

ЄМЕЛЬЯНОВ В.І.^{1,2,3} ✉, БОБОШКО О.П.¹, МІХЄЄВ О.М.¹, КОВБАСЕНКО Р.В.¹,
СИМОНЕНКО Ю.В.^{1,3}, ШВАРТАУ В.В.²

¹ Інститут клітинної біології та генетичної інженерії НАН України,

Україна, 03680, м. Київ, вул. Заболотного, 148, ORCID: 0009-0003-5216-3207, 0009-0000-0256-6524,
0000-0003-1351-7108, 0000-0002-0774-362X, 0000-0002-5597-3315, 0000-0001-7402-5559

² Інститут фізіології рослин і генетики НАН України,

Україна, 03022, м. Київ, вул. Васильківська, 31/17

³ Інститут високих технологій, Київський національний університет імені Тараса Шевченка,
Україна, 03022, м. Київ, проспект Академіка Глушкова, 4

✉ vldeml@ukr.net

УФ-В ІНДУКОВАНЕ НАКОПИЧЕННЯ КАЛОЗИ У РОСЛИН ОЗИМОЇ ПШЕНИЦІ

Мета. Озима пшениця (*Triticum aestivum* L.) – важлива сільськогосподарська культура. Її стійкість до стресових факторів та змін середовища суттєво впливають на урожайність, а вивчення механізмів стійкості є актуальним. Мета роботи – визначення кількості конститутивного та ультрафіолет-В індукованого накопичення калози у проростків озимої пшениці сорту Миронівська 808 та з'ясування впливу доз УФ-В опромінення на їх ростові параметри. **Методи.** Рослини піддавали дії УФ-В дозами 0,1, 1 та 10 кДж/м², вимірювали ростові параметри та визначали кількість накопиченої калози за методом Каусса. **Результати.** Визначено ростові параметри та кількість калози, що накопичується за умов УФ-В опромінення. Проведено порівняльний аналіз ростових параметрів та результатів конститутивного та індукованого накопичення калози. **Висновки.** Після опромінення ростові параметри зростали пропорційно до отриманої дози УФ-В. В діапазоні доз від 0,1 до 10 кДж/м² є стимулюючий ефект їх приросту. Середня величина накопичення калози становила близько 0,8 мкг-екв/мг смрм, а її кількість мала характер коливального контуру збільшення / зменшення з поступовим зростанням її кількості пропорційно до дози. Максимум калози (1,8 – 2,2 мкг-екв/мг смрм) виявлено у зразках, опромінених дозою 10 кДж/м². Зменшення кількості калози на 72 і 120 год, ймовірно, пов'язано з біохімічними перетвореннями в структурах клітинних стінок.

Ключові слова: *Triticum aestivum* L., пшениця, калоза, УФ-В опромінення.

Озима пшениця – важлива сільськогосподарська культура, а її стійкість до стресових факторів та змін умов навколишнього середовища, таких як посуха та холод, перепади тиску та вологість, токсична дія важких металів, інвазія патогенів, шкідливий вплив УФ-опромінення тощо суттєво впливають на урожайність [1, 2].

Рослинні організми зазнають численних біохімічних, морфо-фізіологічних та структурних змін, які відбуваються з ними на різних етапах їх розвитку, пов'язаних у тому числі із впливом на них стресових факторів навколишнього середовища [1]. Механізми стійкості рослин до стресу ґрунтуються на утворенні складного ланцюга конститутивних і індукованих захисних речовин, які формують біохімічні [3] та механічні імунні бар'єри. Клітинна стінка – перший захисний бар'єр рослинної клітини. Однією з ранніх реакцій рослин при пошкодженні їхніх клітинних стінок гідролітичними ферментами патогенів, комахами або ураженням високоенергетичними потоками опромінення, є їх репарація та укріплення, що відбувається за рахунок накопичення β -1,3-глюкану – калози. Калоза відкладається у вигляді спіралізованих гранул між зовнішньою стороною плазмалемми та внутрішнім шаром клітинної стінки в місцях її пошкоджень. Це найчисельніший і найпоширеніший компонент захисту рослинних клітин [4]. Калоза в рослинах накопичується як конститутивно, так і у відповідь на різні типи стресів, які впливають на їх організми. Зокрема, відкладання калози як активної захисної реакції рослин відбувається у відповідь на інфікування, що добре ілюструє утворення папіл. Накопи-

© ЄМЕЛЬЯНОВ В.І. БОБОШКО О.П.,
СИМОНЕНКО Ю.В., ШВАРТАУ В.В.

