

## Вміст фотосинтетичних пігментів у листках різних форм *Berberis thunbergii* в умовах Херсонщини

НІНА ІВАНІВНА СУШИНСЬКА  
ІВАН ІВАНОВИЧ КОРШИКОВ

SUSHYNSKA N.I., KORSHYKOV I.I. (2019). **The content of photosynthetic pigments in leaves of *Berberis thunbergii* forms in the Kherson region.** *Chornomors'k. bot. z.*, **15** (4): 362–370. doi: 10.32999/ksu1990-553X/2019-15-4-5

We carried out comparative studies of the photosynthetic pigments content in leaves of one- and two-year shoots in eight decorative forms of *Berberis thunbergii* DC. from the Agrobiostation – Botanical Garden collection of the Kherson State University. The chlorophyll content and carotenoids sum were defined in the leaves of these forms in July and early October, when there were no visual signs of leaf aging. The forms are differed by various colours of leaves: green, green with white-gray spots, purple, purple with yellow strip, purple with white-gray spots, yellow. In October, the chlorophyll content and carotenoids was higher than in the leaves of the same forms in July in the vast majority of forms. The maximum levels of the chlorophylls (2.51 mg/g) and carotenoids (0.89 mg/g) were found in green-coloured leaves with white-gray spots in the form “Kelleris” in October. In July, these rates were 2.11 mg/g and 0.64 mg/g respectively. The lowest content of the chlorophylls (0.22 mg/g) and carotenoids (0.11 mg/g) were in July in the leaves of two-year shoots of the yellow-leaf dwarf “Banza gold”. The content of photosynthetic pigments were generally higher in the leaves of one-year shoots vs. two-year ones. Ratio of chlorophyll *a*/chlorophyll *b* to chlorophyll sum/ carotenoids sum were varied during the growing season. It is varied from 1.0 to 3.1 and 1.0 to 3.3 in July and from 1.9 to 3.1 and from 1.3 to 4.0 in October. Usually, forms with green leaves had a higher content of the chlorophyll *a* and *b* and their sums vs. forms with purple and especially yellow leaves. This applies to the carotenoids sum in July also. In October, most carotenoids were found in leaves of the forms with purple leaf color, exception for the form “Kelleris”. The significant differences in the leaf colouring of decorative forms *B. thunbergii* are a real guarantee for the creation of colourful garden arrangements in parks and squares.

*Key words:* *Berberis*, botanical garden, chlorophyll, carotenoids, Ukraine

СУШИНСЬКА Н.І., КОРШИКОВ І.І. (2019). **Вміст фотосинтетичних пігментів у листках різних форм *Berberis thunbergii* в умовах Херсонщини.** *Чорноморськ. бот. ж.*, **15** (4): 362–370. doi: 10.32999/ksu1990-553X/2019-15-4-5

Проведено порівняльні дослідження вмісту фотосинтетичних пігментів у листках одно- і дворічних пагонів 8 декоративних форм *Berberis thunbergii* DC. із колекції Агробіостанції – ботанічного саду Херсонського державного університету. Уміст хлорофілу й суми каротиноїдів визначали в листках цих форм у липні й на початку жовтня, коли ще не було візуально видимих ознак старіння листя. Самі форми відрізнялись різним забарвленням листків: зелене, зелене з біло-сірими плямами, пурпурове, пурпурове з жовтою смугою, пурпурове з біло-сірими плямами, жовте. У жовтні уміст хлорофілу і каротиноїдів у переважній більшості форм був вищим, порівняно з листками цих же форм у липні. Максимальний рівень суми хлорофілів, як і суми каротиноїдів, виявлений у листках із зеленим забарвленням із біло-сірими плямами форми “Kelleris”, у жовтні відповідно – 2,51 мг/г і 0,89 мг/г сирої ваги, а у липні ці показники були такими – 2,11 мг/г і 0,64 мг/г. Найменший вміст хлорофілу – 0,22 мг/г і каротиноїдів – 0,11 мг/г був у липні в листках дворічних пагонів жовтолистого карлика “Banza Gold”. У листках однорічних пагонів, порівняно з



дворічними, уміст фотосинтетичних пігментів, як правило, був більшим. Упродовж вегетації дещо змінювались співвідношення хлорофіл *a*/ хлорофіл *b* і сума хлорофілів/ сума каротиноїдів, у липні вони варіювали у межах 1,0–3,1 і 1,0–3,3, а у жовтні – 1,9–3,1 та 1,3–4,0 відповідно. Форми з зеленим забарвленням листків, зазвичай, мали вищий уміст хлорофілу *a* і *b*, а також їх суми, порівняно з формами з пурпуровими і, особливо, жовтими листками. Це також стосується і суми каротиноїдів у липні. У жовтні, за винятком форми "Kelleris", більше каротиноїдів виявлено в листках форм із пурпуровим забарвленням. Суттєві відмінності забарвлення листків декоративних форм *B. thunbergii* є реальною запорукою для створення різнобарвних садових композицій у парках і скверах.

