну і глутаміну, тому підвищення їх активності є умовою накопичення цих амідів в якості резерву NH_4^+ . Синтез амінокислот за рахунок α -кетокислот здійснюється в реакціях, які активуються системою глутамінсинтаза/оксалоацетатамінотрансфераза. В листі пшениці на стадії куцання-виходу в трубку активно відбувається фото дихальні процеси, в яких безпосередню роль відіграють органічні кислоти.

Малат, що входить до складу препарату Аватар_м-2-м, виконує у клітинах листя пшениці озимої утворюється в малатсинтазній реакції, окислюється до оксалоацетату за дії NAD-малатдегідрогенази (L-малат: NAD⁺-оксидоредуктаза, EC 1.1.1.37), цей ензим наявний у пероксисомах листя як фотосинтезуючого органу пшениці озимої, де приймає участь у транспортуванні H^+ малату, що забезпечує функціонування NADH-гідроксипіруватредуктази [34]. Малат у мітохондріях фотосинтетичних клітин пшениці озимої синтезується в фумарату за приєднання води, після чого окиснюється за дії NAD-малатдегідрогенази за допомогою NAD⁺ утворюється оксалоацетат [35]. Малат

також є джерелом ацетил-CoA – проміжного метаболіту, що поєднує шляхи метаболізму протеїнів, ліпідів та вуглеводів у листі пшениці озимої. Органічна кислота сукцинат, що входить до складу препарату Аватар_м-2-ст, у клітинах листя пшениці озимої перетворюється на γ -аміномасляну кислоту та полі феноли, інгібування електронтранспортного ланцюга у хлоропластах листя пшениці озимої призводить до підвищення вмісту сукцинату, який у цитозолі клітини рослини включається до синфазної реакції разом із гліюксилатом. Підвищення вмісту малату та сукцинату може відбуватися внаслідок неповного окиснення, що обумовлено пригніченням мітохондріального дихального ланцюга за умов активного фотосинтезу [36].

Синтез амінокислот на світлі пов'язаний із функціонуванням фотодихального метаболізму Нітрогену за участі NH_3 , синтезованого шляхом конденсації серин-гліцин, а також системи глутамінсинтетаза-глутаматсинтаза [37]. Синтез амінокислот поєднаний із фотодиханням в листі пшениці озимої, є одним із шляхів метаболізму Нітрогену, причому, фотодихальним інтермедіатом для синтезу гліцину є гліюксилат, а джерелом 2-оксикислот для утворення аланіну, глутамату та аспартату є синтазні реакції [38].

Нітрогеновмісні продукти цих ензиматичних реакцій використовуються у кількох біохімічних процесах у рослин пшениці, таких як, утворення амінокислот шляхом амінування кетокислот, накопичення глутаміна, окиснення в циклі Кребса із синтезом аденозинтрифосфатів та відновних еквівалентів. В реакціях АлАТ утворюється піруват – ключовий субстрат глюкогогенезу, підвищення якого може сприяти активації синтезу вуглеводів, необхідних для ростових процесів. Ензими АсАТ та АлАТ відіграють ключову роль у метаболізмі аспартату, аланіну та глутамату, крім того, ці два ензими використовуються для утворення амідів – аспарагіну і глум аміну, тому підвищення їх активності є умовою накопичення цих амідів в якості резерву NH_4^+ . Синтез амінокислот за рахунок α -кетокислот здійснюється в реакціях, які активуються системою глутамінсинтаза/оксалоацетатамінотрансфераза.

Доведено зменшення вмісту ТБК-активних продуктів як за впливу РКД-макро, в середньому, на 16,2 % та Аватар_м-2 – на 43,7 % відносно контрольних даних. Виявлено збільшення вмісту продуктів, що реагують із біобарбітуровою кислотою, за впливу аватар_м-2-м, в середньому, у 1,62 рази, а аватар_м-2-ст – на 54,37 % по відношенню до контрольних значень. Виявлено [39–42] антиоксидантний ефект таких ультрамікроелементів, як La, Se, Mn, Ge, V, Ag, Si, Ti, а разом із малатом та сукцинатом спричиняють регуляцію активності досліджених ензимів, оскільки активність останніх зменшується при одночасного підвищення вмісту ТБК-активних продуктів, що, ймовірно, пов'язано із синтезом достатнього пулу проміжних інтермедіатів метаболізму для озabezпечення оптимального перебігу фізіологічних процесів у клітинах листя пшениці озимої за умов експерименту. У рототі [43] в експериментах із впливом йонів Cd на активність ензимів АсАТ та АлТ у рослині сої на ранніх стадіях утворення паростку, показано підвищення ензиматичної активності, що пояснюється розвитком стресу, спричиненого дією важкого металу. Такий метаболічний стан можна було пояснити адаптацією метаболічного стану, проте, активність ензимів, що є алостеричними у метаболізмі Нітрогену, відбувається зменшення активності цих діагностичних критерієв за впливу препарату Аватар_м-2-м та Аватар_м-2-ст, що свідчить про використання пірувату, оксоглутарату та глутамату при оптимізації біохімічних процесів. Джерелом NH_4 для синтезу аланіну та аспартату в листі пшениці озимої також є пере амінування феліаланіну та тирозину, що каталізується для фенілаланінаміакліазою та тирозинаміакліазою, відповідно, крім того,

внаслідок дії останньої синтезується кумарова кислота – попередник полі фенолів: кавової, сина пової та ферулової кислот, кавова кислота використовується для синтезу хлорогенової кислота – одного з компонентів системи полі фенол-поліфенолоксидаза, в якій відбувається активне дезамінування амінокислот. Акцептором H_2 в реакціях дезамінування амінокислот є хінони, які у цій системі генерують активні форми O_2 , зокрема, H_2O_2 [44], тому збільшення вмісту ТБК-активних продуктів за впливу препаратів Аватар-2 свідчить про оптимізації процесів вільно радикального окислення ліпідів, що впливає на оптимальний метаболізм амінокислот в листі пшениці озимої за біотехнологічних умов експерименту.

Фіксація NH_3 у листі має лімітуюче значення у перетворенні амінослот, інтенсивність включення якого в останні відбувається за дії ензимів метаболізму глутаміну, одним із яких є глутамінсинтаза (ГС, ЕС 6.3.1), яка каталізує процес асиміляції глутаміну та аміаку. Фіксація іншої форми Нітрогену – NH_4 здійснюється за дії другого ензиму метаболізму глутаміну – глутаматдегідрогенази [45]. У табл. 2 наведено результати впливу рідких комплексних біотехнологічних препаратів на вміст аміачного азоту та хлорофілу за умов експерименту в листі пшениці озимої за умов експерименту.