МІХЄЄВ О.М.,

КОВБАСЕНКО Р.В.,

чення калози спостерігають при реакції НДЧ-загибелі клітин у рослин, інфікованих вірусами [5]. Водний дефіцит, температурний та механічний стрес, гіпоксія, вплив ультрафіолету, наявність важких металів у ґрунті тощо спричиняють посилений синтез калози в рослинах [5].

Калозу виявлено у клітинних стінках *Arabidopsis thaliana* L. при опроміненні рослин ультрафіолетовими променями С (УФ-С) [7]. Впливу ультрафіолету було достатньо для прямої або побічної (можливо через покоління ROS) зміни цілісності клітинної мембрани [6], що, можливо, і призводило до локального накопичення калози як швидкої захисної реакції при первинній репарації структур клітинної стінки [7] та її подальшого відновлення у місцях руйнування [4]. Калоза перша з'являється в уражених клітинах у вигляді невеликих плям уздовж клітинної стінки. Ймовірно, відкладання калози у першу чергу пов'язано із здатністю калозосинтази до локального синтезу як компоненту швидкої репарації клітинних стінок за принципом фермент-субстрат [8].

Відкриття виснаження стратосферного озону сприяло появі досліджень щодо абіотичного стресу, а саме впливу підвищених рівнів ультрафіолетового опромінення (УФ) на рослини. Збільшення доз ультрафіолету В (УФ-В) зазвичай призводить до зменшення біомаси рослин [9]. За високих експозиційних доз ультрафіолету С (УФ-С) у діапазоні від 5 до 50 кДж/м² спостерігали реактивацію активних форм кисню (АФК) і відповідне перикисне окислення ліпідів, та, як наслідок, загибель клітин протопластів, калюсу та тканин листя. УФ-В опромінення викликає появу АФК у периплазматичному просторі рослинних тканин [10], які, не маючи специфічності у виборі субстрату, також руйнують глюкан-вмісні структури клітинної стінки, які, у свою чергу, також стають локальним субстратом для синтезу калози [4] комплексом калозосинтази [2].

Певний діапазон доз УФ-опромінення може бути корисним для процесу розвитку рослин і їх своєчасного реагування на повторні стресові фактори середовища [4]. Показало, що УФ-В-промені підвищують та стимулюють їх системну стійкість рослин до комах у порівнянні з рослинами, які перебували в умовах без такого освітлення [11]. Клітинний стрес, спричинений УФ-опроміненням, сприяє полегшенню активації відповіді «перехресна толерантність» («cross-tolerance»), в яких активуються шляхи,

зазвичай пов'язані з захистом рослин від патогенів і реакцій на механічне пошкодження. Перехресна толерантність у рослин після впливу УФ-В- або УФ-С-опромінення викликала зростання їх захисної функції при патогенезі. Останнє зумовлено посиленням активності саліцилової і жасмонової кислот, або етилену і активацією даними сигнальними шляхами кінцевих реакцій імунної відповіді у рослин.

Відкритими залишаються питання відносно ступеня порушення і заподіяної шкоди, змін у фізіологічному стані клітин, стимулювання певних захисних механізмів, які можуть відбуватися в рослинах при впливі різних доз УФ-В-променів. Недостатньо вивченим є питання, яким чином даний тип стресу ініціює реакції-відповіді і які мінімальні дози УФ-опромінення необхідні для їх активації. Для того, щоб обмежити шкідливий вплив великих доз ультрафіолету, рослини використовують захисні механізми, які дозволяють їм відновлювати пошкоджені опроміненням структури та за рахунок комплексу захисних реакцій підтримувати свою життєздатність. Вивчення механізмів конститутивної, індукованої та системної стійкості, пов'язаних з накопиченням калози як незамінної молекулярної захисної речовини [2] у рослин родини злакових є вельми актуальним [1]. Маловивченими залишаються також питання щодо кількості накопичення калози та її співвідношення з приростом біомаси рослин [12], чи їх ростовими параметрами.

Опрацювання літературних джерел дозволило визначити діапазон ефективних доз УФ-В опромінення у межах 0,1 кДж/м² – 10 кДж/м². Для експериментів було обрано рослини ретросорту української селекції – м'якої озимої пшениці Миронівська 808. Експериментальна робота передбачала проведення досліджень щодо визначення кількості конститутивного та УФ-В індукованого накопичення калози у проростків озимої пшениці, з'ясування впливу використаних доз ультрафіолетового опромінення на ростові параметри рослин обраного сорту та виявлення закономірностей у схемі: доза опромінення – ростові параметри – накопичення калози.