*Ключові слова:* *Berberis*, ботанічний сад, хлорофіл, каротиноїди, Україна

Сушинская Н.И., Коршиков И.И. (2019). Содержание фотосинтетических пигментов в листьях форм *Berberis thunbergii* в условиях Херсонщины. *Черноморск. бот. ж.*, 15 (4): 362–370 doi: 10.32999/ksu1990-553X/2019-15-4-5

Проведены сравнительные исследования содержания фотосинтетических пигментов в листьях одно- и двухлетних побегов восьми декоративных форм *Berberis thunbergii* DC. из коллекции Агробиостанции – ботанического сада Херсонского государственного университета. Содержание хлорофилла и суммы каротиноидов определяли в листьях этих форм в июле и в начале октября, когда еще не было визуально видимых признаков старения листьев. Сами формы отличались разной окраской листьев: зеленая, зеленая с бело-серыми пятнами, пурпурная, пурпурная с желтой полосой, пурпурная с бело-серыми пятнами, желтая. В октябре содержание хлорофилла и каротиноидов в большинстве форм было выше по сравнению с листьями этих же форм в июле. Максимальный уровень суммы хлорофиллов, как и суммы каротиноидов, обнаруженный в листьях с зеленой окраской с бело-серыми пятнами формы "Kelleris", соответственно в октябре – 2,51 мг/г и 0,89 мг/г сырого веса, а в июле эти показатели были такими – 2,11 мг/г и 0,64 мг/г. Наименьшее содержание суммы хлорофиллов – 0,22 мг/г и каротиноидов – 0,11 мг/г было в июле в листьях двухлетних побегов желтолистого карлика "Bananza Gold". В листьях однолетних побегов по сравнению с двухлетним содержание фотосинтетических пигментов, как правило, было больше. В течение вегетации несколько менялись соотношения хлорофилл *a* / хлорофилл *b* и сумма хлорофиллов / сумма каротиноидов, в июле они варьировали в границах 1,0–3,1 и 1,0–3,3, а в октябре – 1,9–3,1 и 1,3–4,0 соответственно. Формы с зеленой окраской листьев, как правило, имели высокое содержание хлорофилла *a* и *b*, а также их суммы по сравнению с формами с пурпурными и особенно желтыми листьями. Это также относится и к сумме каротиноидов в июле. В октябре, за исключением формы "Kelleris", больше каротиноидов обнаружено в листьях форм с пурпурной окраской. Существенные различия окраски листьев декоративных форм *B. thunbergii* является реальной основой для создания разноцветных садовых композиций в парках и скверах.

*Ключові слова:* *Berberis*, ботанический сад, хлорофилл, каротиноиды, Украина

В останні десятиріччя в озелененні населених пунктів України активно почали використовувати види роду *Berberis* L., серед яких нерідко пріоритет віддається *Berberis thunbergii* DC. Цей вид нараховує понад 100 декоративних форм, більшість яких проходять або пройшли інтродукційне випробування в ботанічних садах і дендропарках країни. Характерною особливістю садових форм *B. thunbergii* є широка палітра забарвлення листків, яка є однією з головних ознак його декоративності. У різних форм забарвлення листків варіює від блідо-жовтого до темно-пурпурового, бордового чи червоного з різними перехідними формами, включаючи й строкатолісті. Ці форми є результатом селекції та відбору і зберігають свої ознаки при вегетативному розмноженні, хоча в ході вегетації інтенсивність забарвлення листків 1–2-річних пагонів може частково змінюватися.

У забарвленні листків рослин провідну роль відіграють зелені та жовті пігменти, функцією яких є забезпечення поглинання і передачі світлової енергії в реакційні

центри, де відбуваються первинні фотосинтетичні реакції [CHEN, 2014]. Жовті пігменти – каротиноїди, яких є зазвичай п'ять типів, виконують функцію світлозбирання та захищають фотосинтетичний апарат клітини від фотопошкоджень [IVANOV et al., 2013; SIVASH, ZOLOTAREVA, 2013]. Природний колір листків та його зміни впродовж вегетації, як це показано на прикладі видів і сортів *Weigela Thunb.*, залежить від синтезу хлорофілів *a* і *b* та каротиноїдів [SAVENKO et al., 2015].

