

ЖУК В.В.<sup>✉</sup>, МІХЄЄВ О.М., ОВСЯННІКОВА Л.Г.

Інститут клітинної біології та генетичної інженерії НАН України,

Україна, 03143, м. Київ, вул. Академіка Заболотного, 148, ORCID: 0000-0003-1966-7537

<sup>✉</sup> vzhukv@gmail.com, (097) 672-33-64

## ВПЛИВ ХРОНІЧНОГО ОПРОМІНЕННЯ УЛЬТРАФІОЛЕТОМ В НА РОСЛИНИ ГОРОХУ

**Мета.** Досліджено вплив хронічного опромінення ультрафіолетом В (УФ-В) на ріст пагонів рослин гороху (*Pisum sativum* L.), вміст фотосинтетичних пігментів та перекису водню (ПВ) у листках. **Методи.** Опромінення УФ-В рослин гороху сорту Готівський проводили протягом 5 діб дозами від 2,5 до 4 кДж/м<sup>2</sup> на день потужністю 1 Вт/м<sup>2</sup>. Довжину пагонів вимірювали після закінчення опромінення протягом 7 діб. Відбір проб для визначення вмісту фотосинтетичних пігментів і ПВ у листках проводили на 7 добу після опромінення. **Результати.** Встановлено, що після УФ-В опромінення рослин дозами від 2,5 до 4 кДж/м<sup>2</sup> на день ріст пагонів у довжину прискорювався у порівнянні з неопроміненими, найзначніше після дії дози 3 кДж/м<sup>2</sup> на день. На 7 добу після опромінення УФ-В вміст ПВ у зрілих листках вдвічі перевищував рівень контролю в усіх дослідних варіантах, а вміст хлорофілів і каротиноїдів знижувався порівняно з контролем, найзначніше після дії дози 4 кДж/м<sup>2</sup> на день. **Висновки.** Встановлено, що після хронічного опромінення рослин УФ-В дозами від 2,5 до 4 кДж/м<sup>2</sup> на день ріст пагонів прискорювався. Вміст ПВ у зрілих листках значно зростає, зменшувався вміст фотосинтетичних пігментів. Дія високих доз хронічного УФ-В опромінення спричиняла деструкцію пігментного комплексу зрілих листків гороху та оксидний стрес, однак відсутність УФ-В у світлі викликає затримку ростових процесів.

**Ключові слова:** УФ-В, *Pisum sativum* L., фотосинтетичні пігменти, ПВ.

Ультрафіолет належить до неодмінних компонентів сонячних променів і важливих факторів в еволюції рослин на Землі [1]. Потіки короткохвильових фотонів із високою енергією відносять до ключових сигналів зовнішнього середовища, які ініціюють стресову та адаптивну відповідь живих організмів. Вагому частку їх складає УФ-В. Кількість УФ-В, яка досягає поверхні рослин, постійно змінюється і залежить від товщини озонового шару стратосфери, пори

року, широти, інтенсивності сонячного випромінювання протягом дня, тривалості сонячних та хмарних періодів та інших чинників і для Європи складає від 2 до 4 кДж/м<sup>2</sup> на добу [2]. Водяні пари атмосфери здатні повністю поглинати ультрафіолетові промені, тому вони відсутні у сонячному спектрі у хмарні дні. Періоди росту рослин за хронічного впливу УФ-В та без нього чергуються протягом онтогенезу, однак наслідки такої дії на культурні рослини вивчені недостатньо. Актуальність досліджень періодичності дії УФ-В на рослини зростає у зв'язку зі збільшенням впливу людства на атмосферні процеси, рівень УФ-В опромінення рослинного покриву планети.