Таблиця 2 – Вплив рідких комплексних біотехнологічних препаратів на вміст аміачного азоту та хлорофілу за агрохімічного фону $N_{60}P_{30}K_{15}$ в листі пшениці озимої, $M \pm sem$, $n=3-5$

Фактори впливу	Аміачний азот, мкг/мл	Хлорофіл, мкг /г
Контроль	238,04 ±11,60	12,78±2,64
РКД-макро	227,17±23,50	18,32±3,35*
Аватар _м -2	252,01 ±17,65*	27,64±4,11*
Аватар _м -2-м	246,15±24,93	24,02±3,82*
Аватар _м -2-ст	242,83±15,77	20,44±6,27*

* $p \leq$ порівняно із результати контрольних вимірювань

Концентрація NH_3 за впливу препарату РКД-макро має тенденцію до зниження, що може бути пов'язання із використанням мікроелементів на окислювальні процеси відновних еквівалентів та утворення пулу непротеїногенних кислоти, окільти такі метаболічні шляхи притаманні зерновим рослинах, за впливу Аватар_м-2 – збільшення показника, в середньому на 42 %, а за Аватар_м-2-м та Аватар_м-2-ст – концентрація не змінюється, що свідчить про регуляторний ефект малату та сукцинату на активацію та ступінь використання цієї форми Нітрогену в альтернативних процесах перетворення амінокислот, включаючи, ймовірно, непротеїногенні.

Фіксація глутаміну за дії ензиму ГС – важлива метаболічна регуляції балансу N / C органічних сполук [46]. До останніх належить важливий фотосинтетичний пігмент зелених частин зернових культур. Нітроген є компонентом пірольних кілець, що формують порфіринові ядра основного фотосинтетичного пігменту пшениці озимої – хлорофілу [47], тому актуальним є визначення останнього в зелених органах рослин пшениці озимої. Вміст хлорофілу за впливу препарату РКД-макро підвищується, в середньому, у, за впливу Аватар_м-2– у 2,8 разів, в той час, вплив кислот у складі препаратів Аватар_м-2-м та Аватар_м-2-ст – по-різному виявляється, але напрямок зниження вмі-

ту цього показника відносно препарату Аватар_м-2 знижується, проте, у порівнянні із контролем підвищує цей критерій, в середньому, у 1,9 та 1,7 разів, відповідно.

Ключовим ензимом обміну хлорофілу та нітратовмісних сполук, що приймають участь у стадіях фото дихання рослин типу C₃, як й об'єкт наших досліджень, є 1,5-рибулофокарбоксігеназа, або РУБІСКО. У хлоропластах листя комплекси протеїнів приймають участь у збиранні світла, транспортуванні ё від води до відновленого нуклеотиду NADP та синтезі макроергу АТР. У листі посівів пшениці озимої на світлі тілакоїди хлоропласти містять прилизно 39-56 Молей / Моль хлорофілу. З'ясовано відновний розподіл N між клітинними компонентами листя пшениці озимої, який складає, %: хлоропласти – 7,8, мітохондрії – 4,8, – пероксисоми –2,7, цитозоль – 9,3, клітинні стінки – 11,6 [48].

Синтез хлорофілу поєднаний із метаболізмом гліколату у листі пшениці озимої, вихідна сполука для його утворення – α -амінолевуленат синтезується шляхом конденсації гліцину та сукциніл-СоА – продуктів гліколатного шляху та циклу Кребса – з глутамату, а останній синтезується за фото дихального метаболізму. Підвищення вмісту хлорофілу за впливу рідких комплексних добрив пояснюється оптимізацією перебігу фотосинтезу за хімічних компонентів біотехнологічних препаратів. Нітраний азот є резервною формою Нітрогену в литі пшениці озимої, метаболізм якого за реакцією $\text{NO}_3 \rightarrow \text{NO}_2$ здійснюється за дії ензиму нітратредуктази (НР, ЕС 1.6.6.1), причому серед форм Нітрогену, який рослини споживають із ґрунту, NO_3 є домінуючою, цей ензим є Мо-вмісним, дія якого пов'язані із фотосинтезом, причому, NO_3 метаболічного фонду локалізовані у цитозолі зернових культур – внутрішньоклітинному компартменті прояву дії НР, а NO_3 резервного фонду – у вакуолях, на вміст цієї форми Нітрогену впливають фітогормони, наприклад, цитокініни [49, 50].

Молідбен приймає активну участь в регуляції активності нітратредуктази у листі пшениці озимої [51]. Загальний вміст Нітрогену в органах пшениці озимої є суманою величиною, оскільки поділяється на протеїновий та непротеїновий, а останній входить як до складу біомолекул, таких як алкалоїди, фітогормони, нуклеотиди та інші органічні нітрогеновмісні сполуки, а також у вільній формі є компонентом внутрішньоклітинних солей у рослини [52].

Компоненти, що входять до складу препарату аватар_м-2, сприяють регуляції фізіологічних процесів на клітинному рівні, останні майже у повній мірі проходять крізь напівнепроникну біомембрану клітин. У дослідженнях, проведених із листям інших рослин [53, 54] за дії наночастинок металів виявлено їх взаємодію із рецепторними протеїнами біомембрани мітохондрій та гліоксисом. Автори роботи [55] виявили вплив на інтенсивність перерозподілу ліпідних фракцій за дії наночастинок металів.

Висновки

На основі результатів аналітичного огляду літературних джерел та проведених власних досліджень зроблено висновки щодо ефективності інокуляції насіння сої біотехнологічними препаратами:

- визначити активність аспартатамінотрансферази, аланінамінотрансферази та вмісту ТБК-активних продуктів за в листі пшениці озимої за біотехнологічних умов експерименту;
- дослідити вміст аміачного азоту та хлорофілу за біотехнологічних експерименту.

Доведено, що впливу цих комплексних препаратів відбувається позитивний ефект наночастинок халатованих металів із органічними кимлотами малат або сукцинатом – компонентами досліджених біотехнологічних препаратів на метаболізм Нітрогену в листі пшениці озимої на критичній стадії її органогенезу – трубкування при формуванні продуктивних органів рослини, а відтак, на утворення якості рослини. Нині нами продовжуються біотехнологічні прийоми, спрямовані на з'язування агрохімічного ефекту рідких комплексних добрив із різними хімічними компонентами у неоднакового співвідношенні та їх вплив на метаболічні процеси рослин за біотехнологічних умов виробництва останніх.

