

Free radical oxidation and proline content as indicators of urban tree vitality (the case of Dnipro city parks, Ukraine)

V.P. Bessonova, O.E. Ivanchenko

*Dnipropetrovsk State Agrarian and Economic University
Department of Landscape Gardening
Serhii Yefremov Str. 25, 49600, Dnipro, e-mail: ivanchenko_78@ukr.net
Submitted: 08.07.2017. Accepted: 19.09.2017*

We studied the accumulation of the malondialdehyde and free proline in the leaves of woody plants which growing in the city parks of Dnipro in zones with different anthropogenic pollution. We registered the significant increase of free radical oxidation in the leaves of all tree species and at all monitored plots. The reactions of free radical oxidation were more intense in zones with heavy pollution and vice versa. The most intensive accumulation of products of free radical oxidation were observed in the assimilative organs of *Tilia cordata* Mill. and *Acer platanoides* L. In *Robinia pseudoacacia* L. and *Biota orientalis* Endl. the accumulated products were registered in slightly less but still significant amounts. The quantities of proline in trees of the city parks located in different functional areas exceeded the corresponding control values. The highest concentration of amino acid and malonic dialdehyde were registered in the assimilative organs of the trees from urban parks with heavy level of pollution while the lowest concentration of amino acid was registered in the trees of park located far from industrial zones. On average, amino acid content ranges between 122.61 and 585.77% from the control values. The high level of proline accumulation was observed in the leaves of *Robinia pseudoacacia* L., since this species is the most environment-resistant. The levels of proline accumulation attributable to anthropogenic pollution of the leaves of *Tilia cordata* Mill. and *Robinia pseudoacacia* L. were almost identical.

Key words: industrial city; parks; woody plants; vital condition; proline; free radical oxidation

Оцінка функціонального стану деревних насаджень парків міста Дніпро за показниками інтенсивності вільнорадикального окиснення та вмісту проліну

В.П. Бессонова, О.Є. Іванченко

*Дніпропетровський державний аграрно-економічний університет
Кафедра садово-паркового господарства
м. Дніпро, вул. С. Єфремова, 25, 49600, e-mail: ivanchenko_78@ukr.net*

Досліджено динаміку вмісту малонового діальдегіду та вільного проліну у листках деревних рослин, які зростають у парках м. Дніпро, розташованих у різних зонах відповідно ступеню антропогенного забруднення. Встановлено збільшення інтенсивності реакцій вільнорадикального окиснення в листках усіх досліджених видів на усіх моніторингових ділянках. Суттєвіше цей процес відбувається у рослин парків Пам'яті та Примирення і Молодіжному, оскільки вони розташовані у найзабрудненішій зоні м. Дніпро, найменше – у рослинних об'єктах парку ім. Ю. Гагаріна, найвіддаленішого від головних джерел антропогенного забруднення. Найбільше накопичення продуктів вільнорадикального окиснення встановлено в асиміляційних органах липи серцелистої і клена гостролистого, менше – робінії звичайної і біоти східної. Кількість проліну у листках дерев, які зростають у парках міста, майже на всіх ділянках збільшується відносно контрольних показників. Найбільша концентрація амінокислоти і малонового діальдегіду встановлена у асиміляційних органах рослин парків Пам'яті та Примирення і Молодіжному парку, найменша – у парках

ім. Ю. Гагаріна та В. Дубиніна. Ми встановили більш високий ступінь накопичення проліну в листках робінії звичайної, порівняно з іншими дослідженими видами.

Ключові слова: промислове місто; парки; деревні рослини; життєвий стан; пролін; вільнорадикальне окиснення

Вступ

Система парків у промисловому місті – цінна естетична інфраструктура. Зелені насадження також можуть слугувати для збереження об'єктів біорізноманіття і видів, що охороняються, але найважливіша їх роль в убротехногенному середовищі полягає в оптимізації екологічних умов у місті, підтриманні чистоти атмосферного повітря. Рослини затримують пил, поглинають токсичні гази (Ilkun, 1971; Korshikov et al., 1995), збагачують повітря фітонцидами (Slepih, 2009; Volodarez, 2012) та покращують мікроклімат (Yakubov, Ananyev, 1998). Проте сучасний стан паркових насаджень потребує заходів з їх поліпшення, що є актуальною задачею. ГДК, прийняті для людини, якими зазвичай користуються екологи, для рослин є високими (Nikolaevskiy, 1979). Тому тривалість життя деревних рослин паркових фітоценозів у містах значно скорочується, погіршується їх фізіологічний стан. Негативно впливають й інші види антропогенного навантаження.

Для розробки теоретичних основ діагностики антропогенного впливу на паркові екосистеми необхідне розгортання системи екологічного моніторингу, для чого потрібно використовувати методи біоіндикації та оцінки функціонального стану рослин (Gnativ, 2014; Radchenko et al., 2010; Lutsyshyn et al., 2010).

Індикатором дії несприятливих чинників довкілля на рослини є інтенсивність вільнорадикального окиснення, яка підвищується за дії SO_2 (Asada, 1980), HF (Grishko, Sisichikov, 2000), комплексу забруднювачів – O_3 , SO_2 та NO_2 (Klumpp et al., 1989), викидів автотранспорту (Korshikov et al., 1995), важких металів (Halliwell, Huttering, 1984; Bessonova, Lyzhenko, 1990; Bessonova, 2006) тощо.

