

## References

1. Kushnirenko, M. D. (1989). Water metabolism in plants under different water availability due to drought tolerance and productivity: Water exchange of agricultural plants. Chisinau. Shtiintsa, 229. (In Ukrainian).
2. Lebedev, G. V. (1989). Water scarcity and agricultural production. Leningrad. Chemistry, 320.
3. Zhuk, O. I., Grigoruk, I. P., Varavkin, V. O., Bulah, A. A., Dadusha, L. M., Dulnev, P. G. (2001). The growth reaction of winter wheat seedlings on temperature stress and treatment by substance "Dimex". Physiology and biochem. the cult. plants., 33 (6), 485–489 (In Ukrainian).
4. Varavkin, V. O. (2001). The growth of winter wheat seedlings after exposure to heat stress and potassium Humate. Scientific reports NUBIP, 2(24), Available at: [http://www.nbu.gov.ua/ejournals/Nd/2011\\_2/11vvo.pdf](http://www.nbu.gov.ua/ejournals/Nd/2011_2/11vvo.pdf) (In Ukrainian).
5. Varavkin, V. O. (2011). The dependence of the growth response of seedlings of winter wheat from the effects of temperature stress and treatment etamon. Visnyk agrar science, 11, 30-32 (In Ukrainian).
6. Zhuk, O. I., Grigoruk, I. P., Varavkin, V. O., Bulah, A. A., Dadusha, L. M., Dulnev, P. G. (2002). The influence of the drug "Hart" on the growth of winter wheat seedlings after thermal stress. Physiology and biochem. the cult. Plants, 34, 58–62 (In Ukrainian).
7. Mamenko, T. P. (2009). Water status and productivity of winter wheat under the effect of drought and salicylic acid. Physiology and biochemistry of the cult. Plants, 41 (5), 447–453. (In Ukrainian).
8. Ivanov, A. A. (2013). The combined effect of water and salt stress on photosynthetic activity of leaves of wheat of different ages. Physiology and biochemistry of the cult. Plants, 45 (2), 155–163. (In Ukrainian).
9. Lukatkin, A. S., Cherkaeva, A. S., Aparin, S. V. (2010). Growth response of the cone cells of the growing heat-loving plants under the effect and aftereffect low temperatures. Physiology and biochemistry of the cult. Plants, 42 (3), 256–269. (In Ukrainian).
10. Major, P. S. (2010). The relationship between the content of free proline, soluble sugars and water content tissues in plants of winter wheat during the autumn-winter period. Physiology and biochemistry of the cult. Plants, 42 (4), 298–305. (In Ukrainian).
11. Adamovskaya, V. G., Molodchinkova, A. A., Belousov, V. M., Sokolov, O. V., Tikhonova O. V., Popov S. P., White, L. Y., Yakimenko I. A. (2010). Activity of cell wall lectins and nitrate reductive in maize seedlings under the effect of water deficit and hyperthermia. Physiology and biochemistry of the cult. Plants, 42 (4), 331–338. (In Ukrainian).
12. Baker, J., Van denn Steele, C., Dure, L. (1988). Sequence and characterization of 6 Lea proteins and their genes from cotton. Plant Molecular Biology, 11 (3), 277–291. doi:10.1007/bf00027385
13. Bostock, R. M., Quatrano, R. S. (1992). Regulation of Em Gene Expression in Rice: Interaction between Osmotic Stress and Abscisic Acid. PLANT PHYSIOLOGY, 98 (4), 1356–1363. doi:10.1104/pp.98.4.1356
14. Bray, A. E. (1993). Molecular responses to water deficit. Ibid, 103 (5), 1035–1040.
15. Oleinikova, T. V., Osipov, Ū. F. (1976). Determination of drought tolerance in wheat and barley lines and hybrids of maize for seed germination on sucrose solutions with high osmotic pressure. Methods for evaluating the resistance of plants to adverse environmental conditions, 23–32.
16. Shevelukha, V. S., Springer, M. A. (1976). Mushroom SR methods of selecting the high-yielding barley plants at the first stage of organogenesis. Howto. Moscow, 32.
17. Dospheov, B. A. (1976). Methods of field experience. Moscow. Agropromizdat, 351.

*Дата надходження рукопису 19.09.2014*

**Варавкин Владимир Алексеевич**, кандидат биологических наук, доцент, кафедра селекции и семеноводства им. проф. Н. Д. Гончарова. Сумской национальный аграрный университет, 40021, Украина, г. Сумы, ул. Герасима Кондратьева, 160.