УФ-В відносять до необхідних для функціонування рослин компонентів сонячного світла, з яким вони неодмінно стикаються протягом онтогенезу. Кванти УФ-В сприймає специфічний фоторецептор UV RESISTANCE LOCUS 8 (UVR8), який належить до родини рослинних фоторецепторів, локалізований на плазмалемі більшості рослинних клітин, і у періоди відсутності УФ-В знаходиться у формі димеру [2]. Після взаємодії з квантом УФ-В димер UVR8 розщеплюється на мономери, які протягом хвилини контактують з E3 убіквітиновою лігазою CONSTITUTIVELY PHOTOMORPHOGENIC 1 (COP1) і ELONGATED HYPOCOTYL 5 (HY5), включають сигнальну мережу і відповідно регулюють генну експресію [3; 4]. У відповідь на невисокі дози УФ-В формується фотоморфогенетична реакція рослин, яка спрямована на активацію флавоноїдного та алкалоїдного шляхів метаболізму, зміну опору продохів та фотосинтетичного метаболізму. Закривання продохів належить до найбільш швидких первинних реакцій рослин на УФ-В промені. У регуляції рухів замикальних клітин продохів за дії УФ-В беруть участь активні форми кисню (АФК), зокрема ПВ, який у взаємодії з Gα білком та оксидом азоту спричиняє замикання продохів [5]. ПВ належить до найважливіших сигнальних молекул рослин, які регулюють зміни тургорного

© ЖУК В.В., МІХЄЄВ О.М., ОВСЯННІКОВА Л.Г.

тиску замикальних клітин продохів [6]. Зміни опору продохів потребують скоординованої активності АФК-генеруючих ферментів, сигнальних білків, іонних pomp, плазматичних мембранних каналів. Накопичення ПВ в апопласті і хлоропласті належить до найбільш ранніх ознак закривання продохів. З'ясовано, що мішенями дії ПВ є також мітогенактивні протеїнкінази, протеїнфосфатази, цитоскелет, іонні канали [5]. Встановлено, що УФ-В у високих і низьких дозах впливає на метаболізм АФК [7]. Невисокі дози УФ-В стимулюють специфічні сигнальні шляхи, активують антиоксидантний захист, а високі дози здатні спричинити оксидний стрес, деградацію білків, ДНК, мембран, фотосинтетичних пігментів. Доведено, що хронічне опромінення рослин гороху УФ-В у дозі  $7,2 \text{ кДж/м}^2$  на день негативно впливало на ріст, накопичення біомаси і врожай двох сортів гороху, викликало оксидний стрес [8]. Нашими попередніми дослідженнями встановлено, що на 7 добу після дії гострого опромінення на рослини гороху сорту Ароніс УФ-В у дозі  $8 \text{ кДж/м}^2$  незворотно пригнічувався ріст пагона у висоту [9; 10]. Гостре опромінення рослин гороху сорту Ароніс дозою  $4 \text{ Дж/м}^2$  не впливало на ріст головного пагона у довжину, однак призводило до зменшення кількості квіток і стручків на рослину.

Метою нашої роботи було дослідження впливу хронічного опромінення УФ-В на ріст пагонів гороху сорту Готівський, вміст пігментів та ПВ у зрілих листках.

## Матеріали і методи

Рослини гороху (*Pisum sativum* L.) сорту Готівський вирощували в умовах вегетаційного досліду в посудинах, які містили 3 кг ґрунту. Режим освітлення становив 12 годин світла інтенсивністю  $4,4 \text{ кЛк}$  і 12 годин темноти. Хронічне опромінення УФ-В рослин гороху проводили у фазі 3 ярусів листків протягом 5 діб у діапазоні доз від  $2,5$  до  $4 \text{ кДж/м}^2$  на день потужністю  $1 \text{ Вт/м}^2$ , яке створювали за допомогою ламп фірми Philips (Special fluorescent lamp). Контрольні рослини знаходилися окремо та були захищені від променів УФ-В скляним фільтром товщиною 5 мм. Довжину пагонів рослин вимірювали після закінчення опромінення протягом 7 діб. Відбір проб для визначення вмісту фотосинтетичних пігментів і ендogenous ПВ у листках проводили на 7 добу після опромінення. Вміст фотосинтетичних пігментів визначали етанольним методом за Ліхтенталером [11], ПВ за Чен та Као [12]. Кількість ПВ виражали у мікромолях (мкМ), а пігментів – у міліграмах (мг) на грам (г) маси сирової речовини. Повторність досліду 5-разова. Результати оброблені статистично за допомогою програми Microsoft Excel. На графіках наведено середні арифметичні значення та величини дисперсії.