В умовах окиснювального стресу, викликаного несприятливими чинниками, суттєва роль належить проліну (Sairan, Srivastava, 2000; Radyukina et al., 2008; Soshnikova et al., 2013), що можливо, пов'язано з його здатністю захищати білки і білково-ліпідні комплекси мембран шляхом інактивації гідроксильних радикалів та інших активних форм кисню (Saradhi et al., 1995). Проба на вільний пролін використовується у діагностичних цілях як своєрідний біохімічний маркер стану рослин за дії несприятливих факторів (Palfi et al., 1973; Biryukova, 1986; Anbazhagan et al., 1988; Ivanchenko, 2005; Bessonova et al., 1995; Karpets, Kolupaev, 2009; Ivanov et al., 2007; Parpan, Milenka, 2009; Shevjakova, 1983).

Мета даної роботи – оцінити ступінь змін функціонального стану рослин за показниками інтенсивності вільнорадикального окиснення та вмісту проліну в листках деревних рослин у парках м. Дніпро, розташованих у різних зонах міста, що відрізняються рівнем забруднення.

Матеріали і методи досліджень

Дослідження проводилися у парках ім. Л. Глоби, В. Дубиніна, Ю. Гагаріна, Б. Хмельницького, Т.Г. Шевченка, Пам'яті та Примирення, Молодіжному та Севастопольському. Парки Пам'яті та Примирення і Молодіжний знаходяться в сфері впливу викидів Західного промислового комплексу. До складу цього комплексу входять металургійний комбінат з повним виробничим циклом, трубопрокатний, машинобудівний, електровозобудівний, металокопирів, металохімічний, комбайновий, приладобудівний та інші заводи (Pavlov et al., 2000). Поруч з цими парками знаходяться автошляхи з інтенсивним автомобільним рухом (до 4000 авто/год). Парк ім. Л. Глоби та Б. Хмельницького також розташований уздовж вулиць з інтенсивним рухом автотранспорту (4000 і 3000 авто/год, відповідно). Слід зазначити, що парк ім. Л. Глоби знаходиться в нижній частині пр. Яворницького. Відстань парку від потужного Західного промислового комплексу становить 4,5 км. Це визначає характер забруднення атмосферного повітря і ґрунту. Необхідно врахувати, що на території м. Дніпро, як і у інших крупних промислових центрах України, різниця температури між околицею і центром міста складає 1–2 °С. Це викликає втягування повітря з околиць до центру зі швидкістю 2–3 м/с, особливо у понижені місця. Ця обставина, а також висотна забудова запобігають розсіюванню забруднювачів (Bezuglaya et al., 1991) і тому в цій пониженій частині міста спостерігається великий рівень забруднення.

На стан насаджень парку ім. Т.Г. Шевченка впливають викиди підприємств Східної і Північно-східної промислових груп, до складу яких входить Придніпровська ТЕС та ряд будівельних підприємств (Pavlov et al., 2000). Основними хімічними сполуками, що надходять із викидами в атмосферу, є диоксид сірки, оксиди азоту, оксид вуглецю, різноманітний пил, що містить важкі метали, леткі органічні сполуки, вуглеводні тощо (Emets, Serdyuk, 2003). Меншу дію ці підприємства спричиняють на насадження Севастопольського парку, оскільки він відділений від потоку аерополітантів будівлями житлового масиву Перемога 1–6. Парк ім. Ю. Гагаріна віддалений від великих промислових зон близько на 10 км. Контрольні рослини зростали у відносно чистій зоні – пгт Петриківка Дніпропетровської області.

Для оцінки функціонального стану рослин у парках міста за біохімічними показниками обрані такі види рослин: біота східна (*Biota orientalis* Endl.), клен гостролистий (*Acer platanoides* L.), липа серцелиста (*Tilia cordata* Mill.) та робінія звичайна (*Robinia pseudoacacia* L.). Для аналізу відбирали 2–3-й листок від основи пагонів поточного року з південно-східного боку модельних дерев на висоті 2 м.

Інтенсивність вільнорадикального окиснення у листках визначали за вмістом малонового діальдегіду (Musienko et al., 2001), вміст проліну – за модифікованою методикою (Shikhalyeyeva et al., 2014). Результати експерименту оброблені статистично. Дані в таблицях наведено як середнє арифметичне та стандартна помилка (SE). Перевірку на нормальність

розподілу проведено методом розрахунку асиметрії та ексцесу. Для оцінки достовірності відмінності між вибірками застосовано критерій Стюдента.

Результати та їх обговорення

Вміст малонового діальдегіду в листках всіх досліджуваних видів рослин різниться в залежності від їх місцезростання. Найменший він у рослин заміського парку (табл. 1).

Таблиця 1. Вміст малонового діальдегіду в листках деревних рослин парків м. Дніпро, мкмоль/г сирової маси