E-mail: [varv113@yandex.ru](mailto:varv113@yandex.ru)

**Таран Наталия Юрьевна**, доктор биологических наук, профессор, заведующий кафедры, кафедра физиологии и экологии растений учебно-научного центра «Институт биологии», Киевский национальный университет им. Тараса Шевченко, 01033, Украина, г. Киев, ул. Владимирская, 64.

E-mail: [tarantul@univ.kiev.ua](mailto:tarantul@univ.kiev.ua)

УДК 581.524.577.342

DOI: 10.15587/2313-8416.2014.27621

## ДИНАМІКА АНТОЦΙΑНІВ В ПРОЦЕСІ СТАРІННЯ КВІТІВ ІПОМЕА PURPUREA ОПРОМІНЕНИХ УФ-В РАДІАЦІЄЮ

©А. М. Берестяна

*Досліджено динаміку зменшення вмісту антоціанів у процесі старіння пелюсток *Ipomoea purpurea*, яка характеризує швидкість деградаційних процесів у клітині. Проаналізовано вплив різних доз УФ-В опромінення на швидкість вікової деградації антоціанів. Показано, що в межах дослідженого діапазону, УФ-опромінення тільки одна доза – 12,6 кДж/м<sup>2</sup> сприяла уповільненню темпів розпаду антоціанів. Обговорено вірогідні механізми, що пов'язують старіння і деградацію пігментів.*

*Ключові слова: антоціани, УФ-В опромінення, монокарпічні рослини, динаміка старіння*

*The dynamics of the anthocyanin content reduction in the course of aging of the *Ipomoea purpurea* petals, which characterizes the rate of the degradation processes in a cell, has been studied. The analysis included the impact of various UV-B radiation doses on the rate of anthocyanin age-related decomposition. The experiment proved*

that but one dose – 12.6 kJ/m<sup>2</sup> contributed to the deceleration of the anthocyanin decomposition rate, within the range studied. The probable mechanisms that connect ageing and pigment degradation are being discussed.

Keywords: anthocyanins, UV-B radiation, monocarpic plants, aging dynamics.

### 1. Вступ

Біохімічним показником реакції рослин на зміну факторів зовнішнього середовища, ступеню їх адаптації до нових екологічних умов є вміст хлорофілів – головних фоторецепторів фотосинтезуючої клітини. Для оцінки фізіологічного стану рослин також може бути використаний показник рівня антоціанових пігментів, що приймають участь в придбанні стійкості рослин до стресових факторів, таких як УФ-В випромінювання.

### 2. Аналіз літературних даних

УФ-В випромінювання (280–320 нм) викликає індукцію цілого ряду механізмів захисту рослин: синтез поліамінів, що захищають нуклеїнові кислоти, підвищення активності антиокисних ферментів та активацію патогенезрегулюючих білків. Окрім того, воно має найбільший вплив на синтез флавоноїдних сполук, зокрема антоціанів, які поглинають випромінювання саме в даній області. Наявність антоціанів в тканинах епідермісу та мезофілу листків знижує ймовірність виникнення радіаційно-індукованих пошкоджень [1].

Антоціани є великою групою водорозчинних пігментів, зосереджених в вакуолях клітин. За хімічною структурою це фенольні сполуки, що зустрічаються, в основному, у вигляді глікозидів полігідроксі- та поліметоксі-похідних солей 2-фенілбензопірілума або флавілума. Найбільш поширеними типами антоціанів є 3-глюкозиди та 3-рутінозиди. Антоціани синтезуються з антоціанидинів (пеларгонідин, цианідин, дельфінідин) після об'єднання з глікозильною, ацильною та метильною групами в різних комбінаціях. Отримана в результаті таких модифікацій структурна різноманітність антоціанів пояснює багатоманітність забарвлення плодів, листків, пелюсток в кольори від рожевого до темно-фіолетового. Якісний склад антоціанів є специфічним для конкретного виду рослин. Дані пігменти містяться практично в усіх органах рослин, однак їх кількість та характер забарвлення варіюють залежно від температури, освітлення, рН середовища, стадії розвитку, умов вирощування [2–4]. Зростання ароматичних ацильних груп, підвищення рН в вакуолі клітини, наявність флавонолів та флавонів, а також присутність іонів металів сприяють зміні забарвлення рослини до синього кольору [5].

Антоціани – біохімічні маркери стресового стану рослин. Стимулювання синтезу антоціанів пов'язано не тільки з інтенсивним освітленням, а також із впливом різних стресових факторів оточуючого середовища [6, 7]. Є дані, які показують, що з підвищенням ступеню забруднення атмосфери техногенними поллютантами вміст антоціанів в рослинах збільшується в кілька разів вище фонового. Активність їх біосинтезу може бути викликана накопиченням таких речовин як супероксидний

радикал, перекис водню, синглетний кисень, рівень яких зростає під дією поллютантів.