Матеріали і методи

Рослини озимої пшениці сорту Миронівська 808 вирощували на піщаному ґрунті в культуральній кімнаті з інтенсивністю освітлення 20 кЛк/м² і світловим періодом 16 год. Насіння

пшениці висаджували у горщики по 100 штук. Експерименти проводили на 7-ми денних проростках озимої пшениці впродовж наступних 5 діб.

Рослини піддавали дії УФ-В, джерелом якого був випромінювач ОБМ-150 М з двома лампами Philips special fluorescent lamp потужністю 35 Вт. Під час калібрування відстань від ламп до поверхні ґрунту була встановлена на рівні 44 см і дорівнювала 2 Вт/м². Час опромінення (в секундах), необхідний для отримання обраних доз 0,1, 1 та 10 кДж/м², розраховували за формулою:

$$T = \frac{D}{P} [4].$$

Контрольні зразки під час опромінення експериментальних рослин тримали у темряві. Через зазначений вище час опромінення горщики з експериментальними рослинами поступово переносили в темряву до контрольних. Після опромінення останніх експериментальних зразків дозою 10 кДж/м² всі горщики з рослинами були перенесені в культуральну кімнату. Вимірювання ростових параметрів та відбір зразків рослинного матеріалу для визначення кількості накопиченої калози проводили кожні 24 години протягом 5 діб.

Виділення та кількість калози визначали за методом Каусса з модифікаціями [3]. Флуоресценцію розчину вимірювали за допомогою спектрофлуориметра СДЛ-2 («ЛОМО», СРСР). Довжина хвилі детектування становила 490 нм, довжина хвилі збудження – 397 нм. Для побудови кривої калібрування використовували свіжий розчин штучно синтезованого 1,3-β-глюкану – пахіману в діапазоні концентрацій від 0,2 до 20 мкг/мл (люб'язно наданий проф. Т. Боллером, Швейцарія) [3]. Використовуючи калібрувальний графік інтенсивності люмінесценції пахіману визначали кількість калози та виражали її у мкг-еквівалентах пахіману / мг сирової маси рослинного матеріалу (срм). В експериментах використовували барвник аніліновий блакитний («Sigma», США). Всі інші реактиви для приготування розчинів були представлені виробниками Укрреактивпрому (Україна).

Досліди проводили у триразовому біологічному та аналітичному повторах. Результати опрацьовували статистично з використанням програми Microsoft-Excel. На графіках наведено середньо-арифметичні значення та величини дисперсії.

Результати та обговорення

Враховуючи, що середньостатистичне значення довжини проростків пшениці сорту Миронівська 808 мало природний поліморфізм за параметрами росту, вважаємо за необхідне вказати на їх стартові параметри на початок експерименту. Перед опроміненням рослин середня довжина їх проростків у контролі становила 21 см у рослин, які в подальшому піддавали опроміненню у дозі 0,1 кДж/м² – 22,6 см, 1 кДж/м² – 21,3 см та дозою 10 кДж/м² – 22 см. При цьому достовірних середньостатистичних розбіжностей довжини контрольних та експериментальних рослин виявлено не було.

Встановлено, що середній приріст за добу у довжину впродовж 5 діб експерименту у контрольних варіантах рослин становив 1,26 см (рис. 1). В ході експериментальної роботи виявлено, що опромінення дослідних рослин дозами від 0,1 до 10 кДж/м² прискорювало приріст рослин у довжину порівняно з таким у контролі впродовж усього періоду спостереження.

На 24 годину експерименту (8 доба) достовірних відмінностей у ростових параметрах між дослідними та контрольними рослинами не виявлено. Середні показники росту опромінених УФ-В рослин цього сорту коливалися від 22,6 до 23,5 см порівняно з 22,5 см у контрольному варіанті (рис. 1). Крім того, ростові параметри рослин цього сорту майже не збільшилися порівняно з показниками попередньої доби. Тобто, враховуючи середньостатистичну похибку, можна стверджувати, що ріст рослин у довжину майже не відбувався. На 48-му добу після опромінення у рослин спостерігалось достовірне збільшення у значеннях їх ростових параметрів як порівняно з контрольними рослинами, так і порівняно із значеннями попередньої доби дослідів (рис. 1). Найбільший стимулюючий вплив на ріст рослин цього сорту в довжину спостерігався у зразків, опромінених дозою 1 кДж/м². Крім того, ростові параметри рослин цього сорту майже не збільшилися порівняно з показниками попередньої доби. Тобто, враховуючи середню статистичну похибку, можна стверджувати, що ріст рослин у довжину майже не відбувався. На 48-му добу після опромінення у рослин спостерігалось достовірне зростання значень їх ростових параметрів як порівняно з контрольними рослинами, так і порівняно з попередньою добою дослідів (рис. 1). Найбільший стимулюючий вплив на ріст рослин цього сорту в довжину спостерігався у зразків, опромінених