Парк	Червень	t _d	Липень	t _d
<i>Tilia cordata</i> Mill.				
Контроль	5,82±0,24	-	6,23±0,27	-
Ю. Гагаріна	8,25±0,32	6,07	8,42±0,32	5,34
Л. Глоби	12,48±0,50	12,10	16,90±0,77	13,17
В. Дубиніна	8,70±0,36	6,69	11,65±0,52	9,34
Пам'яті та Примирення	14,56±0,60	13,65	22,63±1,08	14,77
Молодіжний	16,13±0,70	13,93	21,77±1,01	14,87
Севастопольський	9,15±0,20	10,67	12,49±0,30	15,56
Б. Хмельницького	10,43±0,25	13,32	13,45±0,26	19,51
Т.Г. Шевченка	11,65±0,21	18,33	15,12±0,22	25,54
<i>Acer platanoides</i> L.				
Контроль	6,62±0,30	-	7,06±0,30	-
Ю. Гагаріна	9,25±0,41	5,26	9,72±0,38	5,54
Л. Глоби	15,41±0,67	11,97	17,14±0,79	11,92
В. Дубиніна	10,40±0,46	6,87	11,59±0,50	7,81
Пам'яті та Примирення	19,88±0,87	14,41	25,89±1,15	15,85
Молодіжний	18,11±0,80	13,51	23,12±1,11	13,96
Севастопольський	11,65±0,26	12,47	12,68±0,28	13,70
Б. Хмельницького	12,29±0,30	13,50	13,45±0,50	11,01
Т.Г. Шевченка	13,38±0,32	15,43	15,36±0,30	19,76
<i>Robinia pseudoacacia</i> L.				
Контроль	4,34±0,17	-	5,40±0,25	-
Ю. Гагаріна	6,47±0,25	7,10	6,03±0,28*	1,70
Л. Глоби	8,53±0,32	11,63	9,89±0,42	9,20
В. Дубиніна	7,49±0,30	9,26	7,11±0,30	4,38
Пам'яті та Примирення	9,43±0,40	11,83	11,69±0,47	11,86
Молодіжний	8,74±0,38	10,57	12,93±0,55	12,55
Севастопольський	6,09±0,14	7,54	7,46±0,16	7,10
Б. Хмельницького	6,65±0,30	6,79	8,83±0,40	7,29
Т.Г. Шевченка	7,70±0,12	16,80	9,12±0,19	11,85
<i>Biota orientalis</i> Endl.				
Контроль	4,29±0,20	-	6,12±0,27	-
Ю. Гагаріна	5,55±0,19	4,66	7,39±0,28	3,34
Л. Глоби	9,56±0,40	11,79	12,29±0,51	10,82
В. Дубиніна	6,75±0,30	6,83	8,58±0,40	5,12
Пам'яті та Примирення	11,24±0,46	13,90	19,29±0,32	31,50
Молодіжний	12,20±0,37	18,83	18,17±0,34	28,02
Севастопольський	7,47±0,15	12,72	9,10±0,21	8,76
Б. Хмельницького	8,10±0,16	14,88	9,13±0,21	8,85
Т.Г. Шевченка	8,83±0,15	18,16	10,75±0,13	15,48

Примітка. * – різниця між контрольним і дослідним варіантами недостовірна на 95%-му рівні ймовірності

Його кількість коливається від 4,34 мкмоль/г сирової маси у робінії звичайної в червні до 7,06 мкмоль/г у клена гостролистого у липні. Слід вказати, що на початку експерименту (червень) вміст малонового альдегіду менший, порівняно з липнем. Не спостерігається суттєвої різниці між вмістом цієї речовини в листках рослин робінії звичайної, які зростали у парку ім. Ю. Гагаріна і на контрольній ділянці (пгт Петриківка) у липні. У всіх інших випадках різниця між дослідними і контрольним варіантами статистично достовірна на 95%-му рівні ймовірності.

Найбільші показники концентрації діальдегіду стосовно контрольних значень визначені у парку Пам'яті та Примирення і Молодіжному. Ці парки знаходяться в сфері дії емісій Західного промислового комплексу, який характеризується розвинутою промисловістю. Істотніший рівень накопичення продуктів перекисного окиснення ліпідів, порівняно з фоновими значеннями, встановлено в цих парках у рослин липи серцелистої і клена гостролистого (363,24 і 349,43 % та 366,71 і 327,48 % у липні місяці, відповідно). Дещо менший він, але все рівно достатньо високий, порівняно з іншими

моніторинговими ділянками, у робінії звичайної та біоти східної. Високі значення відносно інших паркових об'єктів також виявлені у рослин парку ім. Л. Глоби – 271,26; 242,77; 183,15 та 200,81 % відносно контролю у липи серцелистої, клена гостролистого, робінії звичайної та біоти східної відповідно у липні місяці, у червні дещо менші – 214,43; 232,78; 196,54 і 199,53 %. Наступними за ступенем накопичення маленового діальдегіду в листках рослин парками слід вказати парки ім. Т.Г. Шевченка, Б. Хмельницького і Севастопольський. У останніх двох парках ступінь зростання інтенсивності вільнорадикальних процесів у листках близька за своїми значеннями (рис. 1).