Молекули хлорофілу *a* і *b* вбудовані в тилакоїдні мембрани хлоропластів клітин мезофілу листків. Одна клітина мезофілу може містити до 50 хлоропластів, один квадратний міліметр – до 500000 хлоропластів. Молекули хлорофілу й каротиноїдів розташовуються поблизу одна від одної у скупченнях, таким чином максимізуючи захоплення світлової енергії [CROFF, CHEN, 2017]. Забарвлення листків рослин залежить не тільки від кількості фотосинтетичних пігментів, але й від їх співвідношення, зокрема хлорофілу й каротиноїдів та фенольних сполук, уміст яких може змінюватись в ході вегетації та під впливом стресових факторів. Фотосинтетичний апарат рослин забезпечує акліматизацію та адаптацію рослин по відношенню до флуктуацій світла та екологічних умов зростання [GILMORE, 1997; LICHTENTHALER, BURKART, 1999; MATSUBARA et al., 2007]. Відомо, що інтенсивність фотосинтезу залежить від вмісту головних фотосинтетичних пігментів – хлорофілів та каротиноїдів, а ріст, розвиток і продуктивність рослин тісно пов'язані з фотосинтезом [СНІКОВ, 2008].

Декоративні форми *B. thunbergii* відрізняються не тільки за забарвленням листків, але й мають різні біометричні параметри. Серед них трапляються карликові форми, забарвлення листків яких, наприклад, пурпурове, хоча візуально вони мало відрізняються від нормально розвинутих форм із таким же типом забарвлення.

У створенні різноманітності забарвлення квіток суттєве значення належить копигментації антоціанів та структурним особливостям цих сполук [ZAPROMSTOV, 1977; FEDENKO, 2002]. Червоний колір тканин рослин забезпечують антоціани – водорозчинні флавоноїдні пігменти, які не пов'язані з хлоропластами. У листках рослин антоціани, як правило, відсутні впродовж усього вегетаційного періоду [CROFF, CHEN, 2017]. Установлено, що в листках 5 сортів *B. thunbergii* var. *atropurpureum* вміст антоціанів, який визначали за допомогою оборотно-фазової рідинної хроматографії, був у край низьким і мав слідовий характер, хоча в плодах антоціановий склад був багатшим, до нього входили 3 глюкозиди: пепунідін, пеонідін, мальвідін [SOROKOPUDOV, 2005]. Вважається, що головна роль антоціанів полягає у фотозахисті клітин. Вона активно проявляється в результаті впливу на рослини несприятливих факторів навколишнього середовища, шкідливого УФ-випромінювання, при механічних травмах, захисті від патогенів, а також старінні листків рослин [CROFF, CHEN, 2017; GOULD et al., 2002].

Мета роботи – порівняльний аналіз вмісту хлорофілу і каротиноїдів у різних за забарвленням листків декоративних форм *B. thunbergii* в середині і кінці вегетації в умовах Херсонщини.

### Матеріали та методи досліджень

Об'єктом досліджень були 12 зразків: 8 декоративних форм *B. thunbergii*, які мають різне забарвлення листків: від зеленого, жовтого до пурпурового та плямистого, що зростають в колекції Агробіостанції – ботанічного саду Херсонського державного університету на відкритій для сонця території, за винятком окремих зразків (табл. 1). Вміст хлорофілу *a* і *b* та суми каротиноїдів вивчали в листках однорічних і дворічних пагонів, які збирали для аналізів у липні та на початку жовтня, коли ще не було візуально видимих ознак їх старіння. Аналізи вмісту пігментів у листках пагонів першого і другого року життя проводились в лабораторіях Криворізького ботанічного саду НАН України.

Для визначення вмісту пігментів використовували стандартну методику: до 0,1 г подрібненого рослинного матеріалу додавали 2 мл диметилсульфоксиду (ДМСО), упродовж 3 годин витримували на водяній бані при температурі 67<sup>0</sup>С. В отриманому екстракті проводили вимірювання за допомогою спектрофотометра СФ-2000 за довжини хвилі 665 і 649 мкм – для хлорофілів *a* і *b* та 480 мкм – для каротиноїдів. Вміст пігментів (С) розраховували за формулами:

$$C_a = (12,19 \cdot A_{665}) - (3,45 \cdot A_{649}),$$

$$C_b = (21,99 \cdot A_{649}) - (5,32 \cdot A_{665}),$$

$$C_{\text{кар}} = ((1000 \cdot A_{480}) - (2,14 \cdot C_a) - (70,16 \cdot C_b)) : 220 \text{ [WELLBURN, 1994].}$$

Статистичну обробку здійснювали в програмі MS Excel 2007.

### Результати досліджень

Вміст хлорофілу *a* і *b*, як і їх суми, в листках дванадцяти зразків *B. thunbergii* досить суттєво варіював як у період оптимального розвитку рослин у липні, так і наприкінці вегетаційного періоду – у жовтні (табл. 1). Найвищий рівень вмісту хлорофілу *a* і *b* та їх суми в липні відмічені в листках однорічних пагонів “Kelleris” – 1.46; 0.65; 2.11 мг/с сирої ваги відповідно, а найменше зелених пігментів було в листках жовтого карлика “Bananza Gold” – *a* = 0,06, *b* = 0,006 і сума (*a* + *b*) = 0,13 мг/с сирої ваги. У цієї форми відмічена суттєва різниця між вмістом хлорофілу *a* та в цілому зелених пігментів листка в однорічних і дворічних пагонів. До того ж значні відмінності вмісту зелених пігментів більше ніж у два рази були виявлені в листках різновікових пагонів форми “Red Rocket”. При цьому значно менше пігментів було в листках дворічних пагонів. Найвищий вміст зелених пігментів виявлено в трьох форм: “Kelleris” – 1,95–2,11; “Superba” – 1,31; видовий зразок – 1,25–1,29 мг/с сирої ваги. Інші об’єкти досліджень, за винятком форми “Bananza Gold”, мали схожі показники вмісту зелених пігментів у листках, але, як правило, менші, ніж у зеленолистих форм.

