

## АНАЛІЗ ЧУТЛИВОСТІ ПИЛКУ РОСЛИН *CANNA L.* В УМОВАХ АЕРОТЕХНОГЕННОГО ПРЕСИНГУ

Мазура М.Ю., Лещенюк О.М., Тесленко І.К., Юрчук М.І.  
ДУ «Інститут еволюційної екології Національної академії наук України»  
вул. академіка Лебедєва, 37, 03143, м. Київ  
[marinamazura1978@gmail.com](mailto:marinamazura1978@gmail.com)

У статті викладено вплив аеротехногенного навантаження на життєздатність пилку рослин *Canna L.* (на тест-полігонах із різною інтенсивністю руху транспорту й наближеністю до потужних підприємств промислового міста Кривий Ріг). У процесі роботи виявлено, що забруднення природного середовища приводить до запуску механізмів адаптації, які забезпечують функціонування рослин в умовах урбанізації. Встановлено, що на території гірничо-збагачувальних комбінатів досліджувані рослини катни продемонстрували чітку залежність життєвого потенціалу пилку стосовно фонового рівня забруднення, де рівень стерильності становив від 71,7 до 77,2%. Водночас простежується тенденція невеликого збільшення продукції абортивного пилку в межах 3,9–4,6% у порівнянні з контролем на тест-полігоні під час забруднення автотранспортом. Лише по вул. Карбишева такий показник залишався на рівні спонтанно індукованих значень, що пов'язано з віддаленістю його від промислової зони й міської дороги з інтенсивним рухом транспорту. Під час розрахунку палінотоксичного ефекту провели ранжування за коефіцієнтом стерильності пилку. Виявлено ефективний вміст токсичних концентрацій на тест-полігонах № 1 і № 2 промислової зони, на яких величина палінотоксичності спостерігалась у межах 30% (сорт “The President”) і близько 18% (сорт «Отблеск Заката»). На тест-полігонах № 3 і № 4 встановлено ініціальний вміст поллютантів за показниками (ПЕ, %), які були в межах 3–7% досліджуваних рослин. Виявлено, що найінформативнішими показниками чутливості пилку рослин катни щодо різного рівня забруднення повітря є відсоток стерильності пилку й коефіцієнт чутливості (Кчп) на відміну від інших, тому вони можуть бути рекомендовані для використання в системі екологічного моніторингу навколишнього середовища з різним ступенем техногенного навантаження. *Ключові слова:* Кривий Ріг, тест-полігон, забруднення, палінотоксичний ефект, пилко, сорти катни.

### **Sensitivity analysis pollen of *Canna L.* plants under anthropogenic pressure. Mazura M., Leshcheniuk O., Teslenko I., Yurchuk M.**

The article examines the impact of anthropogenic load on the viability of *Canna L.* plant pollen (on test sites with different traffic intensity and proximity to powerful industrial enterprises). In the course of work it is established that pollution of the natural environment leads to the launch of some adaptation mechanisms that ensure the functioning of plants in urban conditions. It was found that at the test sites on the territory of mining and processing plants of the studied canna plants showed a clear dependence of pollen life potential on the background level of contamination, the level of sterility ranged from 71.7 to 77.2%. At the same time, there is a tendency of a small increase in sterile pollen at the test site in case of aerogenic pollution by vehicles, in the range of 3.9–4.6% compared to the control. Only at the test site on the street. Karbysheva, this figure remained at the level of spontaneously induced values, apparently, this is due to its remoteness from the industrial zone and urban roads with heavy traffic. When calculating the palinotoxic effect, ranked by the coefficient of sterility of pollen, the effective content of toxic concentrations at test sites was revealed № 1, 2, industrial zone, the magnitude of palinotoxicity was observed within 30% (sort “The President”) average value 18% (sort “Отблеск zakata”). At test sites № 3, 4 the initial content of pollutants is established, according to indicators (PE) 3–7% plants of cannes. The most informative indicators of the sensitivity of pollen of canna plants to different levels of air pollution were: the percentage of sterility of pollen and the coefficient of sensitivity in contrast to others, they can be used in environmental monitoring with different degrees of anthropogenic load. *Key words:* Kryvyi Rih, test site, pollution, palytotoxic effect, pollen, canna varieties.