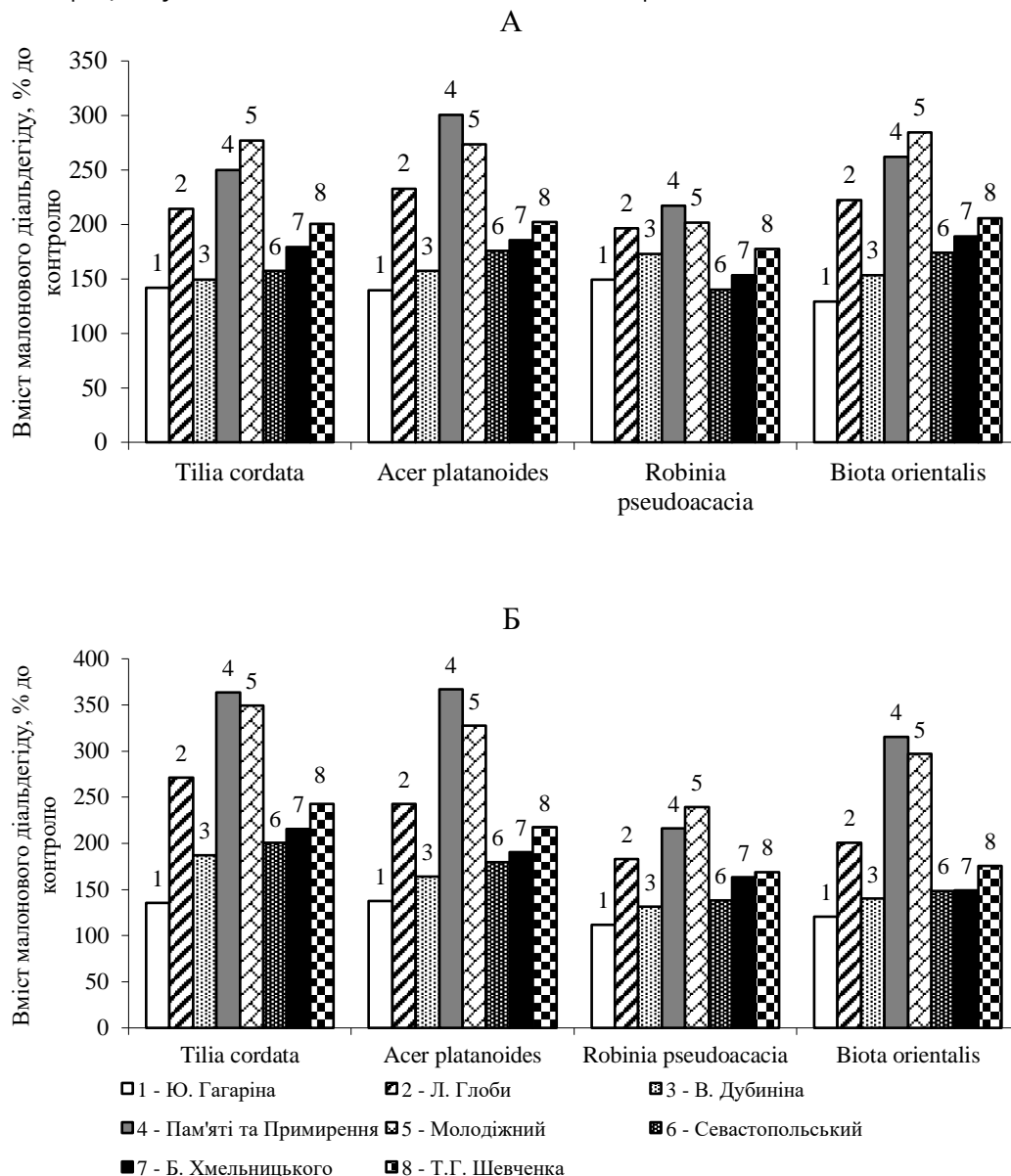


Рис. 1. Вміст маленового діальдегіду в асиміляційних органах деревних рослин парків м. Дніпро:
А – червень, Б – липень

Найменша кількість цієї речовини накопичується у листках деревних рослин парків ім. Ю. Гагаріна у всі строки експерименту, перевищення контрольних значень коливається від 11,66 % у біоти східної в липні місяці до 35,15 % у липи серцелистої у цей же період.

Отже, у міських парках інтенсивність вільнорадикального окиснення у листках всіх індикаторних видів рослин більша, ніж у заміському. Найгірший функціональний стан за цим показником виявлено у парках Молодіжному і Пам'яті та Примирення, в яких листки досліджених об'єктів мають найвищий рівень маленового діальдегіду. Далі в ряду зменшення цього показника розташовується парк ім. Л. Глоби. Нижчі показники інтенсивності вільнорадикального окиснення виявлені у листках дерев парків ім. Т.Г. Шевченка, Б. Хмельницького і Севастопольському, хоча різниця в показниках у досліджуваних видів у цих парках невелика, особливо у робінії звичайної.

Вміст проліну в листках модельних дерев досліджуваних міських парків вищий, ніж у листках контрольних об'єктів, за виключенням кількості цієї сполуки у листках клена гостролистого у парку ім. В. Дубиніна у червні місяці та біоти східної у парку ім. Ю. Гагаріна протягом всього експерименту. У середньому перевищення кількості цієї сполуки стосовно контрольних показників коливається від 118,86 до 585,77 % щодо фонових значень (табл. 2). Вміст цієї амінокислоти в листках залежить від ступеня забруднення атмосферного повітря. Найбільша вона у дерев парків Пам'яті та Примирення і Молодіжному (рис. 2), які розташовані в сфері дії емісії Західного промислового вузла міста. Тут

спостерігаються періодичні перевищення ГДК ряду сполук (SO₂, NO₂, пил, важкі метали, формальдегід тощо), особливо у парку Пам'яті та Примирення.