Література

1. Камінський В.Ф., Сайко В.Ф., Сушко М.В. 2017. Наукові ефекти використання виробничих ресурсів у різних моделях технологій використання зернових культур: монограф. Київ: Вініченко, 2017. 580 с.
2. Вплив збройної агресії та воєнних дій на сучасний стан ґрунтового покриву, оцінка шкоди та збитків, заходи з відновлення / С.А. Балюк, А.В. Кучер, М.О. Солоха, В.Б. Солов Харків: ННЦ ІГА, 2022. 148 с.
3. Царенко О.М. Управління якістю агропромислової продукції: навч. посіб. Суми: ВТД Університетська книга, 2016. 431 с.
4. Ткачук К.С. Азотний обмін та адаптація рослин до умов живлення / К.С. Ткачук, Т.З. Богдан. Київ: Аверс, 2000. 201 с.
5. Марцінішин Ю.Д., Пида С.В. Біохімічний склад зерна пшениці м'якої (*Triticum aestivum* L.) за дії добрив. Наук. зап. Терноп. нац. пед. ун-ту. Серія: Біологія, 2021. Т. 81, № 1-2. С. 90–98. Doi: 10.25128/2078-2357.21.1-2.12.
6. Циков В.С. Ефективність застосування макро- та мікродобрив при вирощуванні кукурудзи / В.С. Циков, М.І. Дудка, О.М. Шевченко, С.С. Носов. Бюлетень Ун-ту зернового господарства. Дніпропетровськ: БУЗГ, 2017, Т. 1, № 1. С. 75–79.
7. Динамічні процеси розвитку органічного виробництва в Україні: монограф. / І.В. Гончарук, С.Я. Ковальчук, Я.Г. Цицюра, С.М. Лутковська. Вінниця: ВНАУ, 2020. 472 с.
8. Булигін С.Ю. Мікродобрива важливий резерв підвищення урожайності сільськогосподарських культур / С.Ю. Булигін, А.У. Фатєєв, Л.Ф. Демішев. Вісник аграрної науки, 2000, № 11. С. 13–15.
9. Труфанов О. Мікроелементи, хелати, мікродобрива / О. Труфанов. Пропозиція, 2013, № 5 (215). С. 63–65.
10. Петриченко В.П. Рідкі азотні добрива на кукурудзі – основа стабільних врожаїв / В. П. Петриченко. Агроном, № 7. С. 31–34.
11. Igamberdiev A.U., Vykova N.V. Role of organic acids in the integration of cellular redox metabolism of redox signaling in photosynthetic tissues of higher plants // Free Radical Biology and Medicine, 2018. Vol. 122. P. 74–85. Doi 10.1016/j.freeradbiomed.2018.01.016.
12. López-Bucio J., Nieto Jacobo M.F., Ramirez-Rodriguez V.V. Organic acid metabolism in plants: from adaptive physiology to transgenic varieties for cultivation in extreme soil/ Plant Science. 2001. Vol. 60, № 1. P. 1–13. Doi 10/1016/S0168-9452(00)00347-2.
13. Чечуй О.Ф. Біохімія рослин: навч. посіб. Харків: ХНАУ ім. В.В. Докучаєва, 2021. 168 с.

14. Панфілова А.В. Наростання надземної маси та формування врожайності зерна пшениці озимої в умовах південного степу України / А. В.Панфілова. Аграрні інновації. 2023, №17. С. 107–112. Doi: /<https://doi.org/10.32848/agraar.innov.2023.17>.
15. Гангур В.В., Кочерга А.А., Пипко О., Лень О.І. Ефективність мікродобрив за умов обробки насіння та листового підживлення посівів пшениці. Вісник Полтавської державної аграрної академії, 2022, № 2. С. 46–51. Doi 10.31210/visnyk2021.02.05.
16. Шевчук М.Й., Веремеєнко С.І., Лопушняк В.І. Агрохімія: підруч. – Луцьк: Надстир'я, 2012. 468 с.
17. Лопатко К. Використання біологічних властивостей наночастинок металів, при вирощуванні зернових / К. Лопатко. Metrology, 2011, Vol. 138. Р. 98–106.
18. Каленська С.М. Науково-практичні рекомендації по застосуванню препаратів на основі водних розчинів наночастинок біогенних металів для вирощування озимої пшениці / С.М.Каленська, К.Г. Копитко, Є.Г. Афтанділянц. Науковий вісник нац.-го ун-ту біоресурсів і природокористування України. Серія: Техніка та енергетика АПК. Київ, 2010. Вип. 144. Ч.1. С. 20–28.
19. Chen, H-Huang, L. Effect of Nitrogen fertilizer application rate on nitrate reductase activity in maize. Applied Ecology and Environmental Research. 2020. 18(1). Р. 2879–2894. Doi: https://dx.doi.org/10.15666/aeer/1802_28792894.
20. Gleason F. Plant Biochemistry / F. Gleason, R. Chollet. – Jones&Bartlet Publishers, 2012. 248 p.
21. Ринькис Г.Я. Сбалансированное питание растений макро- и микроэлементами / Ноллендорф. – Рига: Зинатне, 1992. 304 с.
22. Nieder R., Benbi D.K., Reichl F.X. Microelementss and their role in human health. Components and human health. Dordrecht:Springer, 2018. 374 p.
23. Проваторов Г., Проваторова В. Годівля сільськогосподарських тварин. Суми: Університетська книга, 2019. 510 с.
24. Kendziorrek, M., Paszkowski, A., Zagdanska B. Differential regulation of alanine aminotransferase homologues by abiotic stress in wheat (*Triticum aestivum* L.) seedling/ Plant Cell Rep. 2012, Vol. 31. Р. 1105–1117. Doi 10.1007/s00299-012-1231-2.
25. Maciaga, M., Czokor, M., Paszkowski, A. Biochemical characterization of aspartate aminotransferase allozymes from common wheat / Central Eur. Biol. 2013. Vol. 2 (12). Р. 1183–1193. Doi 10.2478/s11535-013-0240-7.
26. Сибірна Н.О. Механізми біохімічних реакцій: навч. посіб. Н.О.Сибірна, Я.П.Чайка, Н.І.Климишин. – Львів: ЛНУ ім. І. Франка, 2011. 319 с.
27. Звонар А.М. Вплив погодних умов року та сортових особливостей на споживання азоту та формування якості зерна. Вісник аграрної науки Примор'я, 2020. Вип. 3. С. 87–95. Doi: 10.3152/2313-092X/2020-3-5(107).
28. Ольховський Г. Ф. Детальний метод визначення структури врожаю пшениці озимої / Г. Ф. Ольховський, М. М. Бобро О. Ф. Чечуй. Вісник аграрної науки. – 2019. № 12. С. 92–99.
29. Reitman, S.,A., Frenkel, S. 1966. Colorimetric methods for the determination of serum glutamic oxalactic and glutamic pyruvic transaminas. Amer/ Journal Clin. Pathol, 28 (1). Р. 56–63.
30. Hognes D., M., Delong Y., M, Forney C., F. Prance R., K. 1977. Improving the thiobarbituric acid reactive substrates assay for estimating lipid peroxidation in plant tissue containinf anthocyanin and other interfering compound. Planta, Vol. 207. Р. 604–611.