Процес утворення антоціанів можна поділити на два етапи. Перший залежить від запасу попередників антоціанів, він не пов'язаний з умовами середовища. Другий етап протікає в фотосинтезуючих органах та залежить від умов середовища. При високій освітленості знижується ефективність фотосинтезу, відбувається вироблення та накопичення позапластидних пігментів – антоціанів, які грають роль фільтру УФ-В-випромінювання [8]. Антоціани клітинних вакуолей, що поглинають високоенергетичні кванти світла в області УФ-В, запобігають процесам деструкції фотолабільних молекул, що знижує ступінь пошкодження ДНК та підвищує загальні захисні функції рослини [9]. Для *Arabidopsis* відомо, що антоціани більш ефективні в захисті рослин при довгострокових світлових стресах, на відміну від дії ксантофілів, які приймають участь в захисті рослин протягом короткострокових стресів. Антоціани захищають фотосинтетичний електронний транспортний ланцюг та підвищують поглинання сонячної енергії в межах видимої області (380–700 нм) на 10–12 % [10].

Окрім того, в умовах надлишку УФ-В утворюються радикальні форми кисню, що може руйнувати мембрани тилакоїдів, пошкоджувати ДНК та денатурувати білки, пов'язані з фотосинтетичним електронним транспортом. Здатність даних пігментів руйнувати супероксидні радикали дозволяє їм функціонувати в якості ендогенних антиоксидантів, виступаючи донором електронів в пероксидазній реакції. Згідно літературних даних розчини антоціанів нейтралізують майже всі види радикальних форм кисню та азоту в рази ефективніше, ніж аскорбат і  $\alpha$ -токоферол. Мутанти *Arabidopsis*, що не містять антоціанів, зазнають більш сильного перекисного окислення ліпідів при світловому випромінюванні, ніж дикі форми рослин. Навіть за дії помірних доз  $\gamma$ -випромінювання, рослини *Arabidopsis*, що містять антоціани та аскорбат, зберігають нормальну здатність до росту та цвітіння, в них менш виражені процеси радіаційного фотоінгібування, на відміну від деяких мутантів [5, 10]. Червоно-пігментовані клітини дезактивують перекис водню швидше за зелені клітини. Активне накопичення антоціанів в вакуолях клітин підвищує ефективність антиоксидантної системи в процесах нейтралізації продуктів окисного стресу, що сприяє підвищенню стійкості рослин. Однак, існує припущення, що цитозольні, а не вакуолярні антоціани забезпечують більший внесок в антиокислювальний захист [11, 12].

Слід відмітити, що антоціани можуть підвищувати стійкість рослин до охолодження та заморожування, до забруднення важкими металами, посухи та атак комах. Антоціани беруть участь в

інгібуванні передчасного дозрівання плодів, сприяють підвищенню їх механічної міцності, захищають від попадання патогенів ззовні. Синтез антоціанів йде автономно, він не пов'язаний з процесами відтоку речовин з листків в генеративні органи, де міститься достатня кількість вуглеводів, які є субстратом для біосинтезу антоціанів. При старінні листків листопадних дерев азот, що пов'язаний з хлоропластами, ресорбується в гілки. Антоціани запобігають впливам світлових променів на хлорофіл, обмежуючи таким чином формування радикалів кисню, які можуть піддати небезпеці процес ресорбції. Мутанти, позбавлені антоціанів, менш ефективно ресорбують азот [13, 14]. Водночас, відомо, що вміст антоціанів в процесі старіння рослини зменшується. Це обумовлено тим, що старіння рослин супроводжується посиленням розпаду речовин, уповільненням синтезу, а також підвищенням активності гідролітичних ферментів [15]. Однак, остаточна роль антоціанів в рослинах ще невідома.

Старіння рослин реалізується за допомогою фізіолого-біохімічних механізмів, що відображається на рівні вмісту пігментів. Зміна стану рослинного органу спостерігається в порушенні його фізіологічних та біохімічних властивостей, що виражається у збільшенні захисних компонентів – антоціанів. Виходячи з того, що функція антоціанів головним чином полягає у забезпеченні універсального та ефективного захисту рослин, кількісний вміст даних пігментів може бути ефективним показником фізіологічного стану рослин, що розвиваються в стресових умовах. Щоб визначити відповідь антоціанів на дію УФ-В випромінювання, ми досліджували динаміку концентрації даного пігменту на різних стадіях в'янення в пелюстках квітів *Irotea purpurea*.