Таблиця 2. Вміст проліну в листках рослин парків, мг%

Парк	Червень	t _d	Липень	t _d
<i>Tilia cordata</i> Mill.				
Контроль	11,61±0,34	-	13,10±0,45	-
Ю. Гагаріна	14,51±0,51	4,75	15,72±0,32	4,76
Л. Глоби	32,11±1,01	19,25	38,22±1,50	16,04
В. Дубиніна	13,80±0,39	4,21	18,96±0,54	8,37
Пам'яті та Примирення	42,86±1,86	16,53	45,86±1,88	16,97
Молодіжний	39,81±1,41	19,44	42,73±2,04	14,24
Севастопольський	16,95±0,70	6,93	19,25±0,46	9,60
Б. Хмельницького	15,67±0,58	6,06	18,14±0,66	6,32
Т.Г. Шевченка	22,34±0,81	12,19	25,16±1,03	10,72
<i>Acer platanoides</i> L.				
Контроль	9,37±0,26	-	10,11±0,40	-
Ю. Гагаріна	13,39±0,45	7,73	15,17±0,35	9,55
Л. Глоби	22,40±0,81	15,32	26,48±1,01	15,07
В. Дубиніна	10,04±0,33*	1,59	14,11±0,50	6,25
Пам'яті та Примирення	35,57±1,11	22,98	39,42±1,60	17,77
Молодіжний	30,12±1,37	14,92	34,16±1,49	15,59
Севастопольський	14,48±0,52	8,81	16,18±0,60	8,43
Б. Хмельницького	17,27±0,51	13,85	17,96±0,54	11,72
Т.Г. Шевченка	19,41±0,67	14,14	23,15±1,01	12,00
<i>Robinia pseudoacacia</i> L.				
Контроль	10,42±0,33	-	11,32±0,46	-
Ю. Гагаріна	19,31±0,80	10,21	20,14±1,00	8,02
Л. Глоби	39,82±1,83	15,80	42,37±2,04	14,85
В. Дубиніна	17,44±0,66	9,49	24,25±1,12	10,68
Пам'яті та Примирення	53,16±2,40	17,66	66,31±3,15	17,29
Молодіжний	49,28±2,33	16,53	56,25±2,71	16,33
Севастопольський	25,17±0,97	14,46	29,24±1,33	12,73
Б. Хмельницького	21,32±0,88	11,59	24,30±1,11	10,81
Т.Г. Шевченка	28,50±1,14	15,19	31,60±1,39	13,89
<i>Biota orientalis</i> Endl.				
Контроль	8,27±0,31	-	8,90±0,26	-
Ю. Гагаріна	9,83±0,34*	3,39	9,86±0,39*	2,08
Л. Глоби	15,78±0,61	10,97	18,79±0,83	11,36
В. Дубиніна	10,14±0,40	3,69	11,12±0,40	4,72
Пам'яті та Примирення	22,15±0,94	14,03	25,33±1,11	14,41
Молодіжний	20,99±1,04	11,30	24,15±1,09	13,61
Севастопольський	11,00±0,30	6,34	12,68±0,50	7,07
Б. Хмельницького	13,10±0,45	8,84	13,61±0,52	8,12
Т.Г. Шевченка	15,02±0,60	10,00	15,48±0,61	9,96

Примітка. * – різниця між контрольним і дослідним варіантами недостовірна на 95%-му рівні вірогідності

Найменша різниця порівняно з фоновими значеннями виявлена у листках дерев парків ім. Ю. Гагаріна та В. Дубиніна в залежності від виду рослини. Високі значення кількості проліну стосовно контролю виявлені у листках дослідних рослин у парку ім. Л. Глоби, менші – у парку ім. Т.Г. Шевченка (від 181,62 до 382,15 % в червні та від 173,93 до 374,29 % в липні у різних тест-об'єктах). У парках ім. Б. Хмельницького і Севастопольському ці цифри дорівнюють від 133,01 до 241,55 % та від 138,47 до 258,30 %, відповідно. Отже, за погіршенням функціонального стану рослин, який оцінювали за збільшенням вмісту проліну в листках рослинних об'єктів відносно контрольних показників, парки можна ранжувати наступним чином: Ю. Гагаріна < В. Дубиніна ≤ Б. Хмельницького ≤ Севастопольський < Т.Г. Шевченка < Л. Глоби < Молодіжний ≤ Пам'яті та Примирення.

Порівняння реакції досліджуваних видів на стан довкілля за зміною вмісту проліну у листках свідчить про найсуттєвіші відмінності у вмісті проліну стосовно контролю у робінії звичайної (рис. 2). Кількість амінокислоти у цього виду щодо контрольних значень складає у липні 585,77 %, у червні 510,17 % у парку Пам'яті та Примирення, 177,91 й 185,32 % у парку ім. Ю. Гагаріна. У клена гостролистого ці цифри становлять 389,91 і 379,61 % та 150,04 і 142,90 %, у біоти східної – 284,60 і 267,83 % та 110,78 і 118,86 %, відповідно. У липи серцелистої і клена гостролистого визначені показники зростання вмісту проліну стосовно контролю близькі у ряді парків. За показниками росту, стану асиміляційного апарату робінії звичайна – це найбільш стійкий вид серед досліджених (Bessonova, Ivanchenko, 2013). Отже, за рівнем

перевищення вмісту проліну у листках відносно контролю досліджені види можна ранжувати наступним чином: робінія звичайна > липа серцелиста ≥ клен гостролистий > біота східна.

Як видно з табл. 2 в кінці липня кількість амінокислоти в листках досліджених рослин, як і малонового діальдегіду, переважно більша, ніж у червні. Можливо, це пов'язано з тим, що фізіологічний стан листків погіршується у зв'язку з синергізмом у дії техногенних чинників, високих температур повітря і нестачею вологи у ґрунті у липні, порівняно з червнем.

Слід відзначити, що згідно літературним даним у стресових умовах вміст проліну може зростати в десятки разів (Liang et al., 2013). Стрес-індуковане накопичення проліну в рослинних об'єктах мультифункціонально діє на клітинний метаболізм, сприяє адаптації до неблагоприємних умов, захищаючи від інактивації білки, ДНК, деякі ферменти, виступаючи як стабілізатор макромолекул і мембран, додатковим джерелом енергії і азоту, антиоксидантом (Kuznetsov, Shevyakova, 1999; Kolupaev, Karpets, 2010). За цих умов пролін, крім протекторного ефекту, вносить вклад у підтримку внутрішньоклітинного осмотичного потенціалу (Csonka, Hanson, 1991), а також приймає участь у підтримці фізичного стану ДНК і в регуляції експресії різних груп генів (Iyer, Caplan, 1998; Rajendrakumar et al., 1997).