31. Методы биохимического исследования растений. Под ред. А. И. Ермакова. Л.: Агропромиздат, 1987. 430 с.
32. Макрушин М.М. Фізіологія рослин /М.М. Макрушин, Є.М. Макрушина, Н. В. Петерсон, М. М. Меньшиков / За ред.. проф. М.М.Макрушина: підруч. Вінниця: Новамкнига, 2006. 416 с.; Присядський Ю.Г. Фотосинтез: метод-посіб. Вінниця: ДоНУ, 2016. 68 с.
33. Антаментова Л.О, Утевська О. М. Статистика для біологів. Харків: Видавництво «НТМТ», 2014. 331 с. / Atramentova L. O., Utevska O. M. Statistika dlia biologiv. Kharkiv: Vydavnistvo «NTMT», 2014. 331 p.
34. Husic, D.H., Tolbert, N.E. Hydroxypyruvate reductase and NADP:glyoxylate reductase in Algae: partial purification and characterization from *Chlamydomonas reinhardtii* / Arch.Biochem. and Biophys. 1987. Vol. 252, № 2. P. 396–408.
35. Dao, O., Kuhnet, F., Weber A.P.M., Peltier G., Li-Beisson Y. Physiological functions of malate shuttles in plant and aldae / Trend in Plant Science. 2022. Vol. 27, I. 5. P. 488–501. Doi 10.1016/j.tplants.2021.11.007.
36. Huang, A.H.C. Metabolism in planr leaves / Recent Adv. Phynochem. 1982. Vol. 16. P. 85–123.
37. Lancien, M., Gadal, P., Hodges, M. Enzyme redundancy and the importance 2-oxoglytarate in higher plants ammonium assimilation / Plant Physiol. 2000. Vol. 123. P. 817–824.
38. López-Bucio, J., Nieto-Jacobo, M.F., Ramirez-Rodrigues, V.V. Organic acids metabolism in plants: from adaptive physiology to transgenic variaties for cultivation in extreme soils / Plant Science/ 2001. Vol. 6 (1). P. 1–13. Doi 10.1016/S0168-9452/00/ 00347-2.
39. Jeng, F., An Y., Zhang, H., Zhang, M. The effects of La(III) on the peroxidation of membrane lipids in wheat seedling leaves under osmotic stress. Biol. Trace Elem. Rec.1999, Vol. 69, 2, P. 141–150 doi 10.0007/BF02783865.
40. Grzanka, M., Smoleń S., Kovačik P. Effect of vanadium on the uptake and distribution of organic and inorganic forms of iodine in eweetcorn plants during early-stage development/ Agronomy. 2020. 10 (11). P. 1666–1674. Doi 3390/agronomy/10111660.
41. Yan L., Longyu H., Gunliang Z., Qingmei L. Zeping J. Mechanism and application of germanium in plant growth. 2015. Vol. 23, 8/ P. 931–937. Doi 10.13390/j.cnki.cjea.150314.
42. Carbajal-Vázquez N.H., Gómez-merino F.C., Alcàntar-González E. G/ Titanium increases the antioxidant activity and macronutrient concentration in tomato seedling exposed to salinity in hydroponics / Plants. 2022, Vol. 11, 8. P. 1036–1042. Doi 10.3390/plants11081036.
43. Бездудная Е.Ф. Влияние солей тяжелых металлов на активность аминотрансфераз в прорастающих семенах сои *Glycine max L.* / Е. Ф. Бездудная. Вісник Харківського національного університету імені В.Н.Каразіна. Серія:Біологія. 2007, № 768. С. 10–14.
44. Del Rio L.A., Sandalino L.M., Corpas F.J. Reative oxygen species and reactive nirtogen species in leaves. Production, scavenging, and role in cell signaling / Plant Physiol. 2001. Vol. 241. P. 330–335.
45. Чумикина Л.В. Активность ферментов обмела глутамиनाव прорастающем зерне тритикале / Л.В. Чумикина, Л.И. Арабова, В.В. Колпакова, А.Ф. Топунов. Физиология растений и гненетика. 2013. Т. 45, № 5. С. 390–398.

46. Shapiro B.S., Stadtman E.R. The regulation of glutamine synthesis in microorganism / B.S. Shapiro, E.R. Stadtman. *Ann.Rev.Microbiol.* 1970.Vol. 24. P. 504–522.
47. Кірізий Д.А., Шегеда І.М. Розподіл азоту в донорно-акцепторній системі рослин та його роль у продукційному процесі. *Физиология и генетика растений*, 2019. Т.51, № 2. С. 114–132. Doi:10/15047/frg 2019.02.114.
48. Evans J.R. The nitrogen cost of photosynthesis / J.R. Evans / *Journal Exper/ Botany*. 2019. Vol.10. P. 7–15. Doi 10.1093/jeb/ery366.
49. Chen H.-Huang L. Effect of nitrogen fertiliver application rate on nitrate reductase activity in maize / L. Chen H.-Huang / *Applied ecology and Environmental Research*. 2020. Vol. 18, 2. P. 2879–2894/ doi 10.15666/aer/1802_28792894.
50. Колісник А.В., Мусієнко М.М. Особливості нітратредуктазної активності у вищих рослинах. *Физиология и биохимия культурных растений*. 2009, Т.41, № 1. С. 16–27.
51. Львов Н. П. Молибден в ассимиляции азота у растений и микроорганизмов. К.: Вища школа, 1989. 86 с.
52. Излаймов С. Ф. Азотный обмен растений. К.: Вища школа, 1986. 320 с.
53. Таланкова-Середа Т.Є. Вплив наночастинок металів на ефективність морфогенетичних процесів м'яти перцевої (*Mentha Piperita L.*) у культурі *in vitro* / Т.Є. Таланкова-Середа. *Агроекологічний журнал*, 2016, № 2. С. 149–155.
54. Стефанюк В.Й. Продуктивність стевії залежно від застосування мікродобрива «аватар» / В.Й. Стефанюк, В.М. Балан, А.В. Фурса. *Біоенергетика*, 2020, 2 (16). С. 26–29.
55. Znao L., Lu L., Wang A., Zhang H., Huang M., Wu H., Xing B., Wang Z., Li R. Nanotechnology in agriculture: use of nanomaterials to promote plant growth and stress tolerance/ *J. Agric. Food. Chem.* 2020. Vol. 68, 7. P. 1935–1947. Doi 10.1021/acs.jafc.9b06615.