## Результати та обговорення

З'ясовано, що довжина пагонів рослин гороху сорту Готівський після 5 діб хронічного опромінення УФ-В достовірно не відрізнялася у контрольному та дослідних варіантах (рис. 1).

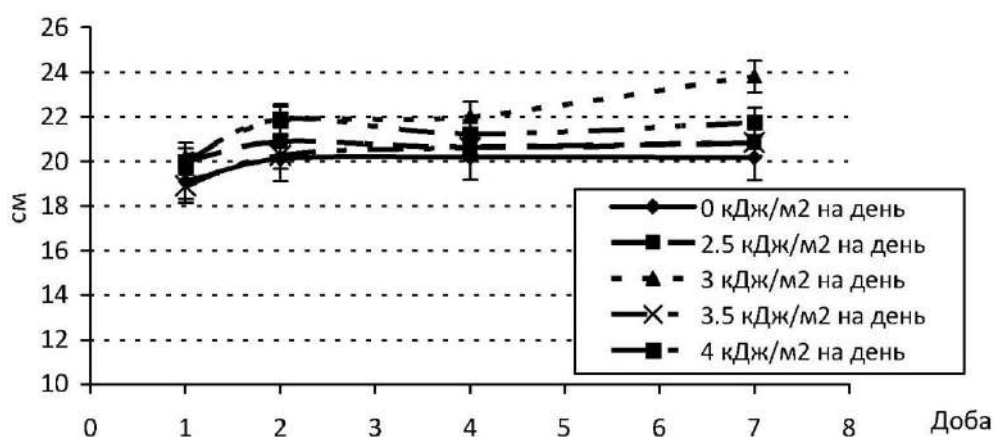


Рис. 1. Ріст пагона рослин гороху після хронічного опромінення УФ-В.

Встановлено, що після припинення дії хронічного опромінення у дозах від 2,5 до 4 кДж/м<sup>2</sup> на день на рослини гороху ріст пагонів у довжину прискорювався порівняно з таким у контрольних рослин. Стимуляція росту пагонів після опромінення гороху дозами УФ-В 2,5, 3,5 та 4 кДж/м<sup>2</sup> на день тривала 2 доби, і розміри цих пагонів перевищили такі у рослин контролю, однак протягом наступних 5 діб вимірів довжина пагонів контрольних і дослідних рослин залишалася незмінною. Після завершення опромінення гороху дозою УФ-В 3 кДж/м<sup>2</sup> на день стимуляція росту пагонів у довжину тривала протягом 7 діб, а їх довжина перевищила таку у рослин контролю на 18%. Характерно, що відсутність УФ-В у спектрі світла, яке отримували рослини гороху контрольного та більшості дослідних варіантів, призводила до припинення росту пагонів у довжину вже протягом 2–3 діб.

Визначення вмісту фотосинтетичних пігментів у листках гороху через 7 діб після припинення хронічного опромінення рослин УФ-В виявило його зниження порівняно з листками контрольних рослин (рис. 2). При цьому вміст хлорофілу *a* в листках дослідних рослин знизився після опромінення дозами УФ-В від 2,5 до 4 кДж/м<sup>2</sup> на день, але найзначніше після дії дози 4 кДж/м<sup>2</sup> на день. Вміст хлорофілу *b* у листках після опромінення УФ-В у дозах 3 і 3,5 кДж/м<sup>2</sup> на день був близьким до такого у контролі, однак знизився вдвічі після дії дози 4 кДж/м<sup>2</sup> на день. Низький вміст хлорофілу *b* в листках також помічено після опромінення їх дозою 2,5 кДж/м<sup>2</sup> на день. Співвідношення хлорофілів *a/b* у рослинах дослідних варіантів було близьким до такого у контролі після опромінення рослин дозами УФ-В 2,5 і 3 кДж/м<sup>2</sup> на день, зменшувалося після дії дози 3,5 кДж/м<sup>2</sup> на день і зросло вище значень контролю після дії дози 4 кДж/м<sup>2</sup> на день. Сумарний вміст хлорофілів у листках гороху через 7 діб після завершення їх хронічного опромінення УФ-В був нижчим порівняно з їх вмістом у рослинах контрольного варіанта, особливо після дії УФ-В променів у дозі 4 кДж/м<sup>2</sup> на день. Сумарний вміст каротиноїдів у листках гороху після хронічного опромінення УФ-В був близьким до відповідних значень у контрольних рослинах після опромінення дозами 2,5 і 3 кДж/м<sup>2</sup> на день і зменшився на третину після дії доз 3,5 і 4 кДж/м<sup>2</sup> на день. Співвідношення кількості