На початку жовтня, коли в рослин ще візуально не відмічено осіннього старіння листків, у 5-ти декоративних форм – “Kelleris”, “Superba”, “Bagatella”, “Golden Ring”, “Bananza Gold” (листки на дворічних пагонах) встановлено достовірно вищі показники вмісту зелених пігментів, порівняно з даними для цих форм у середині вегетації. Особливо суттєво збільшується кількість пігментів у жовтолистого карлика “Bananza Gold”. У більшості інших форм, навпаки, рівень хлорофілу збільшувався в листках однорічного приросту на 19–65,2%, тоді як у листках пагонів другого року підвищення вмісту зелених пігментів складало дещо менше 1,5–45,3%. У двох зразків форм, а саме: у *B. thunbergii* і його форми “Harlequin”, відбувалось зниження суми хлорофілів на 15,2–16,3% і на 21,2–49,0% в осінній період.

У всіх досліджуваних форм вміст каротиноїдів був значно менший, ніж зелених пігментів (табл. 2). В обидва місяці спостережень найбільше каротиноїдів було відмічено в листках форми “Kelleris”. У липні в листках цієї форми каротиноїдів було у 2–3 рази більше, ніж у форми “Red Rocket” і у 5–6 разів більше порівняно з “Bananza Gold”. Високі показники вмісту каротиноїдів у липні виявлено в листках пурпуроволистої “Superba”, середній – у “Golden Ring”, “Harlequin” та “Bagatelle”.

У жовтні в переважній більшості форм, за винятком видового зразка *B. thunbergii*, збільшується вміст каротиноїдів, найбільше – в листках на пагонах другого року життя у “Bananza Gold”, на 409%. Однак, у цієї жовтолистої форми менше каротиноїдів, ніж у таких форм як “Kelleris”, “Superba”, “Bagatelle” і “Golden Ring”. Збільшення вмісту каротиноїдів у жовтні в листках пагонів першого року життя, за винятком видового зразка *B. thunbergii*, “Bananza Gold” і “Harlequin” варіювало в межах 1,2–69,2%, у листках на дворічних пагонах – 1,5–45,3%. Зазвичай восени в різних видів рослин збільшується вміст каротиноїдів [IVANOV et al., 2013]. У цей період, коли фотосинтетичний апарат особливо підпадає під фотодеструктивний вплив світла,

одним із механізмів захисту клітин і структури тканин листків є активація синтезу каротиноїдів. У листках рослин в осінній період, коли майже повністю розпадається хлорофіл, зберігаються каротиноїди, хоча вони є фотохімічно неактивними, однак запобігають фотодеструктивним процесам розпаду хлорофілу [MERZLYAK, GITELSON, 1995].

Таблиця 1  
Вміст хлорофілів в листках декоративних форм *Berberis thunbergii* DC., мг/г сирієї ваги

Table 1  
Chlorophyll content in leaves of decorative forms *Berberis thunbergii* DC., mg/g wet weight