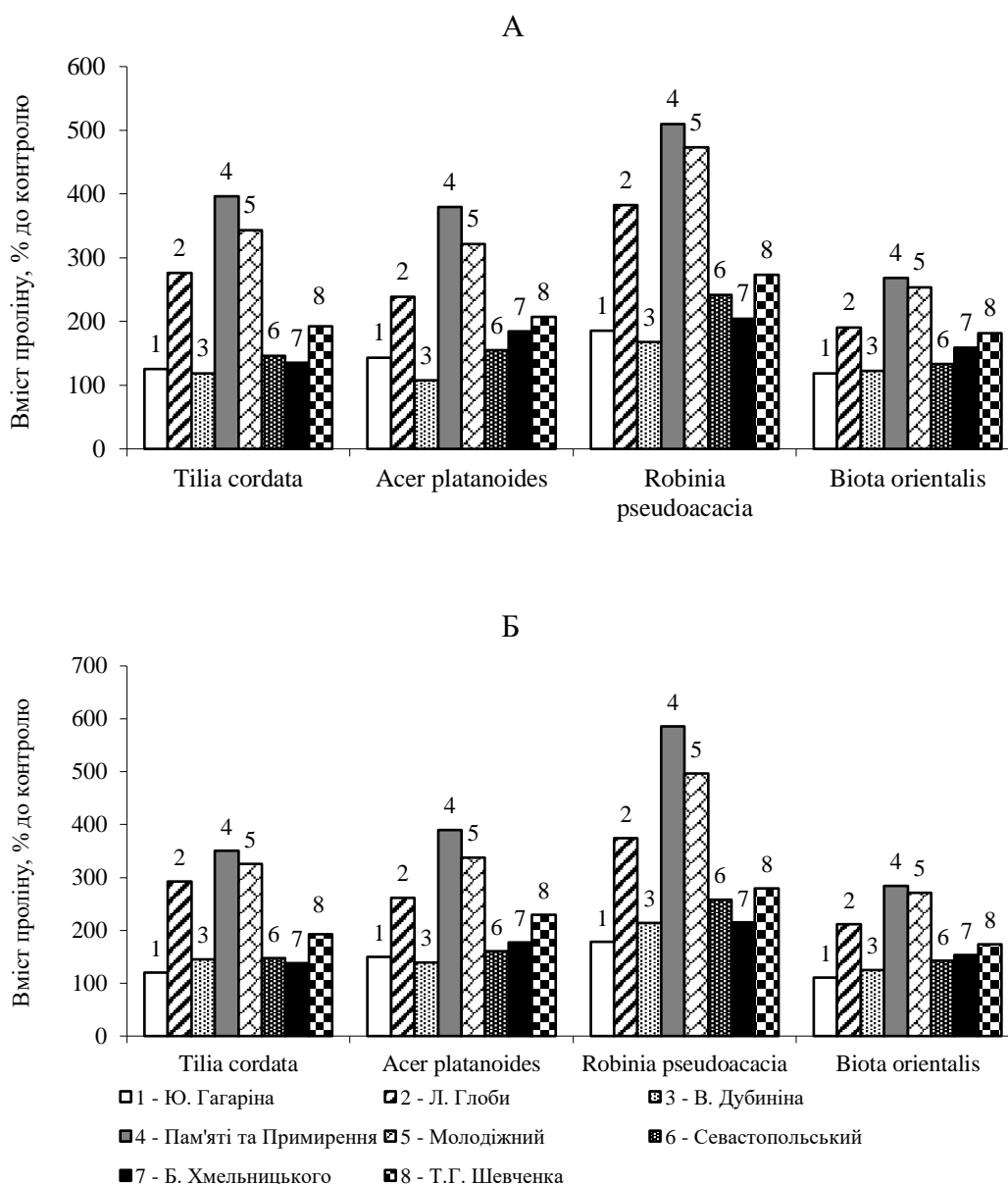


Рис. 2. Кількість проліну у листках деревних рослин парків м. Дніпро, % до контролю:
А – червень, Б – липень

У міру формування довготривалих спеціалізованих механізмів адаптації і переходу стресорного метаболізму в новий адаптивний стан, концентрація вільного проліну досягає свого максимального значення (Kuznetsov, Shevyakova, 1999). В роботі В.Б. Любімова та О.А. Логачевої (2014) за постійного впливу викидів автотранспорту на декоративні чагарники кількість цієї амінокислоти в листках зростала в 9,2 разів порівняно з замиськими насадженнями. Відзначають, що рівень проліну дуже добре корелює з опором продихів (Klein, Itai, 1989), при цьому він пригнічує їх відкриття тільки частково, але в широкому діапазоні концентрацій (Rajagopal, 1981). Можна припустити, що один з механізмів стійкості рослин до

антропогенного забруднення пов'язаний зі здатністю рослин переключати метаболізм на синтез проліну, оскільки відомо, що стійкість видів залежить від здатності регулювати ступінь відкриття продихів (Ilkun, 1971; Nikolaevskiy, 1979). Таким чином, накопичення проліну в листках може бути одним із факторів підвищення стійкості в умовах впливу на рослини антропогенних факторів, інтенсивність дії яких відрізняється у різних парках і по різному проявляється у вивчаємих рослинних об'єктах, в залежності від ступеня їх толерантності до забруднення довкілля.