Bibliography (transliterated)

1. Kaminskyi V.F., Saiko V.F., Sushko M. V. 2017. *Naukovi efekty vykorys-tannia vyrobnychkh resursiv u riznykh modeliakh tekhnolohii vykorystannia zernovykh kul-tur: monohraf.* Kyiv: Vinichenko, 2017. 580 p.
2. Vplyv zbroinoi ahresii ta voiennykh dii na suchasnyi stan gruntovoho pokryvu, otsinka shkody ta zbytkiv, zakhody z vidnovlennia / S.A.Baliuk, A.V.Kucher, M.O. Solokha, V.B.Solov Kharkiv: NNTs IHA, 2022. 148 p.
3. Tsarenko O.M. *Upravlinnia yakistiu ahropromyslovoi produktsii: navch.posib.* Summary: VTD Universytetska knyha, 2016. 431 p.
4. Tkachuk K.S. *Azotnyi obmin ta adaptatsiia roslyn do umov zhyvlennia* / K.S. Tkachuk, T.Z. Bohdan. Kyiv: Avers, 2000. 201 p.
5. Martsynyshyn Yu.D. Pyda S.V. *Biokhimichni sklad zerna pshenytsi miakoi (Triticum aestivum L.) za dii dobryv.* *Nauk.zap.Ternop.nats.ped.un-tu. Serii: Biolohiia*, 2021. Т.81, №1-2. S. 90–98. Doi: 10.25128/2078-2357.21.1-2.12.
6. Tsykov V.S. *Efetyvnist zastosuvannia makro- ta mikrodobryv pry vyroshchuvanni kukurudzy* /V.S. Tsykov, M.I. Dudka, O.M. Shevchenkro, S.S. Nosov. *Biuletен Un-tu zernovoho hospodarstva.* Dnipropetrovsk: BUZH, 2017, Т. 1, № 1. P. 75–79.

7. Dynamichni protsesy rozvytku orhanichnoho vyrobnytstva v Ukraini: monohraf. / I.V. Honcharuk, S.Ia. Kovalchuk, Ya.H. Tsytsiura, S.M. Lutkovska. Vinnytsia: VNAU, 2020. 472 p.
8. Bulyhin S.Iu. Mikrodobryva vazhlyvyi rezerv pidvyshchennia urozhainosti silskohospodarskykh kultur / S.Iu. Bulyhin, A.U. Fatieiev, L.F.Demishev. Visnyk ahrarnoi nauky, 2000, №11. P. 13–15.
9. Trufanov O. Mikroelementy, khelaty, mikrodobryva /O. Trufanov. Propozytsiia, 2013, № 5 (215). P. 63–65.
10. Petrychenko V.P. Ridki azotni dobrovryva na kukurudzi – osnova stabilnykh vrozhaiv / V. P. Petrychenko. Ahronom, № 7. P. 31–34.
11. Igamberdiev A.U., Bykova N.V. Role of organic acids in the integration of cellular redox metabolism of redox signaling in photosynthetic tissues of higher plants // Free Radical Biology and Medicine, 2018. Vol.122. P. 74–85. Doi 10.1016/j.freeradbiomed.2018.01.016.
12. López-Bucio J., Nieto Jacobo M.F., Ramirez-Rodriguez V.V. Organic acid metabolism in plants: from adaptive physiology to transgenic varieties for cultivation in extreme soil/ Plant Science. 2001. Vol. 60, № 1. P. 1–13. Doi 10/1016/S0168-9452(00)00347-2.
13. Chechui O.F. Biokhimiia roslyn: navch.posib. Kharkiv: KhNAU im. V.V. Dokuchaieva, 2021. 168 p.
14. Panfilova A.V. Narostannia nadzemnoi masy ta formuvannia vrozhainosti ze-rna pshenytsi ozymoi v umovakh pivdennoho stepu Ukrainy / A.V.Panfilova. Ahrarni innovatsii. 2023, №17. P. 107–112. Doi: /https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2023.17.
15. Hanhur V.V., Kocherha A.A., Pypko O., Len O.I. Efektyvnist mikrodobryv za umov obrobky nasinnia ta lystkoho pidzhyvlennia posiviv pshenytsi. Visnyk Poltavskoi derzhavnoi ahrarnoi akademii, 2022, № 2. S. 46–51. Doi 10.31210/visnyk2021.02.05.
16. Shevchuk M.I., Veremeienko S.I, Lopushniak V.I. Ahrokhimiia: pidruch. – Lutsk: Nadstyria, 2012. 468 p.
17. Lopatko K. Vykorystannia biolohichnykh vlastyvostei nanochastynok metaliv, pry vyroshchuvanni zernovykh / K. Lopatko. Metrology, 2011, Vol. 138. P. 98–106.
18. Kalenska S.M. Naukovo-praktychni rekomendatsii po zastosuvanni preparativ na osnovi vodnykh rozchyniv nanochastynok biohennykh metaliv dlia vyroshchuvannia ozymoi pshenytsi / S.M.Kalenska, K.H. Kopytko, Ye.H. Aftandiliants. Naukovyi visnyk nats.-ho un-tu bioresursiv i pryrokorystuvannia Ukrainy. Seriia: Tekhnika ta enerhetyka APK. Kyiv, 2010. Vyp. 144. Ch.1. P. 20–28.
19. Chen, H-Huang, L. Effect of Nitrogen fertiliver application rate on nitrate reductase activity in maize. Applied Ecology and Environmental Research. 2020. 18(1). P. 2879–2894. Doi: https://dx.doi.org/10.15666/aeer/1802_28792894.
20. Gleason F. Plant Biochemistry / F. Gleason, R. Chollet. – Jones&Bartlet Publishers, 2012. 248 p.
21. Rynkys H.Ia. Sbalansyrovannoe pytanye rastenyi makro- y mikroelementamy / Nollendorf. – Ryha: Zynatne, 1992. 304 p.
22. Nieder R., Benbi D.K., Reichl F.X. Mikroelementss and their role in human health. Components and human health. Dordrecht:Springer, 2018. 374 p.
23. Provatorov H., Provatorova V. Hodivlia silskohospodarskykh tvaryn. Sumy: Universytetska knyha, 2019. 510 p.