№ п/п	Назва форми	Забарвлення листя	Вік пагонів	Листопад			Жовтень		
				хл. <i>a</i>	хл. <i>b</i>	сума хл. ( <i>a</i> + <i>b</i> )	хл. <i>a</i>	хл. <i>b</i>	сума хл. ( <i>a</i> + <i>b</i> )
1	<i>Berberis thunbergii</i> DC.	Зелене	1 рік	0,87±0,01	0,38±0,01	1,25±0,01	0,78±0,04	0,28±0,02	1,06±0,05
			2 рік	0,94±0,01	0,35±0,01	1,29±0,01	0,80±0,02	0,28±0,05	1,08±0,03
2	Grin carpet, ґрунтопокривна форма	Зелене	1 рік				0,52±0,01	0,20±0,01	0,72±0,02
			2 рік				0,40±0,02	0,13±0,01	0,53±0,02
3	Kelleris, сіянець 1	Зелене з біло-сірими плямами	1 рік	1,46±0,02	0,65±0,02	2,11±0,04	1,74±0,01	0,77±0,01	2,51±0,01
			2 рік	1,38±0,01	0,57±0,01	1,95±0,01	1,41±0,03	0,57±0,02	1,98±0,05
4	Kelleris, сіянець 2	Зелене з біло-сірими плямами	1 рік				0,98±0,06	0,36±0,02	1,35±0,08
			2 рік				1,37±0,05	0,56±0,03	1,94±0,07
5	Red Rocket (на сонці)	Пурпурове	1 рік	0,59±0,01	0,29±0,01	0,87±0,01	0,63±0,04	0,25±0,02	0,88±0,06
			2 рік	0,28±0,01	0,14±0,01	0,42±0,01	0,33±0,02	0,17±0,01	0,50±0,02
6	Red Rocket сіянець 2 (в затінку)	Пурпурове	1 рік				0,90±0,01	0,37±0,01	1,27±0,02
			2 рік				0,48±0,02	0,18±0,02	0,67±0,02
7	Superba, гібрид	Пурпурове	1 рік	0,89±0,01	0,42±0,007	1,31±0,01	1,16±0,01	0,50±0,01	1,66±0,02
			2 рік	0,89±0,01	0,42±0,01	1,31±0,01	1,10±0,02	0,46±0,01	1,56±0,02
8	Bagatelle, карлик	Пурпурове	1 рік	0,60 ±0,01	0,26 ±0,01	0,86±0,01	0,89±0,01	0,32±0,01	1,21±0,01
			2 рік	0,64±0,01	0,25±0,01	0,89±0,02	1,28±0,02	0,46±0,01	1,74±0,04
9	Golden Ring 1	Пурпурове з жовтою смугою	1 рік	0,69±0,01	0,23±0,01	0,91±0,01	1,09±0,02	0,45±0,01	1,54±0,04
			2 рік	0,63±0,02	0,32±0,01	0,95±0,01	1,00±0,03	0,38±0,01	1,38±0,04
10	Golden Ring 2	Пурпурове з жовтою смугою	1 рік	0,62 ±0,01	0,24 ±0,01	0,85±0,01	0,60±0,03	0,25±0,01	0,85±0,04
			2 рік	0,57±0,01	0,23±0,01	0,81±0,02	0,57±0,01	0,22±0,01	0,79±0,02
11	Harlequin	Пурпурове з біло-сірими плямами	1 рік	0,74 ±0,01	0,33 ±0,01	1,06±0,01	0,35±0,02	0,18±0,01	0,54±0,03
			2 рік	0,57±0,01	0,27±0,01	0,85±0,01	0,46±0,02	0,21±0,01	0,67±0,03
12	Bananza gold, карлик	Жовте	1 рік	0,06±0,01	0,06±0,01	0,13±0,01	0,08±0,01	0,03±0,01	0,11±0,01
			2 рік	0,15±0,01	0,07±0,01	0,22±0,01	1,16±0,02	0,41±0,02	1,57±0,03

В ході вегетації хлорофіл постійно руйнується та синтезується за умов достатнього впливу сонячного світла та кисню. Більшість хлорофілу *b* міститься в антенних комплексах фотосистеми II, і він є допоміжним пігментом та, на відміну від хлорофілу *a*, не може діяти як основний донор у реакційних центрах [RICHARDSON et al., 2002]. Під впливом несприятливих факторів середовища процеси розпаду хлорофілу можуть переважати над синтезом, що змінює співвідношення хлорофілу *a* до хлорофілу *b*. Вважається, що підвищення значень цього співвідношення є ознакою активізації процесів фотосинтезу. Зазвичай в ході вегетації співвідношення хлорофілів *a/b* в листках рослин становить приблизно 2,5–4,0 [RICHARDSON et al., 2002]. Тому при аналізі пігментного комплексу листків рослин співвідношення хлорофілу *a* до хлорофілу *b* (хл *a* / хл *b*) є важливим показником, як і відношення суми хлорофілів до суми каротиноїдів ((хл *a* + хл *b*) / *c*). У зеленолистих форм *B. thunbergii* співвідношення хлорофілів *a/b* було завжди більше, ніж у форм з пурпуровим забарвленням листків, особливо відносно форми “Harlequin”, у якої наприкінці вегетації наявні на листках біло-сірі плями. У цей період значення співвідношення хлорофілу *a/b* були вищими, ніж улітку. Виходячи з цього можна стверджувати, що в більшості форм з різними за забарвленням листками на початку жовтня не відбувається пригнічення фотосинтетичної функції. Що стосується співвідношення хлорофілу / каротиноїди, то у більшості форм воно варіює в діапазоні 2,3–3,2, і тільки у жовтолистої форми – 1,0–2,0. Наприкінці вегетації значення цього коефіцієнту зменшується і становить 1,8–3,0, особливо у форми “Harlequin” 1,3–1,4. У той же час цей показник зростає в жовтолистої форми до 2,1–4,0. Такі зміни можуть свідчити, що в ході вегетації в клітинах листків різних форм відбуваються

фізіолого-біохімічні перебудови, які відображаються на інтенсивності синтезу й катаболізмі хлорофілів *a* і *b* та каротиноїдів.