### 3. Матеріали та методи

Досліджували дію різних доз УФ-В опромінення на вміст антоціанів в процесі старіння ізольованих генеративних органів монокарпічної рослини *Irotea purpurea*. Для цього, в момент повного розкриття квітки проводили опромінення джерелом УФ-В випромінювання («Philips Ultraviolet-B TL20W/12RS», Голландія) у 3-х дозах: 4,5 кДж/м<sup>2</sup>, 8,5 кДж/м<sup>2</sup>, 12 кДж/м<sup>2</sup>. За швидкістю накопичення та розпаду антоціанів можна судити про характер радіаційно-індукованого старіння рослини. В'янення генеративних органів даної рослини відбувається інтенсивно. З моменту розкриття квітки до повного зів'янення її пелюсток проходить лише за 6–7 годин, що робить зручним вивчення динаміки антоціанів в процесах радіаційно-індукованого старіння саме на цій рослині. Етапи старіння генеративних органів *Irotea purpurea* умовно розділили на 6 онтогенетичних точок.

Для визначення вмісту антоціанів опромінені квіти зважували та гомогенізували в розчині пропанол: соляна кислота : вода (18:1:81) співвідношення сирової речовини: розчин – 1:5. Отриманий гомогенат звільняли від рослинних

залишків центрифугуванням при 4500 об/хв протягом 30 хв. Екстрагування проводили кожну годину протягом 6 годин при 25 °С. Концентрацію антоціанів визначали спектрофотометрично в екстракті при довжині хвилі 535 нм. Для внесення поправок на вміст зелених пігментів визначали оптичну густину отриманих екстрактів при довжині хвилі 650 нм. Розрахунок проводили за формулою:

$$A=(D_{535}-D_{650})V/P,$$

$D_{535}$ ,  $D_{650}$  – поглинання, що відповідає довжинам хвиль 535 та 650 нм,  $V$  – об'єм розчину (мл),  $P$  – маса сирової речовини (г) [16].

Вміст досліджуваних речовин наведено на грам сирової речовини. Аналіз проводився у трьохкратній біологічній повторності. Отримані дані оброблені статистично, представлені у вигляді середніх арифметичних значень та стандартних помилок.

### 4. Результати та обговорення

Розпад пігментів в рослинних тканинах можна охарактеризувати по зміні забарвлення пелюсток, яка в процесі їх старіння світлішає (рис. 1). Перші три онтогенетичні точки на діаграмі деградації антоціанів (табл. 1, рис. 2) відображають період стаціонарного стану, який збігається з часом повного цвітіння, тобто з періодом онтогенезу квітки, коли ознак в'янення не спостерігається та відповідає першим трьом годинам після опромінення (рис. 1, а). Четверта онтогенетична точка відповідає періоду активного в'янення (рис. 1, б). Шоста онтогенетична точка відповідає періоду повного в'янення квітки (рис. 1, в).

Згідно отриманих даних період стаціонарного стану існує для всіх доз та контрольного варіанту за винятком найбільшої дози, при якій відбувається достовірне накопичення пігменту. Для решти варіантів вміст антоціанів зберігається незмінним та практично не реагує на наявність опромінення. Пізніше, на четвертій годині (4 точка онтогенезу, табл. 1) з моменту опромінення, відбувається достовірне зменшення вмісту антоціанів в пелюстках для всіх доз (табл. 1, рис. 2). Окрім того, починає проявлятися залежність цих змін від дози УФ-В опромінення, що добре узгоджується з даними про те, що опромінення впливає на швидкість старіння рослин.

Так, для найменшої дози 4,5 кДж/м<sup>2</sup> опромінення темпи розпаду антоціанів на четвертій годині виявилися вище, ніж для решти доз, концентрація становила 0,20 мг/г сирової маси (табл. 1). На шостій годині після опромінення вміст антоціанів в даному варіанті досяг мінімального, в порівнянні з іншими варіантами, значення – 0,09 мг/г. Для середньої дози, 8,5 кДж/м<sup>2</sup> темпи розпаду пігментів на четвертій годині були меншими, вміст пігменту складав 0,27 мг/г. На шостій годині після опромінення вміст антоціанів був вищий, ніж в попередній дозі та контролі, і становив – 0,17 мг/г. Для найбільшої дози, 12 кДж/м<sup>2</sup> вміст антоціанів на шостій годині після опромінення був вищий, ніж у контролі, та при двох інших дозах –

0,23 мг/г (табл. 1).

