

RESEARCH ARTICLE

The pea development after UV-B irradiation

Vladislav V. Zhuk *, Alexander N. Mikheyev, Lyudmila G. Ovsyannikova

Institute of Cell Biology and Genetic Engineering NASU, Akademika Zabolotnoho str. 148, 03143 Kyiv, Ukraine;
* vzhukv@gmail.com

Received: 11.07.2017 | Accepted: 01.11.2017 | Published: 15.11.2017

Abstract

The effect of UV-B radiation on the growth and development of pea plants was studied. Pea is a self-pollinating plant with unlimited branching and short vegetative period. The number of flowers and pods per plant is limited by the conditions of vegetation. It is established that after irradiation of seedlings in doses from 2 to 15 kJ/m² shoot growth decreased. Dose of 2 kJ/m² inhibited growth, dry mass accumulation of shoots, formation of flowers and pods. The dose of 4 kJ/m² activated increasing quantity of flowers and pods. Further increasing the dose of UV-B irradiation suppressed growth and development of pea plants. UV-B irradiation in a wide range of doses caused growth inhibition of pea plants. Pea plants are convenient object for investigation of UV-B radiation effects.

Keywords: *Pisum sativum*, ultraviolet stress, growth, flower, pods

Вступ

Ультрафіолетова радіація як частина спектру сонячного опромінення досягає поверхні землі, тому належить до важливих чинників навколишнього середовища, що впливають на розвиток та продуктивність продовольчих культур. Рівень ультрафіолету в природних умовах коливається в межах

від 0 до 12 кДж/м² (Kakani *et al.* 2003). У помірних широтах рівень УФ-В досягає 4 кДж/м² біля поверхні ґрунту. Зростання рівня ультрафіолету обумовлене зменшенням вмісту озону в атмосфері, яке спричинене антропогенною активністю, зокрема збільшенням концентрації сполук хлору, метилброміду, хлорофлюорокарбону, оксиду азоту у повітрі. Денний пік ультрафіолету

співпадає з максимумом температури повітря у період вегетації та формуванням репродуктивних органів більшості рослин. Вивчення впливу хронічного опромінення УФ-В на рослини гороху дозволило встановити, що воно спричиняло зменшення довжини та кількості стебел, поверхні листка (Mepsted et al. 1996; Gonzalez et al. 1998). Показано, що дія УФ-В здатна викликати зміни у морфології всів рослин гороху, що пропонують використовувати як критерій для діагностики (Brosche & Strid 2000). Актуальність досліджень дії ультрафіолету на продовольчі культури обумовлена його здатністю інгібувати ріст, наростання біомаси, зменшувати врожай (Choudhary & Agrawal 2014).

Нами показано, що високотемпературний стрес спричиняв гасіння природної флуоресценції нативних хлоропластів (Musienko et al. 2014). Іншими дослідниками виявлено, що вирощування гороху за дії високої температури та УФ-В спричиняло зменшення накопичення біомаси, газообміну, флуоресценції хлорофілу, ушкодження компонентів фотосистем, зокрема пластохінону, зростання генерації активних форм кисню (Martel & Quaderi 2016; Hayes et al. 2017). Встановлено, що в природних умовах вирощування культурних рослин за дії абіотичних чинників навколишнього середовища відбувалась деструкція пігментного комплексу та хлоропластів у листків, що було ідентифіковано також і за інтенсивністю флуоресценції інтактних клітин мезофілу пшениці (Singh et al. 2011; Zhuk & Musyenko 2012, 2013).