дозою 1 кДж/м². Їх довжина в середньому становила 28,4 см порівняно з середньою довжиною 24,6 см у контрольних рослин. У рослин, опромінених УФ-В в дозах 0,1 і 10 кДж/м², середні показники росту становили 25,6 см. При цьому достовірних відмінностей порівняно з контрольними рослинами за цих доз опромінення не виявлено (рис. 1). На 72 години експерименту найбільш інтенсивний ріст у довжину спостерігався у рослин, опромінених дозами 0,1 і 10 кДж/м², ростові параметри яких становили в середньому 28 і 29 см відповідно порівняно з 26 см у контролі. У проростків пшениці цього сорту, опромінених ультрафіолетом В у дозі 1 кДж/м², спостерігалася уповільнення їхнього росту порівняно з попереднім днем, які зросли в середньому до 29 см, але були достовірно вищими за контролі рослини. Через 96 та 120 год після опромінення ростові параметри всіх рослин у дослідних зразках зростали пропорційно отриманій дозі УФ-В та відносно контролю (рис. 1). Отже, на 5 добу досліджень після опромінення рослин пшениці в діапазоні доз від 0,1 до 10 кДж/м² виявлено стимулюючий ефект їх росту у довжину порівняно з контрольними рослинами. Максимальні середні показники росту на 5 добу експерименту зафіксовано у рослин, опромінених дозою 10 кДж/м², які мали найвищі значення серед усіх експериментальних зразків і становили в середньому 30,8 см. Рослини, опромінені дозами 0,1 і 1 кДж/м², ви-

росли до 29,5 і 30 см відповідно порівняно з середнім приростом довжини рослин у контролі – 27,3 см.

Таким чином, у пшениці ростові параметри дослідних рослин зростали порівняно з контролем починаючи з 24 год (рис. 1). Максимальний приріст у проростків цього сорту пшениці спостерігали на 120 год дослідження при їх УФ-В опроміненні дозою 10 кДж/м², який був більшим на 3,5 см порівняно з контролем та одночасно найбільшим значенням приросту ростових параметрів впродовж усього експерименту.

На наступному етапі роботи було визначено кількість конститутивного накопичення калози у рослин пшениці. В контролі 8-денних (24 год) проростків кількість калози в середньому становила майже 0,6 мкг-екв/мг смрм. Її кількість поступово зростала пропорційно до часу впродовж усього експерименту і на 120 год відповідала значенню 1,4 мкг-екв/мг смрм. З 24 до 48 год дослідження середній приріст кількості калози в рослинах становив близько біля 0,4 мкг-екв/мг смрм. З 48 до 96 год експерименту середній приріст накопичення калози складав близько 0,2 мкг-екв/мг смрм. В інтервалі часу з 96 до 120 год експерименту зростання кількості її накопичення залишилося майже на тому ж рівні та становило близько 0,1 мкг-екв/мг смрм. Таким чином, середнє конститутивне накопичення калози за 5 діб експерименту у проростків пшениці становила близько 0,8 мкг-екв/мг смрм.