За даними М.В. Романова [ROMANOV, 2008] червонолисті форми *B. thunbergii* характеризувались меншим вмістом хлорофілу, ніж зеленолисті впродовж другої половини вегетації. До того ж у листках червонолистої форми вміст антоціанів у серпні-жовтні впродовж трирічних дослідів становив 40,4–53,2 мг/(см/г), а зеленолистої – 4,2–10,6 мг/(см/г). Антоціани в основному локалізовані в покривних тканинах листків та пагонів, а у червонолистих форм – і в інших тканинах, а в період вегетації рослин їх значно менше, ніж при входженні рослин до стадії спокою. Взагалі червонолисті форми відзначались вищою посухо- і морозостійкістю та менше пошкоджувались хворобами і шкідниками [ROMANOV, 2008].

Таблиця 2

Вміст каротиноїдів та співвідношення пігментів у листках декоративних форм *Berberis thunbergii* DC., мг/г сирієї ваги

Table 2

Carotenoid content and ratio of pigments in leaves of decorative forms *Berberis thunbergii* DC., mg/g wet weight

№ п/п	Назва форми	Забарвлення листя	Вік пагонів	Липень			Жовтень		
				каротиноїди, <i>c</i>	хл. <i>a</i> / хл <i>b</i>	∑ хл/ ∑кар.	каротиноїди, <i>c</i>	хл. <i>a</i> / хл <i>b</i>	∑ хл/ ∑кар.
				M±m			M±m		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	<i>Berberis thunbergii</i> DC.	Зелене	1 рік	0,42±0,01	2,3	3,0	0,35±0,02	2,8	3,0
			2 рік	0,48±0,01	2,7	2,7	0,36±0,03	2,9	3,0
2	Grin Carpet, грунтопокров-на форма	Зелене	1 рік				0,31±0,01	2,6	2,3
			2 рік				0,22±0,02	3,1	2,5
3	Kelleris, сіянець 1	Зелене з біло- сірими плямами	1 рік	0,64±0,01	2,3	3,3	0,89±0,01	2,3	2,8
			2 рік	0,61±0,01	2,4	3,2	0,80±0,02	2,5	2,5
4	Kelleris, сіянець 2	Зелене з біло- сірими плямами	1 рік				0,58±0,03	2,7	2,3
			2 рік				0,72±0,03	2,4	2,7
5	Red Rocket (на сонці)	Пурпурове	1 рік	0,30±0,01	2,1	2,9	0,41±0,02	2,6	2,1
			2 рік	0,20±0,01	1,9	2,1	0,29±0,02	2,0	1,8
6	Red Rocket, сіянець 2 (в затінку)	Пурпурове	1 рік				0,48±0,01	2,4	2,7
			2 рік				0,28±0,01	2,6	2,4
7	Superba, гібрид	Пурпурове	1 рік	0,41±0,01	2,1	3,2	0,62±0,01	2,3	2,7
			2 рік	0,41±0,01	2,1	3,2	0,58±0,01	2,4	2,7
8	Bagatelle, карлик	Пурпурове	1 рік	0,35±0,01	2,3	2,8	0,51±0,02	2,9	2,4
			2 рік	0,37±0,01	2,5	2,4	0,66±0,01	2,8	2,6
9	Golden Ring 1	Пурпурове з жовтою смугою	1 рік	0,30±0,01	3,1	3,0	0,66±0,01	2,4	2,3
			2 рік	0,38±0,01	2,0	2,5	0,63±0,02	2,6	2,2
10	Golden Ring 2	Пурпурове з жовтою смугою	1 рік	0,27±0,01	2,6	3,2	0,40±0,01	2,4	2,1
			2 рік	0,27±0,01	2,4	3,0	0,48±0,03	2,6	1,7
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
11	Harlequin	Пурпурове з біло-сірими плямами	1 рік	0,38±0,01	2,1	2,3	0,40±0,02	1,9	1,3
			2 рік	0,38±0,01	2,1	2,3	0,46±0,02	2,2	1,4
12	Bananza Gold, карлик	Жовте	1 рік	0,13±0,01	1,0	1,0	0,10±0,01	2,7	2,1
			2 рік	0,11±0,01	2,3	2,0	0,45±0,07	2,9	4,0

Пурпуроволісті форми *B. thunbergii* стійкі до природно-кліматичних умов Херсонщини, незважаючи на глобальне потепління, яке супроводжується тривалими посухами. Здатність листків рослин синтезувати червоні пігменти пов'язують із пластичністю виду щодо впливу біотичних і абіотичних стресових факторів.