Проведені нами раніше дослідження дозволили встановити, що опромінення рослин гороху незначними дозами УФ-С спричиняло гормезисний ефект, який проявлявся у стимуляції захисних систем, підвищенні активності антиоксидантних ферментів, стабілізації пігментного комплексу клітин листкового мезофілу, що підвищувало стійкість до повторної дії ультрафіолету у інгібуючих дозах (Mikheyev et al. 2016). Відкриття у рослинних клітинах акцептора сигналу для УФ-В – специфічного

фоторецептора UV Resistance Locus 8 (UVR8) – стимулювало дослідження формування відповіді рослинної клітини на цей стресовий чинник середовища (Jenkins 2009; Vanhaelewyn et al. 2016; Ferreyra et al. 2016). Однак вивчення впливу УФ-В на рослини гороху відбувалось в умовах його хронічної дії з використанням не більше однієї-двох його доз та переважно завершувались задовго до закінчення вегетаційного періоду (Kakani et al. 2004). Останнім часом інтерес до дослідження дії гострого УФ-В опромінення на рослини посилюється у зв'язку з підвищенням інтенсивності сонячної радіації у полуденні години (Yoon et al. 2017). Горох належить до зручних об'єктів для дослідження дії УФ-В завдяки його нетривалому вегетаційному періоду, високій чутливості до абіотичних стресів, самозапиленню квіток. Метою нашої роботи було вивчення дії гострого УФ-В опромінення у широкому діапазоні доз на ріст, розвиток та продуктивність рослин гороху протягом онтогенезу.

Матеріали і методи досліджень

Рослини гороху (*Pisum sativum* L.) сорту Ароніс вирощували в умовах вегетаційного досліду у посудинах місткістю 3 кг ґрунтової суміші, яка містила дві частини дерново-підзолистого ґрунту і одну частину перліту. В період росту рослин від сходів до дозрівання підтримували температуру повітря +20–22 °С. У кожній посудині знаходилось по 12 рослин. Режим освітлення складав 8 год. темноти і 16 год. світла інтенсивністю 2,2 кЛк. Опромінення рослин проводили через 10 діб після посіву і 8 діб від появи сходів. У цей період рослини мали три сформовані яруси листків і знаходились у вегетативній фазі росту та розвитку. Джерелом УФ-В-випромінювання були лампи Philips Special fluorescent lamp 35 W. Потужність опромінення УФ-В складала 6,0 Вт/м² на рівні верхніх листків, дози – 2, 4, 8 і 15 кДж/м². Обрані дози опромінення проявляють дію від слабкої до стабільно інгібуючої, яка, однак, не спричиняє загибелі

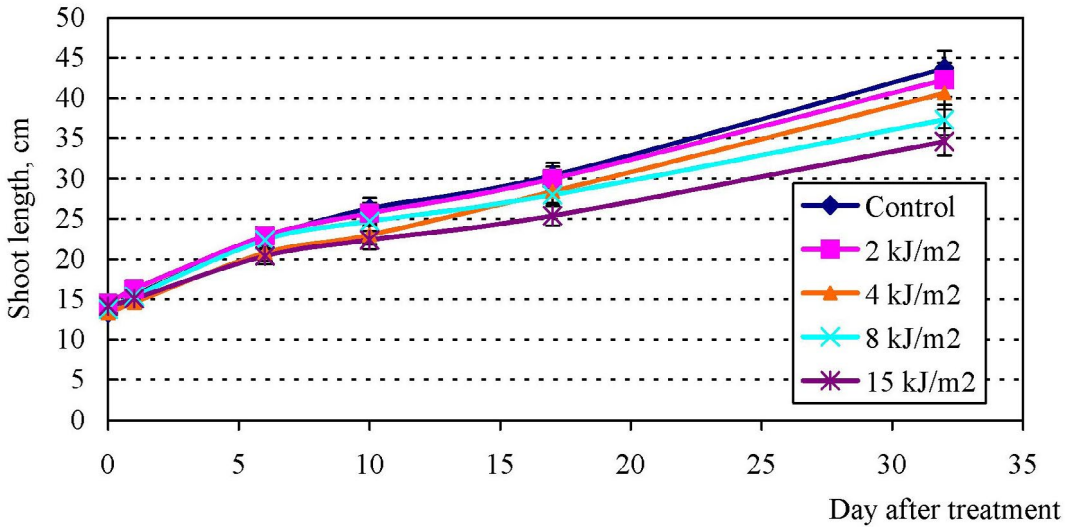


Рис. 1. Вплив УФ-В на ріст пагонів гороху.

Fig. 1. Effect of UV-B on growth of pea shoots.