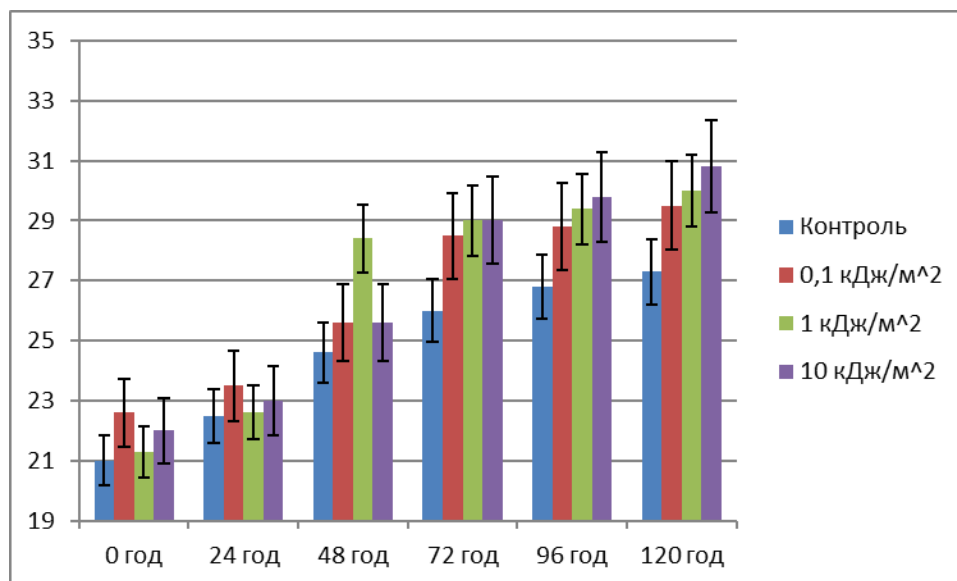


Рис. 1. Ростові параметри рослин пшениці сорту Миронівська 808 за УФ-В опромінення.

Наступним етапом експерименту було проведення дослідження з визначення кількості УФ-В індукованої калози в рослинах при їх опроміненні в діапазоні доз від 0,1 до 10 кДж/м² та подальшим аналізом її накопичення залежно від дози опромінення в порівнянні з контрольними рослинами та між собою. Графіки кількості накопичення калози мали характер коливального контуру (збільшення / зменшення) з тенденцією до поступового зростання її кількості при опроміненні всіма дозами (рис. 2). Через 24 год після опромінення рослин УФ-В у всіх варіантах спостерігали збільшення кількості накопичення калози пропорційно до дози, яке було максимальним у зразках, опроміненних 10 кДж/м², і становило близько 1 мкг-екв/мг смрм порівняно з 0,6 мкг-екв/мг смрм у контролі. На 48 год експерименту кількість калози в проростках пшениці була найвищою за дози опромінення 10 кДж/м² і становила близько 2,2 мкг-екв/мг смрм порівняно з 1 мкг-екв/мг смрм у контролі. Рослини, опромінені дозами 0,1 і 1 кДж/м², накопичували в середньому близько 2 мкг-екв/мг смрм. На 72 год вміст калози в дослідних зразках зменшився на 0,7 мкг-екв/мг смрм за добу порівняно з попередньою добою, але був вищим у середньому на 0,4 мкг-екв/мг смрм порівняно з контролем. На 96 год експерименту в рослинах, опроміненних дозами 0,1 і 1 кДж/м², кількість накопиченої рослинами калози знову зросла порівняно з попередньою добою і становила в середньому близько 1,8 мкг-екв/мг смрм. Проте в рослинах, опроміненних дозою 10 кДж/м², кількість калози в цей період зросла найбільше і становила 2,1 мкг-екв/мг смрм порівняно з контролем 1,3 мкг-

екв/мг смрм. На 120 год її кількість у рослин, опроміненних дозою 0,1 кДж/м², зросла до 2,2 мкг-екв/мг смрм порівняно з 1,4 мкг-екв/мг смрм у контролі та близько 1,8 мкг-екв/мг смрм у рослин, опроміненних дозами 1 та 10 кДж/м².

Щодо аналізу коливального характеру графіку УФ-В індукованого накопичення калози слід зазначити наступне. Суттєве зниження її кількості у рослин може бути пов'язане, по-перше, з трансформацією калози, як тимчасової структури, ферментом – глюкозилтрансферазою [2] в постійну целюлозну структуру оновлених клітинних стінок рослин після ініційованих УФ-В опроміненням їх прямим чи опосередкованим пошкодженням [10]. Також є ймовірність того, що частина стрес-індукованої калози, накопиченої рослинами пшениці, стала матрицею для формування високоорганізованих структур кластерного типу тривимірного імунітету рослин [1], який забезпечує системну стійкість до повторних біотичних та абіотичних стресів [4]. Такі структури імунітету є надмолекулярними інтегральними комплексами, що містять калозу, целюлозу, лігнін, суберин, фенольні поліаміни, АФК, арабіногалактановий білок, гідроксипролін, глюкопротеїни, пектини, ксилглюкани, а також неорганічні хімічні елементи, такі як кальцій, кремній, цинк тощо [13]. За рахунок кооперативної поведінки комплексів системи захисного бар'єру посилюються як механічні властивості клітинної стінки, так і забезпечується швидка та ефективна реалізація поліваріантної локальної захисної відповіді рослинних клітин і тканин на різні типи стресу [1].