24. Kendziorek, M., Paszkowski, A., Zagdanska B. Differential regulation of alanine aminotransferase homologues by abiotic stress in wheat (*Triticum aestivum* L.) seedling/ *Plant Cell Rep.* 2012, Vol. 31. P. 1105–117. Doi 10.1007/s00299-012-1231-2.
25. Maciaga, M., Czekop, M., Paszkowski, A. Biochemical characterization of aspartate aminotransferase allozymes from common wheat / *Central Eur. Biol.* 2013. Vol. 2 (12). P. 1183–1193. Doi 10.2478/s11535-013-0240-7.
26. Sybirna N.O. *Mekhanizmy biokhimichnykh reaktsii: navch. posib.* N.O.Sybirna, Ya.P.Chaika, N.I.Klymyshyn. – Lviv: LNU im. I. Franka, 2011. 319 p.
27. Zvonar A.M. Vplyv pohodnykh umov roku ta sortovykh osoblyvostei na spozhyvannia azotu ta formuvannia yakosti zerna. *Visnyk ahrarnoi nauky Prymor'ia*, 2020. Vyp. 3. P. 87–95. Doi: 10.3152/2313-092X/2020-3-5(107).
28. Olkhovskiy H.F. Detalnyi metod vyznachennia struktury vrozhaiu pshenytsi ozymoi / H.F. Olkhovskiy, M.M. Bobro O.F. Chechui. *Visnyk ahrarnoi nauky.* – 2019. № 12. P. 92–99.
29. Reitman, S.A., Frenkel, S. 1966. Colorimetric methods for the determination of serum glutamic oxalacetic and glutamic pyruvic transaminases. *Amer. Journal Clin. Pathol.* 28 (1). P. 56–63.
30. Hognes D.M., Delong Y.M, Forney C.F. Prance R.K. 1977. Improving the thio-barbituric acid reactive substrates assay for estimating lipid peroxidation in plant tissue containing anthocyanin and other interfering compound. *Planta*, Vol. 207. P. 604–611.
31. *Metody biokhimichnoho doslidzhennia roslyn.* Pid red. A. Y. Yermakova. L.: Ahro-promyzzdat, 1987. 430 p.
32. Makrushyn M. M. *Fiziologiya roslyn* /M.M. Makrushyn, Ye.M. Makrushyna, N. V. Peterson, M. M. Menshykov / Za red.. prof. M.M.Makrushyna: pidruch. Vinnytsia: Novamknyha, 2006. 416 p.; Prysadytskyi Yu.H. *Fotosynteza: metod-posib.* Vinnytsia: DoNU, 2016. 68 p.
33. Antamentova L.O, Utevska O.M. *Statytyka dlia biologiv.* Kharkiv: Vydavnytstvo «NTMT», 2014. 331 p. / Atramentova L. O., Utevska O. M. *Statistika dlia biologiv.* Kharkiv: Vydavnytstvo «NTMT», 2014. 331 r.
34. Husic, D.H., Tolbert, N.E. Hydroxypyruvate reductase and NADP:glyoxylate reductase in Algae: partial purification and characterization from *Chlamydomonas reinhardtii* / *Arch.Biochem. and Biophys.* 1987. Vol. 252, № 2. P. 396–408.
35. Dao, O., Kuhnet, F., Weber A.P.M., Peltier G., Li-Beisson Y. Physiological functions of malate shuttles in plant and algae / *Trend in Plant Science.* 2022. Vol. 27, I. 5. P. 488–501. Doi 10.1016/j.tplants.2021.11.007.
36. Huang, A.H.C. Metabolism in plant leaves / *Recent Adv. Phytochem.* 1982. Vol. 16. P. 85–123.
37. Lancien, M., Gadal, P., Hodges, M. Enzyme redundancy and the importance of 2-oxoglutarate in higher plants ammonium assimilation / *Plant Physiol.* 2000. Vol. 123. P. 817–824.
38. López-Bucio, J., Nieto-Jacobo, M.F., Ramirez-Rodriguez, V.V. Organic acids metabolism in plants: from adaptive physiology to transgenic varieties for cultivation in extreme soils / *Plant Science*/ 2001. Vol. 6 (1). P. 1–13. Doi 10.1016/S0168-9452/00/ 00347-2.
39. Jeng, F., An Y., Zhang, H., Zhang, M. The effects of La(III) on the peroxidation of membrane lipids in wheat seedling leaves under osmotic stress. *Biol. Trace Elem. Res.* 1999, Vol. 69, 2, P. 141–150 doi 10.0007/BF02783865.