рослин. Повторність досліджу 5-разова. Кожні п'ять діб після опромінення вимірювали довжину усіх пагонів у кожній посудині, після дозрівання визначали масу сухої речовини однієї рослини у кожній посудині. У період цвітіння підраховували кількість квіток у кожній рослині та у період дозрівання – кількість стручків. Статистичний аналіз результатів досліджень проводили у програмі Microsoft Excel. На графіках наведені середні значення і середньоквадратичні відхилення від них. На рисунках позначено статистично значима різниця за рівня значимості $P < 0,05$.

Результати та їх обговорення

Встановлено, що опромінення рослин гороху УФ-В у широкому діапазоні доз спричиняло інгібування росту пагонів у довжину (Рис. 1). Ефект проявлявся уже через п'ять діб після дії УФ-В у всіх дозах і у подальшому посилювався. Ріст пагонів, які опромінювали УФ-В, інгібувався порівняно з контрольними рослинами протягом 30 діб досліджу.

Вимірювання висоти рослин наприкінці їх вегетації виявило її прогресивне зменшення

зі збільшенням дози УФ-В-променів (Рис. 2). Однак найзначніше достовірне її пригнічення відзначено після опромінення у дозах 8 і 15 кДж/м².

Інгібування росту гороху за дії усіх доз УФ-В променів свідчить про його високу чутливість до даного чинника навколишнього середовища.

Визначення маси сухої речовини рослин гороху після завершення їх вегетації виявило, що вона зменшувалась після опромінення УФ-В у дозі 8 кДж/м², яка відповідає підвищеному природному фону (Рис. 3). Після дії УФ-В у дозах 2 та 4 кДж/м² суха маса рослин була близька до тієї, яка відзначена у контрольних рослин.

Зростання дози УФ-В променів до 15 кДж/м² порівняно з попередньою дозою 8 кДж/м² мало не настільки інгібуючий вплив на накопичення сухої маси пагонів.

Опромінення рослин гороху низькою дозою УФ-В 2 кДж/м² достовірно зменшувало кількість квіток на рослинах (Рис. 4). Зростання дози УФ-В до 4 кДж/м² спричиняло збільшення числа квіток більш ніж вдвічі, що могло бути обумовлено активацією відновних процесів після гострого опромінення.

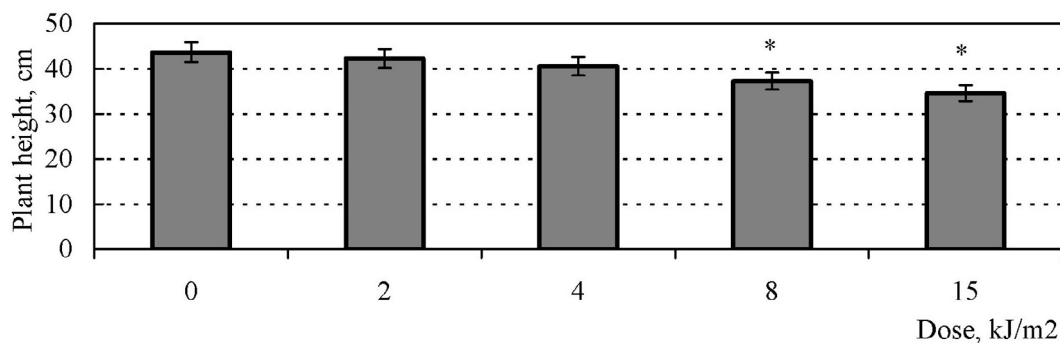


Рис. 2. Вплив УФ-В на висоту рослин гороху після закінчення росту. * вказує значиму різницю в порівнянні з контролем за $P < 0,05$.

Fig. 2. Effect of UV-B on the height of pea plants at the end of growth. * indicates the level of significance between control and UV-B treated plants at $P < 0.05$.