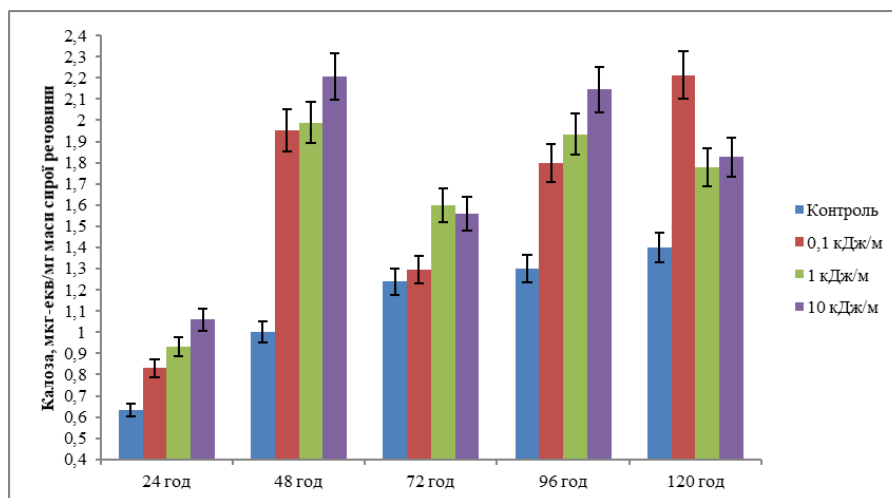


Рис. 2. Вміст калози у проростках пшениці сорту Миронівська 808 за УФ-В опромінення.

Гранули калози також є механічним бар'єром і місцем накопичення антимікробних вторинних метаболітів, у тому числі фенолів та поліфенолів. Такі комплекси є токсичними для структур патогенів, а також можуть виконувати роль радіопротекторів. Інтегральні структури сприяють механічному укріпленню рослинного організму, наприклад, визначають стійкість рослин пшениці до вилягання [1]. Тобто, ароматичні сполуки, вступаючи у хімічний зв'язок з гранулами калози, сприяють формуванню стійкого біохімічно-механічного захисного бар'єру. У результаті взаємодії даного структурно-біохімічного конгломерату з іншими компонентами клітинної стінки формуються захисні кластерні структури, які зумовлюють підвищену стійкість рослинних тканин до дії патогенів та високоенергетичних квантів сонячного опромінення. Крім того, синтезовані рослиною ароматичні сполуки є природною альтернативою хімічним препаратам для контролю патогенезу сільськогосподарських культур, що, безсумнівно, може бути використано у біотехнології рослин для ініціювання підвищення системного імунітету шляхом попереднього праймування [3] та загартовування [1].

Таким чином, зменшення кількості калози на 72 та 120 год експерименту в більшості дослідних зразків можна пов'язати з описаними вище біохімічними перетвореннями в структурах клітинної стінки рослинних клітин пшениці. Вивчення накопичення ароматичних та інтегральних комплексних сполук є пріоритетним напрямком наших подальших досліджень при УФ-В-індукованих реакціях фітоімунної відповіді рослин м'якої озимої пшениці. Остаточну відповідь щодо причин коливань кількісного рівня індукованого відкладення калози в рослинах цього сорту можуть дати сучасні мікроскопічні дослідження структур клітинної стінки.

В експериментальній роботі вперше визначено ростові параметри та кількість калози, що накопичується в проростках озимої пшениці сорту Миронівська 808 за умов УФ-В опромінення. Проведено порівняльний аналіз відмінностей ростових параметрів контрольних та УФ-В опромінених рослин. Проаналізовано результати конститутивного та індукованого накопичення калози у обраного сорту. Показано, що через 96 та 120 год після опромінення пшениці ростові параметри рослин у всіх дослідних зразках зростали відносно контролю про-

порційно до отриманої дози УФ-В. Таким чином, протягом 5 діб досліджень після опромінення рослин в діапазоні доз від 0,1 до 10 кДж/м² спостерігався стимулюючий ефект їх приросту в довжину порівняно з рослинами контролю. Максимальні ростові параметри на 5 добу експерименту зафіксовано у рослин, опромінених дозою УФ-В – 10 кДж/м², які мали найвищі значення і становили в середньому 30,8 см. Рослини, опромінені дозами 0,1 і 1 кДж/м², зростали до 29,5 і 30 см відповідно, у порівнянні з середнім приростом довжини рослин у контролі – 27,3 см.