**Постановка проблеми.** Важливою складовою сталого розвитку України є охорона навколишнього середовища та раціональне використання природних ресурсів, які підтримують екологічну рівновагу, сприяють відновленню передусім, біологічних ресурсів [18]. Натепер актуальним є питання протидії забрудненню та порушенню природного середовища, що пов'язане з антропогенним та техногенним впливом, насамперед, у містах – це забруднення атмосферного повітря через функціонування підприємств та автомобільного транспорту [16]. В умовах інтенсивного розвитку промислових центрів України зростає актуальність вивчення комплексного впливу антропогенного забруднення як одного з провідних факторів, що суттєво змінює функціонування фітоценозів урбанізованих екосистем [19].

**Актуальність дослідження.** Кривий Ріг є одним з найкрупніших промислових міст України з підвищеним техногенним навантаженням, що обумовлено наявністю різних галузей промисловості. Невід'ємною частиною урболандшафтів є фітоценози, саме рослини, перебуваючи в умовах експозиції таких територій, характеризуються рядом переваг при індикації біологічних систем. Такі рослини належать як до чутливих, так і до акумулятивних видів-індикаторів по відношенню до комплексу стресорів міського середовища [1; 6]. Їхня здатність адаптуватись до значних концентрацій фітотоксикантів залежить від видових особливостей здатності до біоаккумуляції та рівня техногенного навантаження на природне середовище [19]. В умовах антропопресингу у рослин порушуються процеси

життєдіяльності, в тому числі і ті, що пов'язані з розмноженням, тому об'єктами біомоніторингу можуть слугувати пилкові зерна. Квітничково-декоративні культури – облігатний і один з найвагоміших компонентів у зеленому будівництві промислового Кривого Рогу. З огляду на це, нами були розпочаті дослідження епігенетичної мінливості та адаптаційної здатності окремих видів і сортів роду *Canna* L. до вирощування в гетерогенних умовах Кривого Рогу та можливість їх використання як рослини-біоіндикатори для оцінки навколишнього середовища [11].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** На сьогодні є ціла низка вітчизняних і закордонних публікацій, які свідчать про можливість використання паліноіндикації як елементу системи моніторингу стану довкілля [20]. При таких дослідженнях важливо дотримання фундаментального принципу простоти аналізу індикації з використанням нескладних тестів, які дозволяють швидко оцінити екологічний стан територій [14; 15]. За даними досліджень таких науковців, як А.І. Горова, С.А. Риженко, Т.В. Скворцова, І.І. Клімкіна, А.В. Павліченко, М.О. Кліменко, які стверджують, що при застосуванні методу біоіндикації (дослідження пилку рослин-біоіндикаторів) у зоні впливу підприємств можна визначити рівень ушкодження, стан рослин-біоіндикаторів та категорію екологічної безпеки території [7; 8]. Дослідження, проведені різними авторами з використанням рослин: *Nicotiana tabacum* L., *Vicia cracca* L., *Tussilago farmara* L., *Plantago major* L., *Zea mays* L., *Pinus sylvestris* L., *Larix sibirica* Ledeb. та ін. показали, що в зоні впливу автомобільних доріг збільшується кількість стерильного пилку [4; 13; 14; 17]. Продемонстровано прямий зв'язок між рівнем забруднення навколишнього середовища і стерильністю пилку індикаторних рослин з утворенням великої кількості стерильного пилку Незважаючи на те, що серед рослин є чимало ефективних індикаторів, залишається актуальною проблема відбору інформативних фітоіндикаторів забруднення атмосферного повітря. Як свідчать проведенні нами дослідження, для оцінки стану техногенно-змінених територій цілком можливе використання рослин канни [9; 10; 11]. Встановлено, що високопаліночутливі сорти канни "Andenken an Vilgelm Pfitzer" та «Хамелеон» можна використовувати для індикації ступеня забруднення, а палінотолерантний сорт «Престиж» рекомендовано використовувати для озеленення урбоєкосистем [11]. У цьому контексті використання методів біоіндикації та пошук нових видів і сортів рослин-біоіндикаторів є доцільним.

**Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття.** Для Кривого Рогу велике значення має природоохоронна діяльність, спрямована на запобігання забрудненню навколишнього природного середовища. Це один з пріоритетів стратегії розвитку міста до 2025 року. За даними

підприємств міста викиди забруднюючих речовин у атмосферне повітря складають 266 тис. тон, з них на ПАТ «Центральний гірничо-збагачувальний комбінат» припадає 0,96%, на ПАТ «Північний гірничо-збагачувальний комбінат» – 2,55% [12]. Наразі доцільно використовувати опосередковані показники мутагенного впливу на тлі традиційних. До таких методів відносяться скринінг палінотоксичного ефекту шляхом визначення стерильності чоловічого гаметофіту [13]. В екологічно несприятливих умовах рослини продукують більшу кількість стерильних пилкових зерен, тому завдяки аналізу пилку можна проводити порівняльну оцінку рівня забруднення різних зон швидко, без застосування складного лабораторного обладнання.

**Формулювання мети статті.** У зв'язку з цим, метою нашої роботи є аналіз чутливості пилку, задіяних в озелененні міста Кривий Ріг, сортів канни до умов різного рівня забруднення атмосферного повітря та перспективність використання показників їх пилку для фітоіндикації довкілля.

**Методика дослідження.** Для виявлення чутливості пилку на мутагенну дію чинників повітря використано рівень стерильності двох сортів канни («Отблеск Заката» і «The President») на чотирьох тест-полігонах м. Кривий Ріг.

Першим етапом проведення екологічного моніторингу є вибір фонового (контрольного) та моніторингових тест-полігонів. Територія контрольного тест-полігону повинна бути екологічно чистою і мати сприятливі умови для рослин [2]. Тому для контролю обрано колекційну ділянку Криворізького ботанічного саду НАН України (далі – КБС). Дослідні полігони на території міста обирали в промислових зонах, у житлових масивах та зонах з інтенсивним транспортним рухом з різною концентрацією пилових опадів у повітрі (табл. 1). Тест-полігон № 1 – управління ПАТ «Центральний гірничо-збагачувальний комбінат»; № 2 – автоцех ПАТ «Північний гірничо-збагачувальний комбінат»; № 3 – квітничково-декоративне озеленення біля площі «Веселі Терни» з інтенсивним транспортним рухом (близько 950 одиниць за годину); № 4 – квітничкове оформлення вул. Карбишева, яка розташована вдалині від промислової зони та міської дороги з інтенсивним транспортним рухом.

Для дослідження пилок відбирали зі зрілих бутонів (на стадії завершення бутонізації) і переносили у краплю йодного розчину. Враховуючи, що фертильні і стерильні клітини пилку рослин відрізняються за вмістом крохмалю, якість пилку визначали йодним методом (фарбування за Грамом) [22]. Дослідження проводили за допомогою мікроскопу Olympus BX-51. Стерильність пилкових зерен визначали за формулою 1:

$$M = \frac{G}{N} \times 100\%, \quad (1)$$

Пилові опади на моніторингових тест-полігонах (г/м<sup>2</sup>)

Тест-полігони	Кількість пилових опадів (г/м <sup>2</sup> )					
	За добу			За рік		
	M ±m	V %	t <sub>st</sub>	M ±m	V %	t <sub>st</sub>
Контроль	0,19 ± 0,09	11,98	–	65,23 ± 6,35	10,25	–
№ 1	1,69 ± 0,27*	24,76	4,10	132,33 ± 12,30*	18,59	5,26
№ 2	2,01 ± 0,39*	15,64	2,41	147,10 ± 17,80*	22,97	3,61
№ 3	0,82 ± 0,16*	18,17	3,16	99,61 ± 19,04*	24,56	4,15
№ 4	0,24 ± 0,11	17,11	2,68	71,44 ± 9,32	16,49	3,12