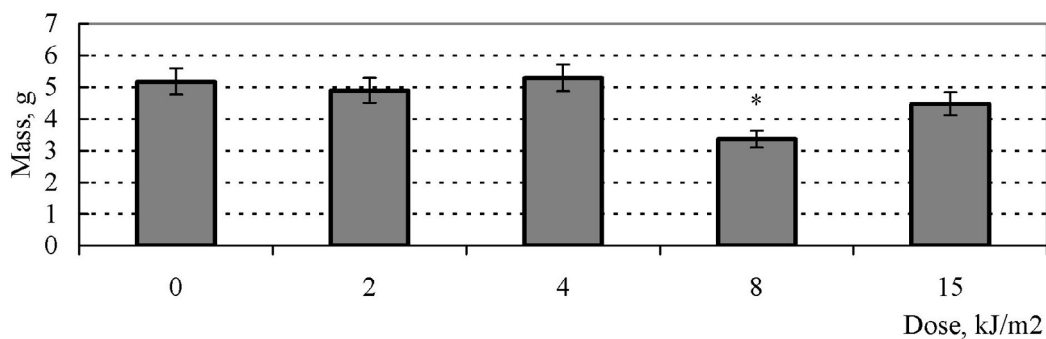


Рис. 3. Вплив УФ-В на масу сухої речовини пагонів гороху після дозрівання. * вказує значиму різницю в порівнянні з контролем за $P < 0,05$.

Fig. 3. Effect of UV-B on dry mass of pea shoots after maturation. * indicates the level of significance between control and UV-B treated plants at $P < 0.05$.

Подальше збільшення дози УФ-В променів викликало зменшення утворення квіток. Найменша кількість квіток відмічена після дії дози 15 кДж/м², і була вчетверо меншою порівняно з тією, що виявлена після опромінення рослин дозою 4 кДж/м². Число зрілих стручків було меншим, порівняно до квіток у більшості варіантів досліджу. Редукція частини квіток могла бути обумовлена різними причинами, у тому числі і дефіцитом асимілятів, які надходять з листків.

Найзначніше зменшення кількості стручків порівняно до кількості квіток було

відзначено після опромінення рослин гороху дозою 4 кДж/м², яка нерідко спостерігається в умовах помірної зони. Незначна доза УФ-В 2 кДж/м², яка відповідає природному фону УФ-В променів, спричиняла пригнічення росту та формування генеративних органів у рослин гороху, що свідчить про їх високу чутливість до даного чинника навколишнього середовища. Подальше збільшення дози УФ-В променів пригнічувало ріст пагонів, утворення квіток і стручків, але рослини залишались здатними до росту і плодоношення.