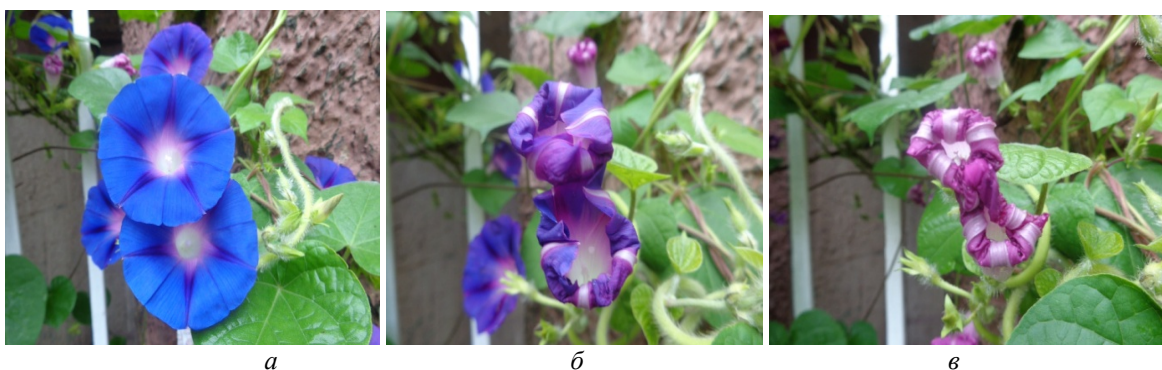


Рис. 1. Квітка *Ipomea purpurea* в процесі старіння: а – квітка в період повного цвітіння; б – квітка в період активного в'янення; в – квітка зів'яла повністю

Таблиця 1

Вміст антоціанів в процесі старіння пелюсток *Ipomea purpurea*, опроміненних УФ-В радіацією, мг/г

Точки онтогенезу (години після опромінення)	контроль	4,5 кДж/м <sup>2</sup>	8,5 кДж/м <sup>2</sup>	12 кДж/м <sup>2</sup>
1	0,23±0,02	0,28±0,02	0,25±0,02	0,31±0,04
2	0,24±0,02	0,26±0,01	0,26±0,01	0,3±0,03
3	0,23±0,01	0,26±0,02	0,28±0,02	0,33±0,02
4	0,20±0,03	0,20±0,01	0,27±0,03	0,29±0,02
5	0,17±0,01	0,15±0,01	0,19±0,01	0,24±0,01
6	0,13±0,02	0,09±0,009	0,17±0,01	0,23±0,01

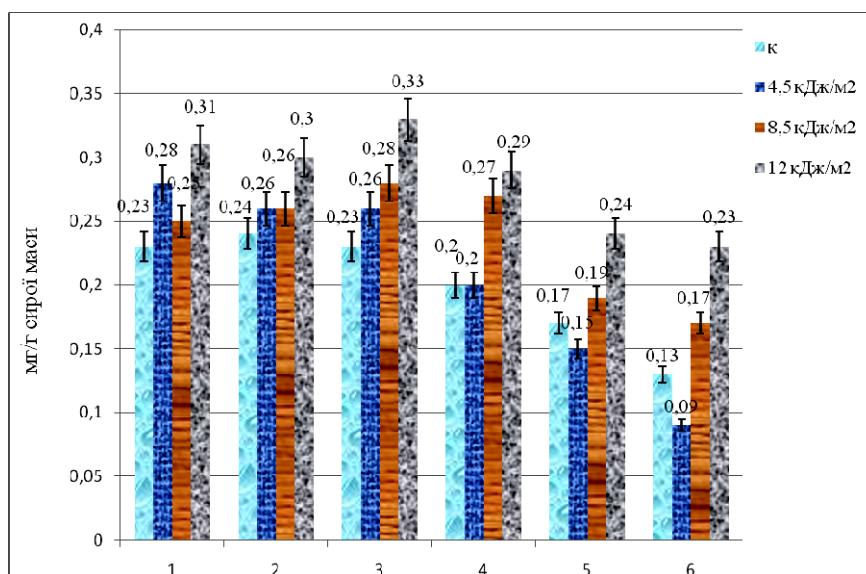


Рис. 2. Діаграма онтогенетичної динаміки антоціанів у опроміненних УФ-В радіацією зразках *Ipomea purpurea*, мг/г сирої маси

У пробах, які були опромінені найвищою дозою, деградаційні процеси протікали повільніше (рис. 2). Швидкість зниження кількості антоціанів на четвертій годині опромінення становила 0,04 мг/г, на п'ятій – 0,05 мг/г та на шостій – 0,01 мг/г на годину. Окрім того, на шостій годині після опромінення, вміст антоціанів в зразках, опроміненних найвищою дозою, був вище, ніж у контролі та інших дозах на той самий момент, та становив 0,23 мг/г. Збереження

такого рівня антоціанів може свідчити про включення захисного механізму, що складається в збільшенні кількості флавоноїдних пігментів у клітинах. Таким чином, УФ-В опромінення здійснило вплив на темпи старіння пелюсток квітки *Ipomea purpurea*. Проте воно було неоднозначним, оскільки була відсутня пряма залежність посилення темпів розпаду антоціанів в ході в'янення від збільшення дози. Тим не менш, в пробах, опроміненних високою

дозою – 12 кДж/м<sup>2</sup>, деградаційні процеси на 1–3 онтогенетичній точці протікали повільніше, ніж у контролі. Це дозволяє нам зробити висновок, що дана доза сприяла процесам накопичення антоціанів.