хлорофілів і каротиноїдів у листках гороху після опромінення їх УФ-В дозами 2,5, 3 кДж/м<sup>2</sup> на день було нижчим порівняно з тим, яке знайдено у контрольних рослинах однак збільшувалося на третину після опромінення їх дозою 3,5 кДж/м<sup>2</sup> на день. Після дії УФ-В променів у дозі 4 кДж/м<sup>2</sup> на день співвідношення хлорофілів і каротиноїдів у листках гороху було близьким до такого у рослинах контрольного варіанта. Однак за кількісним вмістом хлорофілів і каротиноїдів у листках гороху найзначнішої деградації зазнав пігментний комплекс зрілих листків після їх хронічного опромінення УФ-В дозою 4 кДж/м<sup>2</sup> на день.

Визначення вмісту ПВ у зрілих листках на 7 добу відновного періоду після 5 днів хронічного опромінення рослин гороху УФ-В виявило зростання його кількості вдвічі у всіх дослідних рослинах порівняно з рослинами контролю (рис. 3).

Найвищий вміст ПВ знайдено в листках рослин, які зазнали хронічного опромінення дозою 2,5 кДж/м<sup>2</sup> на день, однак після опромінення дозами від 3 до 4 кДж/м<sup>2</sup> на день вміст ПВ у листках рослин також вдвічі перевищував відповідні значення контролю.

Проведені нами дослідження свідчать про те, що після завершення хронічного опромінення УФ-В рослин гороху дозами від 2,5 до 4 кДж/м<sup>2</sup> на день ріст пагонів у довжину прискорювався, а їх розміри перевищили відповідні значення у рослин контрольного варіанта. Однак ріст пагонів гороху у довжину за відсутності у світлі УФ-В променів більше 2 діб зупинявся у всіх варіантах досліду, крім варіанта з опроміненням рослин дозою 3 кДж/м<sup>2</sup> на день. Доза УФ-В 2,5 кДж/м<sup>2</sup> на день близька до середніх значень природних доз УФ-В променів у помірних широтах, до яких адаптовані більшість рослин, однак після її дії відбувалось найзначніше підвищення вмісту ПВ у зрілих листках. Водночас після дії УФ-В променів у дозах від 3 до 4 кДж/м<sup>2</sup> на день вміст ПВ у листках також зростав вдвічі, що може свідчити про оксидний стрес, значну дестабілізацію метаболізму, дисбаланс між продукуванням і утилізацією АФК у клітинах. В опроміненіх УФ-В зрілих листках гороху відбувалася деградація пігментного комплексу, зменшувався вміст хлорофілів і каротиноїдів, особливо після опромінення дозою 4 кДж/м<sup>2</sup> на

день. Така доза УФ-В променів вдвічі перевищує середню дозу УФ-В для помірних широт і може вважатися інгібуючою для рослин

гороху, здатна спричиняти значну деградацію структур клітин листового мезофілу, прискорювати процеси їх старіння і відмирання.