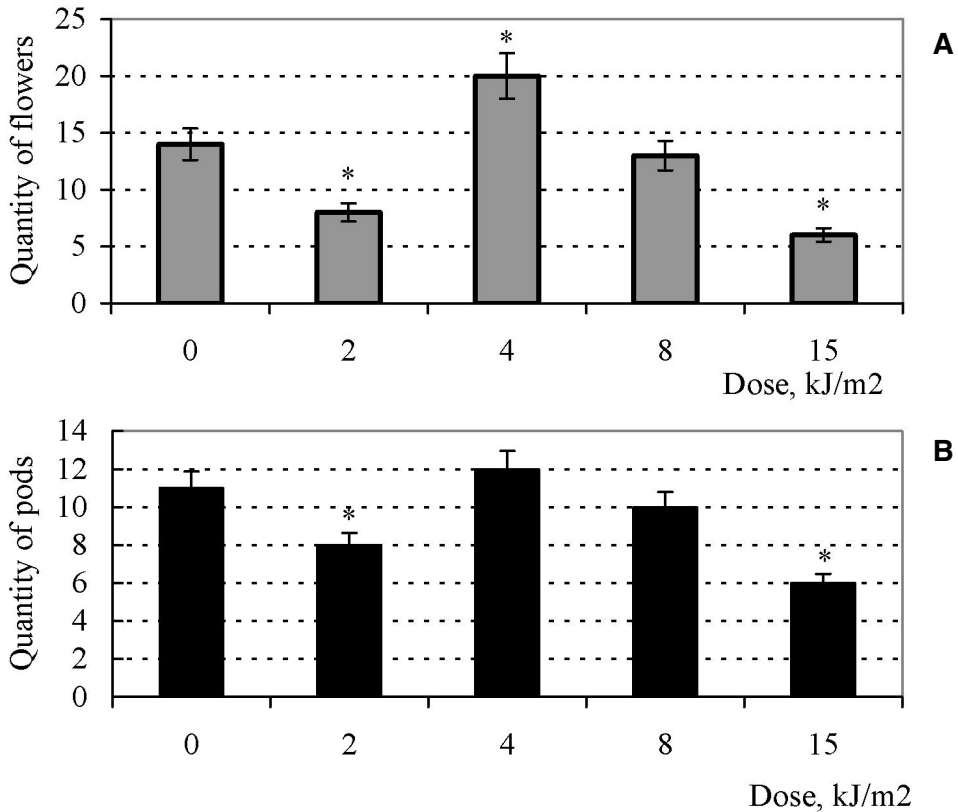


Рис. 4. Вплив УФ-В опромінення на кількість квіток (А) та стручків (В) у рослин гороху протягом вегетації. * вказує значиму різницю в порівнянні з контролем за $P < 0,05$.

Fig. 4. Effect of UV-B on quantity of flowers (A) and pods (B) of pea plants during vegetation. * indicates the level of significance between control and UV-B treated plants at $P < 0.05$.

Отже, інгібування росту та розвитку рослин гороху відбувалося після опромінення низькими і високими дозами УФ-В променів. Подібний ефект було отримано за дії УФ-В на рослини квасолі у польових умовах, у якій відзначено пригнічення росту, зміни складу та вмісту пігментів, антиоксидантів (Singh *et al.* 2011). Таким чином, окремі представники бобових виявили високу чутливість до УФ-В у широкому діапазоні доз, що робить можливим їх використання у якості чутливих індикаторів дії ультрафіолету на рослини. Критеріями дії УФ-В опромінення можуть бути процеси морфогенезу, що дозволяє отримати кількісні характеристики відповіді рослин на абіотичний стресовий чинник

навколишнього середовища. Виявлено, що зміни у рості та морфогенезі рослин після дії УФ-В обумовлені зменшенням вмісту гормонів, які активують ріст – ауксинів і гіберелінів і збільшенням абсцизової та саліцилової кислоти, оксиду азоту, етилену (Vanhaelewyn *et al.* 2016). Критичною дозою УФ-В для рослин гороху в наших дослідженнях була 8 кДж/м^2 , що виявила інгібуючу дію на ріст, біомасу, врожай в інших дослідженнях для цієї культури (Choudhary & Agrawal 2014). Попередньо також відзначалася одночасна генерація оксидного стресу, накопичення флавоноїдів, саліцилової кислоти, збільшення транспірації та продигового опору, зменшення вмісту хлорофілу

(Martel et al. 2016). Гостре опромінення УФ-В у високих дозах здатне спричинити запрограмовану загибель клітин, що може бути однією з причин затримки росту та розвитку у дводольних (Ferreyra et al. 2016). Подальше дослідження дії УФ-В на рослини гороху дозволить доповнити знання про цей важливий стресовий чинник навколишнього середовища.

Висновки

Встановлено, що дія гострого опромінення УФ-В на рослини гороху в дозах від 2 до 15 кДж/м² інгібувала ріст рослин, формування квіток і стручків, приріст сухої маси. Виявлено, що наслідком дії дози УФ-В 2 кДж/м², яка відповідає природному фоновому рівню ультрафіолету у помірних широтах, було зменшення висоти рослин, утворення квіток і стручків. Опромінення рослин гороху УФ-В дозою 4 кДж/м² викликало подальше пригнічення росту у висоту, але стимулювало розвиток квіток і стручків. Доза 8 кДж/м² була пороговою для дії УФ-В на горох. Подальше збільшення дози УФ-В посилювало пригнічення ростових процесів у пагонах гороху, формування квіток і стручків. Однак дія УФ-В променів у найбільшій дозі, яка перевищувала природний фон майже у 10 разів, не спричиняла загибелі рослин, що свідчить про невисоку руйнівну здатність даного компоненту сонячного світла. Рослини гороху виявили високу чутливість до УФ-В-опромінення у широкому діапазоні доз і можуть бути використані для тестування відповіді на даний компонент сонячного світла.