Згідно даних літератури, у *Ipomea purpurea* ідентифіковано гени, асоційовані зі старінням (*SAG*). Гени: *in33*, *in35*, *in42* активуються після розкриття квітки та підсилено експресуються під час деградації клітинної стінки, що в певній мірі свідчить на користь запрограмованої загибелі клітин. Також при старінні пелюсток збільшується активність ферментів деградації, розривається тонопласт, деградує клітинна стінка. Проте незважаючи на те, що старіння генеративних органів знаходиться під контролем великої кількості генів, воно може бути ініційоване сигналами оточуючого середовища, зокрема, вкороченням тривалості дня, нестачею води та поживних речовин. На початку старіння пелюсток руйнується ендоплазматичний ретикулум, пластиди. Пізніше – мітохондрії та ядро. Розривається вакуоль, відбувається автоліз клітини [17].

Для вивчення стресової складової старіння монокарпиків досліджували динаміку антоціанів на опромінених ізольованих квітах *Ipomea purpurea*. Відомо, що в умовах короткохвильового УФ-В стресу відбувається активація біосинтезу антоціанів на фоні деградації пігментів фотосинтезу. Згідно з отриманими даними, доза 12 кДж/м<sup>2</sup> викликала накопичення вмісту антоціанів в пелюстках та уповільнення їх розпаду в ході старіння. Це може свідчити про включення захисного механізму, який полягає в збільшенні концентрації фенольних сполук у клітині.

Один з механізмів, що пояснює уповільнення деградаційних процесів, полягає в тому, що різна швидкість в'янення пелюсток залежить від експресії генів гідролаз. Відповідно, чим нижче активність гідролітичних ферментів, тим повільніше швидкість розпаду антоціанів. Висока експресія генів гідролаз зумовлює високу активність ферментів, що підсилює процеси розпаду антоціанів. Припускається, що УФ-В опромінення гальмує експресію генів гідролаз та викликає продукцію антоціанів, в якості захисного механізму [17–19].

## 5. Висновки

Динаміка антоціанів як індикатор життєздатності рослинних органів може служити критерієм для оцінки ступеня радіаційно-індукованого старіння. Це становить інтерес з точки зору дослідження онтогенетичної адаптації монокарпичної рослини до підвищення рівня УФ-В радіації. Аналогічні процеси можуть спостерігатися у інших видів рослин, тобто отримані дані можуть бути екстрапольовані на інші об'єкти.

## Література

1. Dubrov, A. P. Geneticheskie i fiziologicheskie jeffekty dejstvija ul'traioletovoj radiacii na vysshie rastenija [Text] / A. P. Dubrov. – М.: Nauka, 1968. – 249 p.
2. Isachenko, M. S. Issledovanie antocianov jagodnogo syr'ja. Kachestvennoe i kolichestvennoe opredelenie [Text] / M. S. Isachenko, N. I. Ivashhenko // Pishhevaja

promyshlennost': Nauka i tehnologii. – 2009. – Vol. 3, Issue 1. – P. 80–83.

3. Mullagulov, R. T. Kolichestvennoe sodержanie antocianov v lekarstvennom rastitel'nom syr'e [Text] / R. T. Mullagulov, G. R. Timerbulatova // Privolzhskij nauchnyj vestnik. – 2012. – Vol. 6, Issue 2. – P. 3–5.

4. Tanchev, S. S. Antociany v plodah i ovoshhah [Text] / S. S. Tanchev. – М.: Pishhevaja promyshlennost', 1980. – 304 p.

5. Mazza, G. Anthocyanins in fruits, vegetables and grains [Text] / G. Mazza. – Boca Raton: CRC Press Inc, 1993. – 362 p.