Середня величина конститутивного накопичення калози за 5 діб експерименту в проростках становила близько 0,8 мкг-екв/мг смрм. Графіки кількості УФ-В індукованого накопичення калози мали характер коливального контуру збільшення / зменшення з тенденцією до поступового зростання її кількості пропорційно до дози. Через 24 год після опромінення УФ-В спостерігалось збільшення кількості накопичення калози пропорційно до дози опромінення, яка була максимальною у рослин, опромінених дозою у 10 кДж/м², і становила біля 1 мкг-екв/мг смрм у порівнянні з 0,6 мкг-екв/мг смрм у контролі. На 24, 48 та 96 год після впливу УФ-В на рослини у всіх варіантах спостерігалось зростання кількості накопичення калози пропорційно до дози у порівнянні з контролем та попередньою добою. Найбільшу кількість калози було виявлено у зразках, опромінених дозою 10 кДж/м², які становили значення від 1,8 до 2,2 мкг-екв/мг смрм у порівнянні з 1,3 – 1,4 мкг-екв/мг смрм у контролі. Зменшення кількості калози на 72 і 120 год у порівнянні з попередньою добою експерименту у більшості експериментальних зразків, ймовірно, пов'язано з біохімічними перетвореннями в структурах клітинних стінок рослинних клітин. Останнє потребує проведення мікроструктурних досліджень пошкоджень клітинної стінки рослин пшениці внаслідок впливу УФ-В опромінення.

Висновки

Вперше визначено ростові параметри та кількість калози, що накопичується в проростках озимої пшениці сорту Миронівська 808, за умов УФ-В опромінення. Проведено порівняльний аналіз відмінностей ростових параметрів контрольних та УФ-В опромінених рослин та проаналізовано результати конститутивного та

індукованого накопичення калози. Значення ростових параметрів дослідних рослин зростали починаючи з 24 год. Максимальний приріст спостерігали на 120 год дослідження при їх УФ-В опроміненні дозою 10 кДж/м². Зменшення кількості калози на 72 та 120 год експерименту можна пов'язати з біохімічними перетвореннями

в структурах клітинної стінки рослинних клітин. Вивчення накопичення ароматичних та інтегральних комплексних сполук є пріоритетним напрямком наших подальших досліджень при УФ-В-індукованих реакціях фітоімунної відповіді рослин м'якої озимої пшениці.