Використані джерела

- Brosche M., Strid A. 2000.** Ultraviolet-B radiation causes tendril coiling in *Pisum sativum*. *Plant Cell Physiol.* **41** (9): 1077–1079.
- Choudhary K.K., Agrawal S.B. 2014.** Ultraviolet-B induced changes in morphological, physiological and biochemical parameters of two cultivars of pea (*Pisum sativum* L.). *Ecotoxicol. Environ. Saf.* **100**: 178–187.
- Ferreyra M.L.F., Casadevall R., D'Andrea L., AbdElgawad H., Beemster G.T.S., Casati P. 2016.** AtPDCD5 Plays a role in programmed cell death after UV-B exposure in *Arabidopsis*. *Plant Physiol.* **170**: 2444–2460.
- Gonzalez R., Mepsted R., Wellburn A.R., Paul N.D. 1998.** Non-photosynthetic mechanisms of growth reduction in pea (*Pisum sativum* L.) exposed to UV-B radiation. *Plant Cell Environ.* **21**: 23–32.
- Hayes S., Sharma A., Fraser D.P., Fankhauser Ch., Jenkins G.I., Franklin K.A. 2017.** UV-B perceived by the UVR8 photoreceptor inhibits plant thermomorphogenesis. *Curr. Biol.* **27**: 120–127.
- Jenkins G.J. 2009.** Signal transduction in responses to UV-B radiation. *Ann. Rev. Plant Biol.* **60**: 407–431.
- Kakani V.J., Reddy K.R., Zhao D., Sailaja K. 2003.** Field crop responses to ultraviolet-B radiation: a review. *Agric. For. Meteorol.* **120**: 191–218.
- Martel A.B., Quaderi M.M. 2016.** Does salicylic acid migrate the adverse effects of temperature and ultraviolet-B radiation on pea (*Pisum sativum*) plants? *Environ. Exp. Bot.* **122**: 39–48.
- Mepsted R., Paul N.D., Stephen J., Corlett J.E., Noguees S., Baker N.D., Jones H.G., Hyres P.G. 1996.** Effects of enhanced UV-B radiation on pea (*Pisum sativum* L.) grown under field conditions in the UK. *Glob. Change Biol.* **2**: 325–334.
- Mikhyeyev A.N., Zhuk V.V., Ovsyannikova L.G., Grodzinsky D.M. 2016.** Hormesys effect of UV-C irradiation on pigment complex and antioxidant enzymes of leaves cells *Pisum sativum* L. *Reports of NAS of Ukraine* **11**: 99–103. (In Ukrainian)
- Musienko M.M., Zhuk V.V., Batsmanova L.M. 2014.** Protective role of cytokinin under the heat stress on wheat plants. *Ukr. Bot. J.* **71** (2): 244–249. (In Ukrainian)
- Singh R., Singh S., Tripathi R., Agrawal S.B. 2011.** Supplemental UV-B radiation induced changes in growth, pigments and antioxidant pool of bean (*Dolichos lablab*) under field conditions. *J. Environ. Biol.* **32**: 139–145.
- Vanhaelewyn L., Prinsen E., Straeten D.V.D., Vandenbussche F. 2016.** Hormone-controlled UV-B responses in plants. *J. Exp. Bot.* **8**: 2–14.
- Yoon M.Y., Kim M.Y., Shim S., Kim K.D., Ha J., Shin J.H., Kang S., Lee S.-H. 2017.** Transcriptomic profiling of soybean in response to high-intensity UV-B irradiation reveals stress defense signaling. *Front. Plant Sci.* **7**: 2–17.
- Zhuk V.V., Musyenko M.M. 2012.** The structure of cell chloroplasts of spring cereals. *Mod. Phytomorphol.* **2**: 137–139. (In Ukrainian)
- Zhuk V.V., Musyenko M.M. 2013.** The research of cytokinin and hydrogen peroxide influence on the leaf mesophyll structure and morphometric parameters of winter wheat. *Mod. Phytomorphol.* **4**: 383–386. (In Ukrainian)