Примітка: «\*» – статистично достовірна різниця до контролю  $p < 0,05$

де  $G$  – кількість стерильних пилових зерен;  $N$  – кількість досліджених пилових зерен. Потім знайшли помилку розрахунку за формулою 2:

$$m = \mp \sqrt{\frac{M^* (100 - M)}{N}}, \% \quad (2)$$

Коефіцієнт стерильності, який визначає у скільки разів частота індукованого рівня стерильності перевищує рівень спонтанної стерильності в контролі, розраховували за формулою 3:

$$K_{сп} = \frac{C_{рd}}{C_{к}} \quad (3)$$

де:  $K_{сп}$  – коефіцієнт стерильності пилку;  $C_{рd}$  – стерильність пилку в районі дослідження;  $C_{к}$  – стерильність пилку на контрольній території [3].

Коефіцієнт чутливості органів чоловічої репродукції до техногенного забруднення визначали за формулою 4:

$$K_{чп} = \frac{\Phi}{C} \quad (4)$$

де:  $K_{чп}$  – коефіцієнт чутливості органів чоловічої репродукції;  $\Phi$  – фертильні пилові зерна,  $C$  – стерильні пилові зерна [4].

Палінотоксичність техногенних забруднювачів навколишнього середовища з використанням репродуктивної системи рослин визначали за формулою 5:

$$PE = \frac{\Phi_0 - \Phi_x}{\Phi_0} * 100, \quad (5)$$

де:  $PE$  – палінотоксичний ефект,  $\Phi_0$  – інтенсивний показник величини спонтанної фертильності репродуктивної системи рослин контрольної зони,  $\Phi_x$  – інтенсивний показник величини індукованої фертильності рослин, що ростуть у фітотоксичному середовищі [5].

Проводили ранжування дослідних полігонів по класифікації  $EC_{10-90}$ : ініціальний (слаботоксичний), ефективний (середньо-токсичний) і сублетальний (високотоксичний) вміст токсичних концентрацій забруднювачів у вивчених районах – відповідно  $EC_{10}$ ,  $EC_{50}$ ,  $EC_{90}$ , при яких спостерігалася інгібування продукції фертильного пилку генеративними орга-

нами досліджених рослин 10, 50 і 90% у порівнянні з контролем, за отриманими результатами робили висновок про ступінь токсичності забруднюючих речовин техногенної зони. Отримані результати опрацьовували математично з використанням методів параметричної статистики на 95% рівні значущості [21].

**Виклад основного матеріалу.** За результатами дослідження виявлено різний відсоток безкромальних пилових зерен у рослин канни на всіх дослідних тест-полігонах м. Кривий Ріг. Встановлена чітка залежність стерильності пилку рослин сорту “The President” від рівня забруднення. Так на полігонах промислових зон, де рівень пилових опадів перевищує контроль у 8,9 разів (тест-полігон № 1) та у 10,5 разів (тест-полігон № 2), цей показник був найвищим (табл. 1, рис. 1) – 71,7% та 77,2% відповідно. Стерильність пилку у порівнянні з контролем збільшилася на 16,1–21,6%. Зростання рівня стерильності пилових зерен на вищезначених полігонах також зафіксовано у рослин сорту «Отблеск Заката» – на 8,4 та 9,8% відповідно. Виявлено, що між рослинами-біоіндикаторами на градієнті техногенного забруднення існують достовірні відмінності в продукції стерильного пилку.

Водночас простежується тенденція невеликого збільшення кількості абортивного пилку на тест-полігоні № 3 при забрудненні автотранспортом у рослин сорту “The President” на 3,9%, у рослин сорту «Отблеск Заката» на 4,6% у порівнянні з контролем.