Деякі автори вважають, що зміни у вмісті вільного проліну – біохімічний показник ступеня забрудненості природного середовища (Bessonova et al., 1995; Ivanov et al., 2007). Це ж відноситься і до активності вільнорадикального окиснення (Bessonova, Lyzhenko, 1990; Korshikov et al., 1995). Отже, на підставі отриманих даних змін вмісту проліну й малонового діальдегіду у листках деревних рослин парків, розташованих в умовах різного техногенного навантаження, можна судити не тільки про рівень адаптаційних реакцій, функціональний стан, але й про комфортність екологічних умов у зелених зонах відпочинку з точки зору якості атмосферного повітря.

Висновки

За інтенсивністю вільнорадикального окиснення та ступенем збільшення вмісту проліну у листках модельних дерев найкращим функціональним станом характеризуються рослини у парках ім. Ю. Гагаріна та В. Дубиніна. Гірша оцінка надана рослинам парку ім. Б. Хмельницького, Севастопольського парку та парку ім. Т.Г. Шевченка. Рівень перевищення кількості малонового діальдегіду в листках обраних нами тест-об'єктів стосовно контрольних значень у двох перших парках близький за значеннями, хоча надати однозначної відповіді на те, у якому з цих парків більший вміст проліну в листках стосовно контролю, неможливо. Наступним у ряду погіршення функціонального стану рослин за досліджуваними індикаторними показниками є парк ім. Л. Глоби. Особливо значні зміни кількості малонового діальдегіду та проліну відбуваються в листках рослин у парках Пам'яті та Примирення, а також Молодіжному парку, що свідчить про найсуттєвіші негативні хронічні впливи чинників довкілля на рослини саме в цих насадженнях і на необхідність розробки та впровадження системи заходів щодо оптимізації стану рослин.

References

- Anbazhagan, M., Krishnamurthy, R., Bhagwat, K.A. (1988). Proline: an enigmatic indicator of air pollution tolerance in rice cultivars. *J. Plant Physiol.*, 133, 122–123.
- Asada, K. (1980). Formation and scavenging of superoxide in chloroplasts with relation to injury by sulfur dioxide. *Res. Rep. Inst. Env. Stud.*, 11, 165–169.
- Bessonova, V.P., Ivanchenko, O.E. (2013). The scale of stability ornamental woody plants to the components of emissions of ferrous metallurgy factory. In *Plants and urbanization. Dnipropetrovsk* (in Ukrainian).
- Bessonova, V.P., Lyzhenko, I.I. (1990). Peroxide oxidation of lipids in vegetative and generative organs of plants – an indicator of environmental contamination with heavy metals. In *Ecological problems of wildlife protection. Moscow* (in Russian).
- Bessonova, V.P. (2006). Effect of heavy metals on photosynthesis of plants. *Dnipropetrovsk* (in Russian).
- Bessonova, V.P., Fendyur, L.M., Peresipkina, T.N. (1995). Influence of aerogenic pollution of the environment on the content of proline in the leaves of ornamental flower plants. *Ukr. Botan. J.*, 52(6), 839–845 (in Ukrainian).
- Bezuglaya, E.Yu., Rastorguev, G.P., Smirnova, I.V. (1991). What an industrial city breathes. *Leningrad* (in Russian).
- Birukova, Z.P. (1986). Free proline as an indicator of the physiological state of *Pinus sylvestris*. *Plant Physiology*, 33(5), 1027–1030 (in Russian).
- Csonka, L.N., Hanson, A.D. (1991). Prokaryotic osmoregulation: genetics and physiology. *Annual Rev. Microbiol.*, 45, 569–606.
- Gnativ, P.S. (2014). Functional diagnostic of dendroecology. *Lviv* (in Ukrainian).
- Grishko, V.N., Sisichikov, D.M. (2000). The processes of lipid peroxidation of some antioxidant enzyme systems in maize under the influence of HF. In *Reports of the National Academy of Sciences of Ukraine*, 2, 191–195 (in Russian).
- Halliwell, B., Huttering, J.M.C. (1984). Oxygen toxicity, oxygen radicals, transition metals and disease. *Biochem. J.*, 219(1), 1–14.
- Ilkun, G.M. (1971). Gas resistance of plants. *Kiev* (in Russian).
- Ivanchenko, O.E. (2005). The change in the content of free amino acids in vegetative organs of flower plants is a marker of phytotoxic concentrations of iron and chromium. In *Ecological studies in industrial regions of Ukraine. Dnipropetrovsk* (in Ukrainian).
- Ivanov, A.I., Statcenko, A.P., Konkina, E.E., Sergeeva O.V., Tuzilova L.I. (2007). Free proline – biochemical indicator of the degree of chemical pollution of the natural environment. In *Natural resource potential, ecology and stability development of Russian regions. Penza* (in Russian).
- Iyer, S., Caplan, A. (1998). Products of proline catabolism can induce osmotically regulated genes in rice. *Plant Physiol.*, 116, 203–211.
- Karpets, Yu.V., Kolupaev, Yu.Ye. (2009). Responses of plants on heating: molecular-cellular aspects. *The Bulletin of Kharkiv National Agrarian University. Series Biology*, 1(16), 19–38 (in Russian).
- Klein, A., Itai, C. (1989). Is proline involved in stomata regulation of *Comelina communis* plants recovering from salinity stress. *Physiologia Plantarum*, 75(3), 399–404.
- Klump, G., Guderian, R., Kuppers, K. (1989). Peroxidase and superoxiddismutase – aktivital sowie Prolingehalte von Fichtennadeln nach Belastung mit O₃, SO₂ und NO₂. *Ibid.*, 19(2), 84–97.