References

1. Boboshko O., Emelyanov V., Panyuta O., Taran N. Constitutional and induced accumulation of callose and phenol compounds as elements of systemic resistance in winter wheat sprouts. *Cytol. Genet.* 2019. Vol. 53 (5). P. 375–383. <https://doi.org/10.3103/S0095452719050049>.
2. Nedukha O. M. Callose: localization, functions, and synthesis in plant cells. *Cytol. Genet.* 2015. Vol. 49 (1). P. 49–57. <https://doi.org/10.3103/S0095452715010090>.
3. Emelyanov V. I., Kravchuk J. N., Poliakovskiy S. O., Dmitriev O. P. Deposition of callose in treatment of cell of the tomato plant (*Lycopersicon esculentum* L.) with biotic elicitors. *Cytol. Genet.* 2008. Vol. 42 (2). P. 90–95. <https://doi.org/10.1007/s11956-008-2004-2>.
4. Boboshko O. P., Kovbasenko R. V., Halkina K. O., Symonenko Yu. V., Mikheev A. M., Emelyanov V. I., Callose accumulation in winter wheat seedlings under UV irradiation *Gytol. Genet.* 2025. Vol. 59 (2). P. 20–30. [in Ukrainian]
5. Li N., Lin Z., Yu P., Zeng Y., Du S., Huang L. J. The multifarious role of callose and callose synthase in plant development and environment interactions. *Front. Plant Sci.* 2023. Vol. 14. P. 1183402. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1183402>.
6. Mintoff S. J., Rookes J. E., Cahill D. M. Sub-lethal UV-C radiation induces callose, hydrogen peroxide and defence-related gene expression in *Arabidopsis thaliana*. *Plant Biol.* 2015. Vol. 17 (3). P. 703–711. <https://doi.org/10.1111/plb.12286>.
7. Emelyanov V. I., Polyakovskiy S. A., Sakada V. I., Grodzinskiy D. M. Plant cells formed their protective structures use molecules of phytopathogenic microorganisms. *Rep. Natl. Acad. Sci. Ukraine.* 2018. № 3. P. 110–115. <https://doi.org/10.15407/dopovid2018.03.110>. [in Ukrainian]
8. Bashandy T., Tacconna L., Renou J. P., Meyer Y., Reichheld J. P. Accumulation of flavonoids in an ntra ntrb mutant leads to tolerance to UV-C. *Mol. Plant.* 2009. Vol. 2 (2). P. 249–258. <https://doi.org/10.1093/mp/ssn065>.
9. Ballaré C. L., Caldwell M. M., Flint S. D., Robinson S. A., Bornman J. F. Effects of solar ultraviolet radiation on terrestrial ecosystems. Patterns, mechanisms, and interactions with climate change. *Photochem. Photobiol. Sci.* 2011. Vol. 10 (2). P. 26–41. <https://doi.org/10.1039/c0pp90035d>.
10. Dmitriev O. P., Kravchuk Zh. M. Reactive oxygen species and plant immunity. *Cytol. Genet.* 2005. Vol. 39 (4). P. 64–74. [in Ukrainian]
11. Mazza C. A., Gimenez P. I., Kantolic A. G., Ballare C. L. Beneficial effects of solar UV-B radiation on soybean yield mediated by reduced insect herbivory under field conditions. *Physiol. Plant.* 2013. Vol. 147. P. 307–315. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.2012.01661.x>.
12. Panyuta O. O., Belava V. N., Taran N. Y. Method of infection to assess the stability of winter wheat to the pathogen tserko-sporelozu: Patent № 389960 Ukraine. MPK (2014.12) A01N 1/04. Bull. № 9. Applications 01/11/2013. Publish. 05/12/2014. [in Ukrainian]
13. Underwood W. The plant cell wall: a dynamic barrier against pathogen invasion. *Front. Plant Sci.* 2012. Vol. 3 (85). <https://doi.org/10.3389/fpls.2012.00085>.

EMELYANOV V. I.^{1,2,3}, BOBOSHKO O. P.¹, MIKHEEV A. M.¹, KOVBASENKO R. V.¹, SYMONENKO Yu. V.^{1,3}, SCHWARTAU V. V.²

¹ Institute of Cell Biology and Genetic Engineering, National Academy of Science of Ukraine, Ukraine, 03143, Kyiv, Akademika Zabolotnoho str., 148

² Institute of Plant Physiology and Genetics of National Academy of Sciences of Ukraine, Ukraine, 03022, Kyiv, Vasylykivska str., 31/17

³ Institute of High Technologies, Taras Shevchenko National University of Kyiv, Ukraine, 03022, Kyiv, Akademika Hlushkova Avenue, 4

UV-INDUCED ACCUMULATION OF CALLOSE IN WINTER WHEAT PLANTS

Aim. Winter wheat (*Triticum aestivum* L.) is an important agricultural crop. Its resistance to stress factors and environmental changes significantly affect the yield, and the study of resistance mechanisms is relevant. The aim of the work is to determine the amount of constitutive and UV-B induced accumulation of callose in winter wheat seedlings of Myronivska 808 variety and to find out the effect of UV-B irradiation doses on their growth parameters. **Methods.** Plants were exposed to UV-B at doses of 0.1, 1 and 10 kJ/m², growth parameters were measured and the amount of accumulated callose was determined by the Kauss method. **Results.** The growth parameters and the amount of accumulated callose under UV-B irradiation were determined. A comparative analysis of growth parameters and the results of constitutive and induced callose accumulation was performed. **Conclusions.** After irradiation, the growth

parameters increased in proportion to the received dose of UV-B. In the dose range from 0.1 to 10 kJ/m², there is a stimulating effect of their growth. The average value of calose accumulation was about 0.8 µg-eq/mg cmm, and its amount had the character of an oscillatory increase/decrease circuit with a gradual increase in its amount in proportion to the dose. The maximum amount of callose (1,8–2,2 µg-eq/mg cmm) was found in samples irradiated with a dose of 10 kJ/m². The decrease in the amount of calose at 72 and 120 h is probably due to biochemical transformations in the structures of cell walls.

Keywords: *Triticum aestivum* L., wheat, callose, UV-B irradiation.