6. Chalker-Scott, L. Do anthocyanins function as osmoregulators in leaf tissues? [Text] / L. Chalker-Scott // Advances in Botanical Research. – 2002. – Vol. 37. – P. 103–127. doi: 10.1016/s0065-2296(02)37046-0

7. Jaakola, L. Activation of flavonoid biosynthesis by solar radiation in bilberry (*Vaccinium myrtillus* L.) leaves [Text] / L. Jaakola // Planta. – 2004. – Vol. 218, Issue 5. – P. 721–728. doi: 10.1007/s00425-003-1161-x

8. Steyn, W. J. Anthocyanins in vegetative tissues: a proposed unified function in photoprotection [Text] / W. J. Steyn // New Phytologist. – 2002. – Vol. 155, Issue 3. – P. 349–361. doi: 10.1046/j.1469-8137.2002.00482.x

9. Stapleton, A. E. Flavonoids can protect maize DNA from the induction of ultraviolet radiation damage [Text] / A. E. Stapleton // Plant Physiology. – 1994. – Vol. 105, Issue 3. – P. 881–889. doi: 10.1104/pp.105.3.881

10. Harvaux, M. The protective functions of carotenoid and flavonoid pigments against excess visible radiation at chilling temperature investigated in *Arabidopsis* npq and tt mutants [Text] / M. Harvaux // Planta. – 2001. – Vol. 213, Issue 6. – P. 953–966. doi: 10.1007/s004250100572

11. Chupahina, G. N. Adaptacija rastenij k neftjanomu stressu [Text] / G. N. Chupahina, P. V. Maslennikov // Jekologija. – 2004. – Vol. 5. – P. 330–335.

12. Gould, K. S. Do anthocyanins function as antioxidants in leaves? Imaging of H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> in red and green leaves after mechanical injury [Text] / K. S. Gould // Plant, Cell and Environment. – 2002. – Vol. 25, Issue 10. – P. 1261–1269. doi: 10.1046/j.1365-3040.2002.00905.x

13. Field, T. S. Why leaves turn red in autumn. The role of anthocyanins in senescing leaves of red-osier Dogwood [Text] / T. S. Field, D. W. Lee, N. M. Holbrook // Plant Physiology. – 2001. – Vol. 127, Issue 2. – P. 566–574. doi: 10.1104/pp.010063

14. Hoch, W. A. Resorption protection. Anthocyanins facilitate nutrient recovery in autumn by shielding leaves from potentially damaging light levels [Text] / W. A. Hoch // Plant Physiology. – 2003. – Vol. 133, Issue 3. – P. 1296–1305. doi: 10.1104/pp.103.027631

15. Grodzinskij, D. M. Vlijanie hronicheskogo obluchenija na adaptivnyj potencial rastenij [Text] / D. M. Grodzinskij, N. I. Gushha, G. Ju. Perkovskaja // Radiobiologija rastenij. – 2002. – Vol. 42, Issue 2. – P. 155–158.

16. Lange, H. An analysis of phytochrome mediated anthocyanin synthesis [Text] / H. Lange, W. Shropshire, H. Mohr // Plant Physiol. – 1971. – Vol. 47, Issue 5. – P. 649–655. doi: 10.1104/pp.47.5.649

17. Yamada, T. Gene expression in opening and senescing petals of morning glory (*Ipomoea nil*) flowers [Text] / T. Yamada, K. Ichimura, M. Kanekatsu // Plant Cell Rep. – 2007. – Vol. 26, Issue 6. – P. 823–835. doi: 10.1007/s00299-006-0285-4

18. Kong, J. M. Analysis and biological activities of anthocyanins [Text] / J. M. Kong // Phytochemistry. – 2003. – Vol. 64, Issue 5. – P. 923–933. doi: 10.1016/s0031-9422(03)00438-2

19. Harborne, J. B. Anthocyanins and other flavonoids [Text] / J. B. Harbone // Natural Product Reports. – 2001. – Vol. 18. – P. 310–333.

#### References

1. Dubrov, A. P. (1968). Geneticheskie i fiziologicheskie jeffekty dejstvija ul'traioletovoj radiacii na vysshie rastenija. Moscow: Nauka, 249.

2. Isachenko, M. S., Ivashhenko, N. I. (2009). Issledovanie antocianov jagodnogo syr'ja. Kachestvennoe i kolichestvennoe opredelenie. Pishhevaja promyshlennost': Nauka i tehnologii, 3 (1), 80–83.

3. Mullagulov, R. T., Timerbulatova, G. R. (2012). Kolichestvennoe sodержanie antocianov v lekarstvennom rastitel'nom syr'e. Privolzhskij nauchnyj vestnik, 6 (2), 3–5.