Рослини п'яти інвазійних популяцій *B. thunbergii* var. *atropurpurea* генетично відрізнялись від аборигенних популяцій *B. vulgaris*, що встановлено за допомогою аналізу поліморфізму довжини ампліфікованого фрагменту ДНК. Кластеризація генотипів та координативний аналіз на основі головних компонентів вказав на генетичні відмінності досліджених популяцій. Відмічена деяка обмежена інтрогресія між цими видами [LUBELL ET AL., 2008]. Локальна інвазія рослин *B. thunbergii* var. *atropurpurea*, що висаджені більше 30 років тому, свідчить, що 14% дочірніх рослин мали пурпурове забарвлення листків, тобто цей тип забарвлення листків частково зберігається і в насінневому потомстві [LUBELL ET AL., 2009].

Якщо така ознака стає постійною, то це вже прояв адаптації, так як вона стає функціонально корисною [HUGHES, LEV-YADUN, 2015].

Таким чином, декоративні форми *B. thunbergii* характеризуються високим, середнім і низьким вмістом хлорофілу і каротиноїдів в листках. При цьому форма "Kelleris" відзначається найвищим вмістом в листках обох типів пігментів. До форм з високим вмістом пігментів також відносяться "Superba", "Bagatelle" і "Golden Ring". Форма "Kelleris" має зелене забарвлення листків із біло-сірими плямами, "Superba" та "Bagatelle" відрізняються пурпуровим забарвленням, "Golden Ring" на фоні такого забарвлення має жовту смугу. Форма "Harlequin" має пурпурові листки з біло-сірими плямами, однак пігментів у них суттєво менше, порівняно із зеленолистою плямистою формою "Kelleris". Жовтолистий карлик "Bananza Gold" відрізняється практично від усіх форм низьким вмістом хлорофілу і каротиноїдів, кількість яких збільшується наприкінці вегетації в листках дворічних пагонів. Отже, селекція декоративних форм *B. thunbergii* до пурпурово- і жовтолистих форм призводить до змін вмісту фотосинтетических пігментів, порівняно із зеленолистими формами.

Зелене забарвлення листків забезпечує високий ступінь поглинання світла в більшості частин його спектру, а значить і фотосинтетичну активність, що підтверджують і наші дослідження. В останні роки за допомогою оптоволоконної техніки створення мікросвітловодів, які можна імплантувати в тканини листка, встановлено, що у багатьох видів рослин у верхньому епідермісі є клітини, які здатні фокусувати світло й збільшувати його інтенсивність в 15–20 разів [MERZLYAK, 1998].

### Висновки

У забарвленні листків декоративних форм *B. thunbergii* важливу роль відіграють фотосинтетичні пігменти – хлорофіли і каротиноїди, а формова мінливість типів кольору, зокрема, з пурпуровим кольором листків може обумовлюється синтезом антоціанів. Як правило, у зеленолистих форм вміст хлорофілу вищий, ніж у форм з пурпуровим кольором листків. У більшості пурпуроволістих форм наприкінці вегетації значно збільшується вміст каротиноїдів і зберігається високий рівень хлорофілу. Наявність плям на листках та їх строкатолистість не завжди призводять до суттєвого зниження вмісту фотосинтетичних пігментів порівняно із зеленолистими формами. Низький вміст пігментів у листках карликової жовтолистої форми в середині вегетації в кінці вегетаційного сезону суттєво збільшується, однак тільки у листках дворічних пагонів. Можливо цей ефект пов'язаний зі зниженням інтенсивності сонячної інсоляції.

Багаторічне інтродукційне випробування декоративних форм *B. thunbergii* на Херсонщині свідчить про можливість широкого використання цього виду у зеленому будівництві в містах степової зони України. При цьому можна формувати

монокомпозиції за участю різних форм із широкою палітрою забарвлення листків за типом колоритних різнобарвних садів.