- Kolupaev, Yu.Ye., Karpets, Yu.V. (2010). Participation of soluble carbohydrates and low-molecular nitrogen compounds in adaptive reactions of plants. The Bulletin of Kharkiv National Agrarian University. Series Biology, 2(20), 36–53 (in Russian).
- Korshikov, I.I., Kotov, V.S., Michienko, I.P., Ignatenko, A.A., Chernisheva, L.V. (1995). Interaction of plants with anthropogenic environment. Stability, phytoindication, optimization. Kiev (in Russian).
- Kuznetsov, V.I., Shevjakova N.I. (1999). Proline under stress: biological role, metabolism, regulation. Plant Physiology, 46(2), 321–336 (in Russian).
- Liang, X., Zhang, L., Natarajan, S.K., Becker, D.F. (2013). Proline mechanisms of stress survival. Antioxid. Redox Signal., 19, 998–1011.
- Lubimov, V.B., Logacheva, E.A. (2014). Assessment of the degree of stability of ornamental bushes on the accumulation of free proline in the vegetative organs. In Fundamental research. Biological sciences. 8–7, 1591–1594 (in Russian).
- Lutsyshyn, O.G., Radchenko, V.G., Palapa, N.V., Yavorovskiy, P.P. (2010). Macromorphological changes of reaction-answer of vegetable organisms in the street arboreal plantations of the Kyiv megapolis at stressful levels of technogenic pollution. In Reports of the National Academy of Sciences of Ukraine. 6, 180–187 (in Ukrainian).
- Musienko, M.M., Parshikova, T.V., Slavniy, P.S. (2001). Spectrophotometric methods in the practice of physiology, biochemistry and ecology of plants. Kiev (in Ukrainian).
- Nikolaevskiy, V.S. (1979). Biological basis of gas resistance of plants. Novosibirsk (in Russian).
- Palfi, G., Bito, M., Palfi, Z. (1973). Free proline and water deficit in plant tissues. Plant Physiology, 20(2), 233–235 (in Russian).
- Parpan, V.I., Mylenka, M.M. (2009). Morphophysiological characteristics of *Populus pyramidalis* Roz. under the conditions of urbanization and anthropogenic impact on the environment. Ecology and Noospherology, 20(3–4), 84–90 (in Ukrainian).
- Pavlov, V.A., Peremetchik, N.N., Kolotenko, V.P., Shevchenko, B.E. (2000). Ecological passport of Dnipropetrovsk city. Dnipropetrovsk (in Russian).
- Radchenko, V.G., Lutsyshyn, O.G., Palapa, N.V., Yavorovskiy, P.P., Kolomiets, N.V., Koval'ova, O.M., Teslenko, I.K. (2010). Functional status of buck-eye (*Aesculus hippocastanum* L.) under conditions of anthropogenic pollution of Kyiv environment. Ecology and Noospherology, 21(1–2), 4–18 (in Ukrainian).
- Radukina, N.L., Shashukova, A.V., Shevjakova, N.I., Kuznetsov, V.I. (2008). The participation of proline in the system of antioxidant protection in sage under the action of NaCl and pyroquate. Plant Physiology, 55(5), 721–730 (in Russian).
- Rajagopal, V. (1981). The influence of exogenous proline on the stomata resistance in *Vicia faba*. Physiol. Plant., 52, 292–296.
- Rajendrakumar, C.S.V., Suryanarayana, T., Reddy, A.B. (1997). DNA Helix Destabilization by Proline and Betaine – possible role in the salinity tolerance process. F E B S Lett., 410, 201–205.
- Sairan, R.K., Srivastava, G.C. (2000). Induction of oxidative stress and antioxidant activity by hydrogen peroxide treatment in tolerant and susceptible wheat genotypes. Biol. Plant., 43, 381–386.
- Saradhi, P.P., Arora, S., Prasad, V.V. (1995). Proline accumulation in plants exposed to UV radiation protects them against induced peroxidation. Biochem. Biophys. Res. Commun., 290, 1–5.
- Shevjakova, N.I. (1983). Metabolism and physiological role of proline in water and salt stress. Plant Physiology, 30(4), 768–769 (in Russian).
- Shihalyeyeva, G.N., Budnyak, A.K., Shihalyeyev, I.I., Ivaschenko, O.L. (2014). A modified method for determination of proline in plants. The Journal of V.N. Karazin Kharkiv National University. Series: biology, 21(11–12), 168–172 (in Russian).
- Slepih, V.V. (2009). Phytoncidal and ionizing properties of arboreal vegetation. Kislovodsk (in Russian).
- Soshinkova, T.N., Radyukina, N.L., Korolkova, D.V., Nosov, A.V. (2013). Proline and functioning of the antioxidant system in *Theilungiella salsuginea* plants and cultured cells subjected to oxidative stress. Plant Physiology, 60(1), 47–60 (in Russian).
- Volodarez, S.A. (2012). Phytoncide activity of deciduous trees and shrubs in urban environment. Problems of bioindications and ecology, 17(1), 95–100 (in Ukrainian).
- Yakubov, H.G., Ananyev, P.B. (1998). Sanitary and hygienic significance of green plantations in a city. In Ecology of the big city: Almanac, 3, 124–130 (in Russian).
- Yemets, N.A., Serdyuk, Ya.Ya. (2003). Assessment of the Dnepropetrovsk city territory state regarding to the level of air basin contamination, Ecology and Nature Management, 6, 200–207 (in Ukrainian).

Citation:

Bessonova, V.P., Ivanchenko, O.E. (2017). Free radical oxidation and proline content as indicators of urban tree vitality (the case of Dnipro city parks, Ukraine). *Ukrainian Journal of Ecology*, 7(3), 146–153.



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0. License