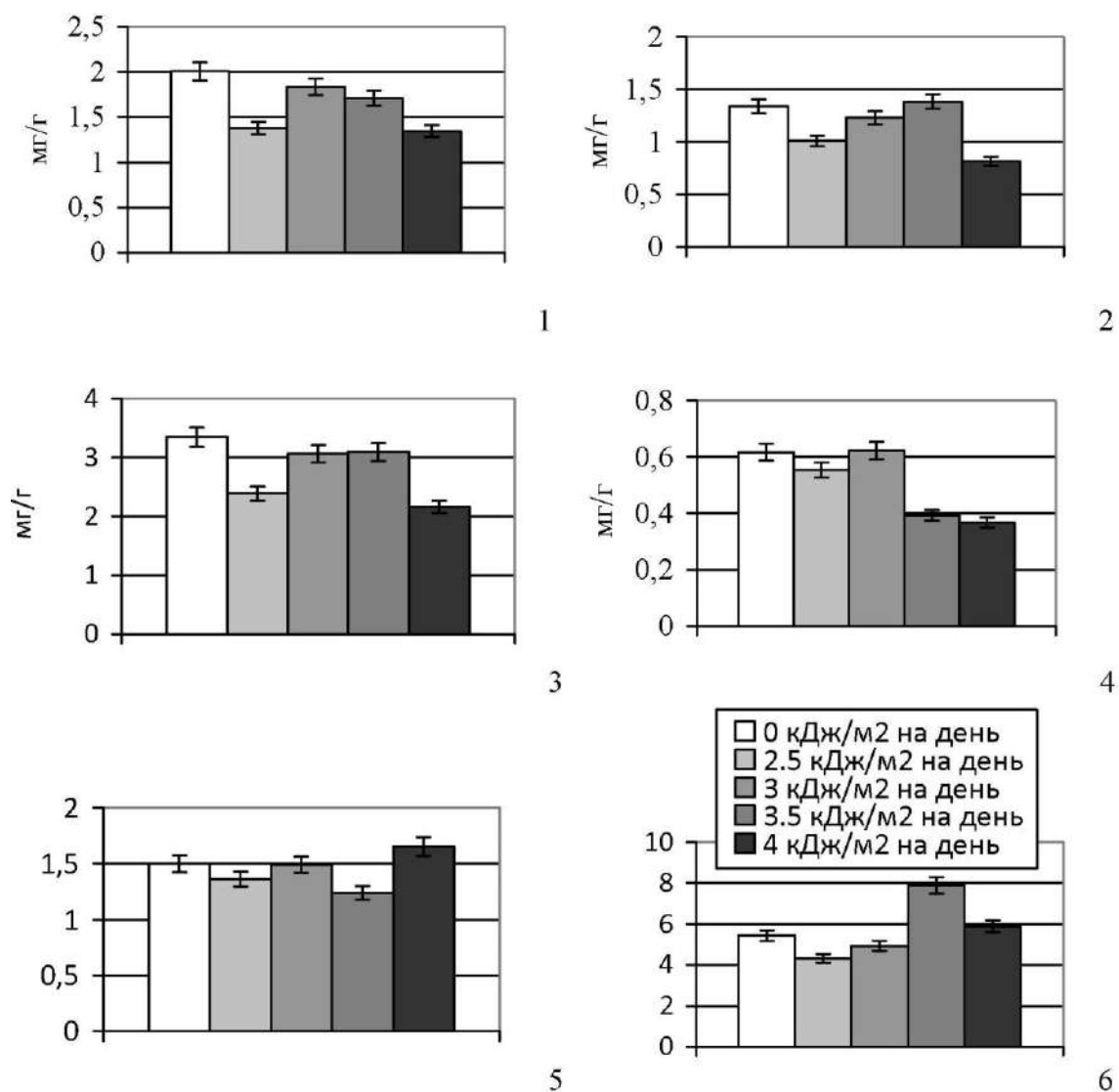


Рис. 2. Вміст фотосинтетичних пігментів у листках гороху після хронічного опромінення УФ-В кДж/м<sup>2</sup> на день (1 – хлорофілу а, 2 – хлорофілу b, 3 – суми хлорофілів, 4 – суми каротиноїдів, 5 – співвідношення хлорофілів а/б, 6 – співвідношення хлорофілів до каротиноїдів).