#### References

- CHIKOV V.I. (2008). Evolyutsiya predstavleniy o svyazi fotosinteza s produktivnostyu rasteniy. *Fiziologiya rasteniy*, **55**: 140–154. (in Russian)
- FEDENKO V.S. (2002). Vzaimosvyaz karotinoidnykh i fenolnykh pigmentov v formirovanii polikhroizma tsvetkov pokrytosemennykh rasteniy. *Fiziologiya i biokhimiya kult. Rasteniy*, **34** (3): 199–212. (in Russian)
- IVANOV L.A., IVANOVA L.A., RONZHINA D.A., YUDINA P.K. (2013). Changes in the chlorophyll and carotenoid contents in the leaves of steppe plants along a latitudinal gradient in South Ural. *Russian Journal of Plant Physiology*, **60**(6): 812–820. (in Russian) doi:10.7868/s0015330313050072
- GILMORE A.M. (1997). Mechanistic aspects of xanthophylls cycle-dependent photoprotection in higher plant chloroplasts and leaves. *Physiol. Plant*, **99** (1): 197–209. doi: 10.1111/j.1399-3054.1997.tb03449.x.
- LICHTENTHALER H.K., BURKART S. (1999). Photosynthesis and high light stress. *Bulg. J. Plant Physiol.*, **25** (3–4): 3–16.
- MATSUBARA S., MOROSINOTTO T., OSMOND C.B., BASSI R. (2007). Short and long-term operation of the lutein-epoxide cycle in light-harvesting antenna complexes. *Plant Physiol.*, **144** (2): 926–941. doi: 10.1104/pp.107.099077
- MERZLYAK M.N., GITELSON A.A. (1995). Why and What for the Leaves are Yellow in Autumn? On the Interpretation of Optical Spectra of Senescing Leaves (*Acer platanoides* L.). *J. Plant. physiol.*, **145**: 315–320.
- MERZLYAK M.N. (1998). Pigmenty, optika lista i sostoyanie rasteniy. *Sorosovskiy obrazovatelnyi zhurnal*, **4**: 19–24. (in Russian) doi: 10.1016/j.ecoenv.2009.01.010
- SAVENKO A.V., CHUKURIDI S.S., BARCHUKOVA A.YA. (2015). Osobennosti adaptatsii sortov veygely (*Weigela Thunb.*, Caprifoliaceae) v usloviyakh goroda Krasnodara. *Politematicheskii setevoy elektronnyi nauchnyi zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, **1** (105): 726–738. (in Russian)
- SIVASH A.A., ZOLOTAREVA E.K. (2013). Katabolizm khlorofilla v rasteniyakh. *Visnik Kharkivskogo natsion. agrar. un-tu*, **3** (30): 6–17. (in Russian)
- WELLBURN A.R. (1994). The spectral determination of chlorophylls a and b, as well as total carotenoids, using various solvents with spectrophotometers of different resolution. *Journal of Plant Physiology*, **144** (3): 307–313. doi: 10.1016/S0176-1617(11)81192-2
- ZAPROMSTOV M.N. (1977). Metabolizm fenolnykh soedineniy v rasteniyakh. *Biokhimiya*, **42** (1): 3–20. (in Russian)
- CROFT Y., CHEN J.M. (2017). *Leaf pigment content. book: Reference module in earth systems and environmental sciences*. Oxford: Elsevier Inc, 1–22.
- HUGHES N.M., LEV-YADUN S. (2015). Red/purple leaf margin coloration: Potential ecological and physiological functions. *Environmental and Experimental Botany*, **119**: 27–39.
- CHEN M. (2014). Chlorophyll modifications and their spectral extension in oxygenic photosynthesis. *Annual Review of Biochemistry* **83**: 317–340.
- GOULD K., MCKELVIE J., MARKHAM K. (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 & Environment*, **25**: 1261–1269.
- RICHARDSON A.D., DUGAN S.P., BERLYN G.P. (2002). An evaluation of noninvasive methods to estimate foliar chlorophyll content. *New Phytologist* **153**: 185–194.
- LUBELL J.D., BRAND M.H., LEHRER J.M., HOLSINGER K.E. (2008). Detecting the influence of ornamental *Berberis thunbergii* var. *atropurpurea* in invasive populations of *Berberis thunbergii* (Berberidaceae) using AFLP. *American Journal of Botany*, **95** (6): 1–7.
- LUBELL J.D., BRAND M.H., LEHRER J.M. (2009). Amplified Fragment length polymorphism and parentage analysis of a feral Barberry (*Berberis thunbergii* DC.) population to determine the contribution of an ornamental landscape Genotype. *Hortscience*, **44** (2): 392–395.
- ROMANOV M.V. (2008). Estimating the economic and biological properties of red-leaved and green-leaved forms of some plant species: specialty 06.01.05 – selection and seed production: dissertation abstract for the degree of candidate of agricultural sciences. Michurinsk.
- SOROKOPUDOV V.N., KHLBNIKOV V.A., DEYNEKA V.I. (2005). The anthocyanins of some plants of family Berberidaceae. *Chemistry of plant raw materials*. **4**: 57–60.



Адреси авторів:

*Н.І. Сушинська  
Херсонський державний університет  
вул. 40 років Жовтня (Університетська), 27  
Херсон 73000  
Україна  
e-mail: nsushinskabotsad@gmail.com*

Authors' addresses:

*N.I. Sushynska  
Kherson State University  
27, 40 rokiv Zhovtnya St.,  
Kherson, 73000  
Ukraine  
e-mail: nsushinskabotsad@gmail.com*

*І.І. Коршиков*

*Криворізький ботанічний сад НАН України  
вул. Маршака, 50  
м. Кривий Ріг  
Дніпропетровська область, 50089  
Україна  
e-mail: ivivkor@gmail.com*

*I.I. Korshykov*

*Kryvyi Rih Botanical Garden, NAS of Ukraine  
50 Marshak st.  
Kryvyi Rih  
Dnipropetrovsk region, 50089  
Ukraine  
e-mail: ivivkor@gmail.com*