40. Grzanka, M., Smoleń S., Kovačik P. Effect of vanadium on the uptake and distribution of organic and inorganic forms of iodine in eweetcorn plants during early-stage development/ *Agronomy*. 2020. 10 (11). P. 1666–1674. Doi 3390/agronomy/10111660.
41. Yan L., Longyu H., Gungliang Z., Qingmei L. Zeping J. Mechanism and application of germanium in plant growth. 2015. Vol. 23, 8/ P. 931–937. Doi 10.13390/j.cnki.cjea.150314.
42. Carbajal-Vázquez N.H., Gómez-merino F.C., Alcántar-González E. G/ Titanium increases the antioxidant activity and macronutrient concentration in tomato seedling exposed to salinity in hydroponics / *Plants*. 2022, Vol. 11, 8. P. 1036–1042. Doi 10.3390/plants11081036.
43. Bezdudnaia E.F. Vliyanye solei tiazhel'nykh metallov na aktyvnost aminotransferaz v prorastaiushchikh semenakh soy *Glycine max L.* / E. F. Bezdudnaia. *Visnyk Kharkivs-koho natsionalnoho universytetu imeni V.N.Karazina. Seriya:Biolohiia*. 2007, № 768. P. 10–14.
44. Del Rio L.A., Sandalino L.M., Corpas F.J. Reative oxygen species and reactive nirtogen species in leaves. Production, scavenging, and role in cell signaling / *Plant Physiol*. 2001. Vol. 241. P. 330–335.
45. Chumykyna L.V. Aktyvnost fermentov obmela hlutamynav prorastaiushchem zerne trytykale / L.V. Chumykyna, L.Y. Arabova, V.V. Kolpakova, A.F. Topunov. *Fyzyolohiya rastenyi y hnenetyka*. 2013. T. 45, № 5. P. 390–398.
46. Shapiro B.S., Stadtman E.R. The regulation of glutamine synthesis in microorganism / B.S. Shapiro, E.R. Stadtman. *Ann.Rev.Microbiol*. 1970.Vol. 24. P. 504–522.
47. Kirizyi D. A., Sheheda I.M. Rozpodil azotu v donorno-aktseptornii systemi roslyn ta yoho rol u produktsiinomu protsesi. *Fyzyolohiya y henetyka rastenyi*, 2019. T.51, № 2. P. 114–132. Doi:10/15047/frg 2019.02.114.
48. Evans J.R. The nitrogen cost of photosynthesis / J.R. Evans / *Journal Exper/ Botany*. 2019. Vol.10. P. 7–15. Doi 10.1093/jeb/ery366.
49. Chen H.-Huang L. Effect of nitrogen fertiliver application rate on nitrate reductase activity in maize / L. Chen H.-Huang / *Applied ecology and Environmental Research*. 2020. Vol. 18, 2. P. 2879–2894/ doi 10.15666/aer/1802_28792894.
50. Kolisnyk A.V., Musiienko M.M. Osoblyvosti nitratreduktaznoi aktyvnosti u vyshchych roslynakh. *Fyzyolohiya y byokhymyia kulturnykh rastenyi*. 2009, T.41, № 1. P. 16–27.
51. Lvov N.P. Molybden v assymyliatsyy azota u rastenyi y mykroorhanyzmov. K.: Vyshcha shkola, 1989. 86 p.
52. Yzlaimov S.F. Azotnyi obmin roslyn. K.: Vyshcha shkola, 1986. 320 p.
53. Talankova-Sereda T.Ie. Vplyv nanochastynok metaliv na efektyvnist morfonehetychnykh protsesiv miaty pertsevoi (*Mentha Piperita L.*) u kulturi in vitro / T.Ie. Talankova-Sereda. *Ahroekolohichnyi zhurnal*, 2016, № 2. P. 149–155.
54. Stefaniuk V.Y. Produktyvnist stevii zalezghno vid zastosuvannia mikrodobry-va «avatar» / V.Y. Stefaniuk, V.M. Balan, A.V. Fursa. *Bioenerhetyka*, 2020, 2 (16). P. 26–29.
55. Znao L., Lu L., Wang A., Zhang H., Huang M., Wu H., Xing B., Wang Z., Li R. Nanotechnology in agriculture: use of nanomaterials to poromote plant growth and stress tolerance/ *J. Agric. Food. Chem*. 2020. Vol. 68, 7. P. 1935–1947. Doi 10.1021/acs.jafc.9b06615.

УДК 631.811.98: 632.15.068:631.811.98

Чечуй О.Ф.¹, к. біол.н., доцент; Близнюк О.М.², д.техн.н., професор,
Масалітіна Н.Ю.², к.техн.н., доцент, Белінська А.П.², к.техн.н., доцент,
Варанкіна О.О.², к.техн.н., доцент; Бєлих І.А.², к.біол.н., доцент, Дьякова Н.М., ст. викл.

ВПЛИВ РІДКИХ КОМПЛЕКСНИХ БІОТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРЕПАРАТІВ НА МЕТАБОЛІЗМ НІТРОГЕНУ ПРИ ФОРМУВАННІ ПРОДУКТИВНИХ ОРГАНІВ ПШЕНИЦІ ОЗИМОЇ

Досліджено вплив комплексних препаратів на метаболізм Нітрогену на ранніх стадіях органогенезу пшениці озимої. Визначено активність ключових ензимів азотного обміну, ТБК-активних продуктів, концентрацію NH_3 , вміст хлорофілу за умов експерименту. Виявлено тенденцію до підвищення активності АсАТ, в той час суміші макроелементів на ензиматичну активність іншого ензиму, навпаки, в середньому, на 23 % за впливу макроелементного комплексу на посіви пшениці озимої. Відбувається підвищення активності АсАТ, в середньому, на 41 %, а АлАСТ – на 36,3 % за препарату Аватар_м-2 у листі пшениці озимої. Виявлено зниження активності обох ключових ензимів метаболізму Нітрогену за впливу комплексу препарату Аватар_м-2-м, в середньому, на 27,2 % та 32,5 %, відповідно, що свідчить про сталізацію мікроелементами метаболічного спрямування продуктів та субстратів за метадобічного стану клітин листя пшениці озимої. За впливу Аватар_м-2-ст відбувається зниження активності АлАТ, в середньому 26,6%, в той час прояв сукцитату на активність АсАТ виявився більш істотним – в середньому на 48,3 %, адже біотехнологічний препараті Аватар_м-2-ст містить сукцинат, в той час як Аватар_м-2-м – яблучну кислоту. В реакціях АлАТ утворюється піруват – ключовий субстрат глікогеногенезу, підвищення якого може сприяти активації синтезу вуглеводів, необхідних для ростових процесів рослини. Ензими АсАТ та АлАТ відіграють ключову роль у метаболізмі аспартату, аланіну та глутамату, крім того, ці два ензими використовуються для утворення амідів – аспарагіну і глутаміну, тому підвищення їх активності є умовою накопичення цих амідів в якості резерву NH_4^+ . Концентрація NH_3 за впливу Аватар_м-2 підвищується на 42 %, а за Аватар_м-2-м та Аватар_м-2-ст концентрація не змінюється, що свідчить про регуляторний ефект малату та сукцинату на активацію та ступінь використання цієї форми Нітрогену в альтернативних процесах перетворення амінокислот. Вміст хлорофілу за впливу препарату РКД-макро підвищується, в середньому, у, за впливу Аватар_м-2– у 2,8 разів, в той час, вплив кислот у складі препаратів Аватар_м-2-м та Аватар_м-2-ст – по-різному виявляється, але напрямок зниження вмісту цього показника відносно препарату Аватар_м-2 знижується, проте, у порівнянні із контролем підвищує цей критерій, в середньому, у 1,9 та 1,7 разів, відповідно. Зроблено висновок щодо оптимізації метаболізму Нітрогену в листі пшениці озимої за дії наночастинок хелатованих металів із органічними кислотами малатом та сукцинатом на критичній стадії її органогенезу – трубкування в процесі формування продуктивних пшениці озимої.

Ключові слова: біотехнологія, рідкі комплексні препарати, мінеральні елементи, метаболізм Нітрогену, малат, сукцинат, аспартамінортрансфераза, аланінаминотрансфераза, *Triticum aestivum* L.

Чечуй О.Ф.¹, к. биол.н., доцент; Близнюк О.Н.², д.техн.н., профессор,
Масалитина Н.Ю.², к.техн.н., доцент, Белинская А.П.², к.техн.н., доцент,
Варанкина О.А.², к.техн.н., доцент; Белых И.А.², к.биол.н., доцент,
Дьякова Н.М.², ст. преп.