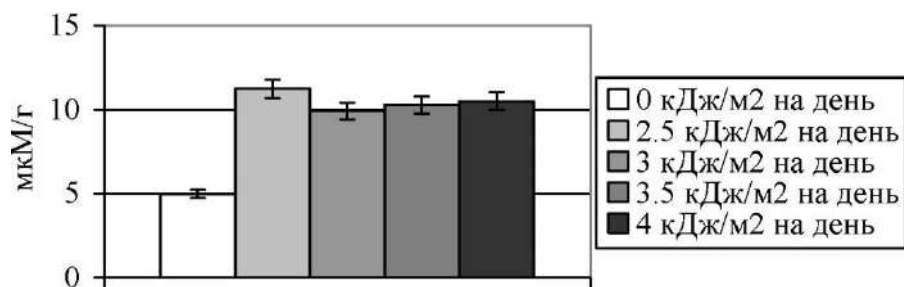


Рис. 3. Вміст ПВ у листках гороху після хронічного опромінення рослин УФ-В.

Відомо, що хронічне опромінення рослин невисокими дозами УФ-В передбачає фотоморфогенетичну відповідь, яка стимулює адаптивні процеси і захист рослин від надмірних доз УФ-В квантів [2]. З'ясована участь УФ-В і його специфічного рецептора UVR8 у контролі гормонального статусу рослин, зокрема синтезу ауксинів, гіберелінів і цитокінінів, які контролюють процеси поділу клітин меристем [13]. Вважають, що УФ-В належить до необхідних для нормального росту та розвитку рослин компонентів сонячного світла. Виявлена нашими дослідженнями зупинка росту пагонів гороху у довжину за тривалої відсутності УФ-В у світлі, яке отримували рослини гороху, могла бути зумовлена саме гальмуванням проліферативної активності клітин апікальної меристеми пагона внаслідок дефіциту необхідних фітогормонів. Пряма ушкоджуюча дія невисоких доз УФ-В на клітини апікальної стеблової меристеми дводольних відсутня через їх захищеність багатопшаровим покривом із клітин листкових примордіїв.

Основною мішенню дії УФ-В на рослини гороху є зрілі листки, які розташовані горизонтально, і на них припадає найбільша частка квантів ультрафіолету. Сформовані структури зрілих клітин листкового мезофілу не здатні до відновлення після руйнівної дії УФ-В квантів, про що свідчить зменшення вмісту фотосинтетичних пігментів у листках через 7 діб після припинення їх опромінення. Отже, невисокі дози УФ-В квантів здатні спричинити руйнівну дію на фотосинтетичні пігменти клітин зрілих листків, а підвищення дози до 4 кДж/м<sup>2</sup> на день викликало незворотні ушкодження фотосинтетичного апарату, хлоропластів. Відомо, що ПВ виконує функцію сигнальної молекули у формуванні відповіді рослин на УФ-В [4; 6]. Однак продукування значних кількостей ПВ у клітинах листків через 7 діб після припинення дії УФ-В променів свідчить про посилення деструктивних процесів, диспропорцію у продукуванні та утилізації АФК у фотосинтетичному комплексі та інших генеруючих АФК структурах і процесах, зокрема у пероксисомах. Характерно, що ендогенна кількість ПВ у листках не зростала зі збільшенням дози УФ-В і була найзначнішою після опромінення найнижчою дозою 2,5 кДж/м<sup>2</sup> на день. Вміст ПВ у клітинах листків через 7 діб після опромінення рослин