4. Tanchev, S. S. (1980). Antociany v plodah i ovoshhah. Moscow: Pishhevaja promyshlennost', 304.

5. Mazza, G. (1993). Anthocyanins in fruits, vegetables and grains. Boca Raton: CRC Press Inc, 362.

6. Chalker-Scott, L. (2002). Do anthocyanins function as osmoregulators in leaf tissues? Advances in Botanical Research, 37, 103–127. doi: 10.1016/s0065-2296(02)37046-0

7. Jaakola, L. (2004). Activation of flavonoid biosynthesis by solar radiation in bilberry (*Vaccinium myrtillus* L.) leaves. Planta, 218 (5), 721–728. doi: 10.1007/s00425-003-1161-x

8. Steyn, W. J. (2002). Anthocyanins in vegetative tissues: a proposed unified function in photoprotection. New Phytologist, 155 (8), 349–361. doi: 10.1046/j.1469-8137.2002.00482.x

9. Stapleton, A. E. (1994). Flavonoids can protect maize DNA from the induction of ultraviolet radiation damage. Plant Physiology, 105 (3), 881–889. doi: 10.1104/pp.105.3.881

10. Harvaux, M. (2001). The protective functions of carotenoid and flavonoid pigments against excess visible

radiation at chilling temperature investigated in *Arabidopsis* npq and tt mutants. Planta, 213 (6), 953–966. doi: 10.1007/s004250100572

11. Chupahina, G. N., Maslennikov, P. V. (2004). Adaptacija rastenij k nefljanomu stressu. Jekologija, 5, 330–335.

12. Gould, K. S. (2002). Do anthocyanins function as antioxidants in leaves? Imaging of H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> in red and green leaves after mechanical injury. Plant, Cell and Environment, 25 (10), 1261–1269. doi: 10.1046/j.1365-3040.2002.00905.x

13. Field, T. S., Lee, D. W., Holbrook, N. M. (2001). Why leaves turn red in autumn. The role of anthocyanins in senescing leaves of red-osier Dogwood. Plant Physiology, 127 (2), 566–574. doi: 10.1104/pp.010063

14. Hoch, W. A. (2003). Resorption protection. Anthocyanins facilitate nutrient recovery in autumn by shielding leaves from potentially damaging light levels. Plant Physiology, 133 (3), 1296–1305. doi: 10.1104/pp.103.027631

15. Grodzinskij, D. M., Gushha, N. I., Perkovskaja, G. Ju. (2002). Vlijanie hronicheskogo obluchenija na adaptivnyj potencial rastenij. Radiobiologija rastenij, 42 (2), 155–158.

16. Lange, H., Shropshire, W., Mohr, H. (1971). An analysis of phytochrome mediated anthocyanin synthesis. Plant Physiol, 47 (5), 649–655. doi: 10.1104/pp.47.5.649

17. Yamada, T., Ichimura, K., Kanekatsu, M. (2007). Gene expression in opening and senescing petals of morning glory (*Ipomoea nil*) flowers. Plant Cell Rep, 26, 823–835. doi: 10.1007/s00299-006-0285-4

18. Kong, J. M. (2003). Analysis and biological activities of anthocyanins. Phytochemistry, 64 (5), 923–933. doi: 10.1016/s0031-9422(03)00438-2

19. Harborne, J. B. (2001). Anthocyanins and other flavonoids. Natural Product Reports, 18, 310–333.

Рекомендовано до публікації д-р біол. наук Гродзинський Д. М.  
Дата надходження рукопису 25.09.2014

**Берестяна Анастасія Миколаївна**, провідний інженер, Інститут клітинної біології та генетичної інженерії м. Київ, вул. Заболотного 148  
E-mail: [a.berestyanyaya@yandex.ru](mailto:a.berestyanyaya@yandex.ru)

УДК 591.524: 574.58

DOI: 10.15587/2313-8416.2014.27831

## ФІТОФЛІЙНІ ЗООПЛАНКТОЦЕНОЗИ ВОДОЙМ УКРАЇНСЬКОГО РОЗТОЧЧЯ

© О. Р. Іванець

Подано результати досліджень зоопланктону заростей водних рослин Українського Розточчя. Основою роботи були 358 проб, зібраних у 2001–2013 рр. Зареєстровано 45 видів зоопланктону. У тому числі 18 видів *Rotatoria*, 20 – *Cladocera*, 7 – *Copepoda*. Виявлено особливості зоопланктонних угруповань формацій водної рослинності водойм Українського Розточчя.

Ключові слова: зоопланктон, *Rotatoria*, *Cladocera*, *Copepoda*, Розточчя, літораль, *Ceriodaphnia*, *Bosmina*, *Simocephalus*, Україна.

The results of zooplankton investigations of Ukrainian Roztochia aquatic plant thickets are given. Basis of the work is 358 tests of 2001–2013. 45 species of zooplankton, among them there are 18 species of *Rotatoria*, 20 – *Cladocera*, 7 – *Copepoda*, are registered. The peculiarities of zooplankton communities of aquatic vegetation formations of Ukrainian Roztochia water bodies are identified.

Keywords: zooplankton, *Rotatoria*, *Cladocera*, *Copepoda*, Roztochsa, littoral, *Ceriodaphnia*, *Bosmina*, *Simocephalus*, Ukraine