ВЛИЯНИЕ ЖИДКИХ КОМПЛЕКСНЫХ БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРЕПАРАТОВ НА МЕТАБОЛИЗМ НИТРОГЕНА ПРИ ФОРМИРОВАНИИ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫХ ОРГАНОВ ПШЕНИЦЫ ОЗИМОЙ

Исследовано влияние комплексных препаратов на метаболизм Нитрогена на ранних стадиях органогенеза озимой пшеницы. Определены активность ключевых энзимов азотного обмена, ТБК-активных продуктов, концентрация NH_3 , содержание хлорофилла в условиях эксперимента. Выявлена тенденция к повышению активности АсАТ, в то же время смеси макроэлементов на энзиматическую активность другого энзима, наоборот, в среднем, на 23 % при влиянии макроэлементного комплекса на посевы озимой пшеницы. Происходит повышение активности АсАТ, в среднем, на 41 %, а АлАСТ – на 36,3 % препарата Аватар_м-2 в листьях озимой пшеницы. Выявлено снижение активности обоих ключевых энзимов метаболизма Нитрогена при влиянии комплекса препарата Аватар_м-2-м, в среднем, на 27,2 % и 32,5 %, соответственно, что свидетельствует о стабилизации микроэлементами метаболического направления продуктов и субстратов при методическом состоянии клеток листа пшеницы озимой. При влиянии Аватар_м-2-ст происходит снижение активности АлАТ, в среднем 26,6 %, в то время проявление сукцитата на активность АсАТ оказалось более существенным – в среднем на 48,3 %, ведь биотехнологический препарат Аватар_м-2-ст содержит сукцинат, в то время как Аватар_м-2-м – яблочную кислоту. В реакциях АлАТ образуется пируват – ключевой субстрат глюкогеногенеза, повышение которого может способствовать активации синтеза углеводов, необходимых для ростовых процессов растения. Энзимы АсАТ и АлАТ играют ключевую роль в метаболизме аспартата, аланина и глутамата, кроме того, эти два энзима используются для образования амидов – аспарагина и глутамина, поэтому повышение их активности является условием накопления этих амидов в качестве резерва NH_4^+ . Концентрация NH_3 при влиянии Аватар_м-2 повышается на 42 %, а при Аватар_м-2-м и Аватар_м-2-ст концентрация не изменяется, что свидетельствует о регуляторном эффекте малата и сукцината на активацию и степень использования этой формы Нитрогена в альтернативных процессах превращения аминокислот. Содержание хлорофилла при влиянии препарата РКД-макро повышается, в среднем, в, при влиянии Аватар_м-2- в 2,8 раз, в то время, влияние кислот в составе препаратов Аватар_м-2-м и Аватар_м-2-ст – по-разному оказывается, но направление снижения этого показателя относительно препарата Аватар_м-2 снижается, однако, по сравнению с контролем повышает этот критерий, в среднем, в 1,9 и 1,7 раз, соответственно. Сделан вывод о оптимизации метаболизма Нитрогена в листьях озимой пшеницы при действии наночастиц хелатированных металлов с органическими кислотами малатом и сукцинатом на критической стадии ее органогенеза – трубки в процессе формирования продуктивных пшеницы озимой.

Ключевые слова: биотехнология, жидкие комплексные препараты, минеральные элементы, метаболизм Нитрогена, малат, сукцинат, аспартаминотрансфераза, аланинаминотрансфераза, *Triticum aestivum* L.

Chechui H.F., Bliznjuk O.M., Masalitina N.Yu., Belinska A.P., Varankina O.O., Belykh I.A.,
Dyakova N.M.

INFLUENCE OF BIOTECHNOLOGICAL COMPLEX PREPARATIONS OF LIQUID ON NITROGEN METABOLISM IN PRODUCTIVE ORGANS OF THE WHEAT WINTER FORMATION

The influence of complex preparations on nitrogen metabolism in the early stages of winter wheat organogenesis was studied. The activity of key enzymes of nitrogen metabolism, TBA-active products, NH_3 concentration, and chlorophyll content under the experimental condition were determined. There is a tendency to increase the activity of AsAT, while the mixture of macronutrients on the enzymatic activity of another enzyme, on the contrary, on average, by 23 % under the influence of the macroelements complex on winter wheat crops. There was an increase in the activity of AsAT by 41 % on average, and AlAT by 36.3 % with Avatar_m-2 in winter wheat leaves. A decrease in the activity of both key enzymes of nitrogen metabolism under the influence of Avatar_m-2-m complex was found, on average, by 27.2 % and 32.5 %, respectively, which indicates the stabilization of the metabolic direction of products and substrates by trace elements in the metabolic state of winter wheat leaf cells. Under the influence of Avatar_m-2-st, there is a decrease in AlAT activity, on average 26.6 %, while the effect of succinate on the activity of AlAT was more significant – on average 48.3 %, because the biotechnological preparation Avatar_m-2-st contains succinate, while Avatar_m-2-m contains malic acid. AlAT reactions produce pyruvate, a key substrate of glucogenesis, whose increase can help activate the synthesis of carbohydrates necessary for plant growth. The enzymes AsAT and AlAT play a key role in the metabolism of aspartate, alanine, and glutamate, and the first two enzymes are used to form amides such as asparagine and glutamine, so increasing their activity is a condition for the accumulation of these amides as a reserve of NH_4^+ . The concentration of NH_3 under the influence of Avatar_m-2 increased by 42 %, while under Avatarm-2-m and Avatar_m-2-st the concentration did not change, indicating the regulatory effect of malate and succinate on the activation and degree of use of this form of Nitrogen in alternative processes of amino acid conversion. The chlorophyll content under the influence of LCP-macro increases, on average, by 2.8 times, under the influence of Avatar_m-2- by 2.8 times, while the effect of acids in the composition of Avatar_m-2-m and Avatarm-2-st is manifested differently, but the direction of decrease in this indicator relative to Avatarm-2 decreases, however, compared to the control, it increases this criterion, on average, by 1.9 and 1.7 times, respectively. It has been concluded that the optimization of nitrogen metabolism in winter wheat leaves under the action of chelated metal nanoparticles with organic acids malate and succinate at the critical stage of its organogenesis – tubing in the process of formation of productive winter wheat.

Keywords: biotechnology, liquid complex preparations, mineral elements, Nitrogen metabolism, malate, succinate, aspartate aminotransferase, alanine aminotransferase, chlorophyll, *Triticum aestivum* L.