гороху УФ-В дозами 3, 3,5 та 4 кДж/м<sup>2</sup> на день достовірно не відрізнявся. Надлишок АФК у клітинах посилює деструктивні процеси у зрілих листках, знижує їх функціональну здатність. Однак, інгібування ростових процесів за тривалої відсутності УФ-В у світлі сповільнювало формування нових листків, що може спричинити загибель рослини. Отже, УФ-В в оптимальних дозах необхідний для росту і розвитку рослин гороху, однак значне збільшення його доз (вище від середніх) для помірних широт здатне спричинити деструктивну дію на пігментний комплекс листків, викликати оксидний стрес. Дози УФ-В від 4 кДж/м<sup>2</sup> на день можна вважати критичними для рослин гороху і здатними гальмувати їх ріст і розвиток. Водночас незначне перевищення природних доз УФ-В променів також призводить до стресового навантаження на пігментний комплекс листкового апарату рослин гороху, викликає деструктивні процеси у ньому. Тривалість періодів присутності та відсутності УФ-В променів у сонячному світлі має суттєвий вплив на ріст та розвиток рослин гороху.

### Висновки

Встановлено, що припинення хронічного опромінення рослин гороху УФ-В дозами від 2,5 до 4 кДж/м<sup>2</sup> на день тимчасово прискорювало ріст пагонів у довжину, особливо після дії дози 3 кДж/м<sup>2</sup>. Однак відсутність УФ-В променів у світлі призводила до зупинки росту пагонів рослин контрольного та дослідного варіантів, за винятком варіанта у якому рослини зазнали дії УФ-В у дозі 3 кДж/м<sup>2</sup>. З'ясовано, що невисокі дози УФ-В квантів спричиняли руйнівну дію на фотосинтетичні пігменти клітин зрілих листків, а підвищення дози до 4 кДж/м<sup>2</sup> на день викликало значне зниження вмісту хлорофілів і каротиноїдів у листках. Через 7 діб після припинення дії УФ-В променів на рослини гороху виявлено збільшення вмісту ПВ у клітинах листків вдвічі порівняно з відповідними значеннями у рослин контролю. Отже, перевищення доз УФ-В порівняно з середніми природними дозами здатне спричинити ушкодження фотосинтетичного комплексу клітин мезофілу зрілих листків гороху, викликати оксидний стрес, наслідки якого зберігалися через 7 діб після припинення дії УФ-В променів. Таким чином, рослини гороху виявили високу чутливість до дії

хронічного опромінення УФ-В у близьких до природних дозах і необхідність ультрафіолету для забезпечення їх росту і розвитку.

## References

1. Balcerowics M. Ancient sun protection: the evolutionary origin of plant UV-B signaling. *Plant Physiology*. 2022. Vol. 188. P. 29–31. <https://doi.org/10.1093/plphys/kiab517>.
2. Moricony V., Binkert M., Costigliolo C., Sellaro R., Ulm R., Casal J.J. Perception of sunflecks by the UV-B photoreceptor UV RESISTANCE LOCUS 8. *Plant Physiol*. 2018. Vol. 177. P. 75–81. doi: 10.1104/pp.18.00048.
3. Morales L.O., Brosche M., Vainonen J., Jenkins G.J., Wargent J.J., Sipari N., Strid A., Lindfors A.V., Tagelberg R., Aphalo P.J. Multiple roles for UVRESISTANCE LOCUS 8 in regulating gene expression and metabolite accumulation in *Arabidopsis* under solar ultraviolet radiation. *Plant Physiol*. 2013. Vol. 161. P. 744–759. doi/10.1104/pp.112.211375.
4. Hayes S., Sharma A., Fraser D.P., Fankhauser Ch., Jenkins G.I., Franklin K.A. UV-B Perceived by the UVR8 photoreceptor inhibits plant thermomorphogenesis. *Curr. Biol*. 2017. Vol. 27. P. 120–127. doi: 10.1016/j.cub.2016.11.004.
5. He J.M., Ma X.G., Zhang Y., Sun T.F., Xu F.F., Chen Y.P., Liu X., Yue M. Role and interrelationship of Ga protein, hydrogen peroxide and nitric oxide in ultraviolet-B induced stomatal closure in *Arabidopsis* leaves. *Plant Physiology*. 2013. Vol. 161. P. 1570–1583. doi/ 10.1104/ pp.112.211623.
6. Sierla M., Waszczak C., Vahisalu T., Kangasjarvi J. Reactive oxygen species in the regulation of stomatal movements. *Plant Physiology*. 2016. Vol. 171. P. 1569–1586. doi/10.1104/pp.16.00328.
7. Hideg E., Jansen M., Strid A. UV-B exposure, ROS, and stress: inseparable companions or loosely linked associates? *Trends in Plant Science*. 2013. Vol. 18 (2). P. 107–115. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tplants.2012.09.003>.
8. Choudhary K.K., Agrawal S.B. Ultraviolet B induced changes in morphological, physiological and biochemical parameters of two cultivars of pea (*Pisum sativum* L.). *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2014. Vol. 100. P. 178–187. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoenv.2013.10.032>.
9. Zhuk V.V., Mikhteyev A.N.; Ovsyannikova L.G. The pea development after UV-B irradiation. *Modern Phytomorphology*. 2017. Vol. 11. P. 111–116. doi: 10.5281/zenodo.1050465. [in Ukrainian]
10. Zhuk V.V., Mikhteyev A.N., Ovsyannikova L.G. The photomorphogenetic reaction of pea plants (*Pisum sativum* L.) on ultraviolet irradiation effect. *Factors in experimental evolution of organisms*. 2017. Vol. 20. P. 179–183.
11. Lichtenthaler H.K. Chlorophylls and carotenoids: Pigments of photosynthetic biomembranes. *Methods Enzymol*. 1987. Vol. 148. P. 350–382. doi: 10.1016/0076-6879(87)48036-1.
12. Chen L.M., Kao C.H. Effect of excess copper on rice leaves: evidence for involvement of lipid peroxidation. *Bot. Bull. Acad. Sin*. 1999. Vol. 40. P. 283–287.
13. Vanhaelewyn L., Prinsen E. Straeten D.V.D., Vandenbusdu F. Hormone-controlled UV-B responses in plants. *Journal of Experimental Botany*. 2016. Vol. 67, No. 15. P. 4469–4482. doi: 10.1093/jxb/erw261.

## ZHUK V.V., MIKHEEV A.N., OVSYANNIKOVA L.G.

*Institute of Cell Biology and Genetic Engineering of Nat. Acad. Sci. of Ukraine, Ukraine, 03143, Kyiv, Akad. Zabolotnoho str., 148*

## EFFECT OF CHRONIC ULTRAVIOLET B RADIATION ON PEA PLANTS

**Aim.** The effect of chronic ultraviolet B (UV-B) radiation on shoots growth, content of photosynthetic pigments and hydrogen peroxide (HP) in the leaves of pea plants (*Pisum sativum* L.) was studied. **Methods.** Pea plants cultivar Goltivsky were irradiated by chronic UV-B during 5 days in the doses from 2.5 to 4 kJ/m<sup>2</sup> per day with a power of 1 W/m<sup>2</sup>. The length of plant shoots was measured during 7 days after the end of radiation. Content of photosynthetic pigments and HP in leaves were measured on the 7 day after radiation. **Results.** It was shown that after the chronic UV-B radiation of pea plants with doses from 2.5 to 4 kJ/m<sup>2</sup> per day, the length of shoots increased, most significantly after the dose of 3 kJ/m<sup>2</sup> per day. Content of HP in mature leaves was in 2 times higher than the level of control in all variants, the content of chlorophyll and carotenoids decreased compared to the control, most significantly after a dose 4 kJ/m<sup>2</sup> per day. **Conclusions.** It was shown that after the UV-B chronic radiation with doses from 2.5 to 4 kJ/m<sup>2</sup> per day of pea plants, shoot growth increased. The content of HP in mature leaves increased, the content of photosynthetic pigments decreased. The chronic UV-B radiation caused the destruction of the pigment complex of mature pea leaves and oxidative stress, but the absence of UV-B in the light can cause the decrease of growth.

**Keywords:** UV-B, *Pisum sativum* L., photosynthetic pigments, HP.