Лише на тест-полігоні № 4 на вул. Карбишева, такий показник залишався на рівні спонтанно індукованих значень, що на нашу думку, пов'язано з віддаленістю його від промислової зони та міської дороги з інтенсивним рухом транспорту. Аналіз відсотку безкромальних пилових зерен досліджуваних сортів канни показав, що рослини сорту “The President” більш чутливі до забруднення повітря порівняно з рослинами «Отблеск Заката» (табл. 1).

Оскільки відсоток фертильного пилку у сортів канни у контрольному варіанті різниться, то для об'єктивного порівняння одержаних результатів доцільно використовувати коефіцієнт стерильності пилових зерен ( $K_{сп}$ ). Співставлення цієї вели-

чини у досліджених сортів канни свідчить про те, що найбільш чутливим до забруднення атмосферного повітря є пилок сорту "The President", так як у нього найвищі показники Ксп. Так, у зоні найбільшого забруднення (біля металургійних комбінатів з повним металургійним циклом) такий коефіцієнт у цього сорту становив 2,4 (тест-полігон № 1) та 2,8 (тест-полігон № 2), тоді як у рослин сорту «Отблеск Заката» – 1,6 та 1,7 відповідно (табл. 2).

На тест-полігоні № 3 з інтенсивним транспортним рухом Ксп у сорту "The President" в 2 рази зменшився, ніж поблизу промислових зон і становив 1,1, тоді як у сорту «Отблеск Заката» спостерігалось незначне зменшення цього показника – 1,1.

Визначення коефіцієнту чутливості пилку канни показало, що у рослин сорту "The President" на більш забруднених територіях, які розташовані біля гірничих підприємств м. Кривий Ріг, цей показник знизився у 2,0 та 2,6 разів порівняно з контролем і становив 0,3-0,4. У рослин сорту «Отблеск Заката» найбільше коефіцієнт чутливості зменшився у 1,5 рази на тест-полігоні № 2, де концентрація пилу у повітрі за добу була найвищою і становила  $2,0 \pm 0,39$  (г/м<sup>2</sup>) (табл. 1, 2). Аналізуючи отримані дані, можна констатувати, що ступінь чутливості пилку канни залежить від інтенсивності забруднення повітря.

За показниками палінотоксичного ефекту (ПЕ,%) згідно класифікації ЕС<sub>10-90</sub> тест-полігони № 1, № 2 віднесено до ефективного (середньо-токсичного),

Таблиця 2

## Чутливість пилових зерен рослин канни в різних умовах м. Кривий Ріг

Номер дослідної ділянки	Сорт «Отблеск Заката»				Сорт канни "The President"			
	Ксп	Кчп	ПЕ, %	ЕС <sub>10-90</sub>	Ксп	Кчп	ПЕ, %	ЕС <sub>10-90</sub>
Контроль	–	2,0	–	–	–	0,8	–	–
№ 1	1,6	1,4	15,3	ЕС <sub>50</sub>	2,4	0,4	31,8	ЕС <sub>50</sub>
№ 2	1,7	1,3	18,8	ЕС <sub>50</sub>	2,8	0,3	34,0	ЕС <sub>50</sub>
№ 3	1,1	1,6	6,7	ЕС <sub>10</sub>	1,1	0,7	5,9	ЕС <sub>10</sub>
№ 4	1,1	1,7	3,4	ЕС <sub>10</sub>	1,0	0,7	4,0	ЕС <sub>10</sub>

Примітка: Ксп – коефіцієнт стерильності пилку; Кчп – коефіцієнт чутливості органів чоловічої репродукції; ПЕ, % – палінотоксичний ефект; ЕС<sub>10-90</sub> – класифікація концентрацій забруднення: ЕС<sub>10</sub> ініціальний (слаботоксичний), ЕС<sub>50</sub> ефективний (середньотоксичний) і ЕС<sub>90</sub> сублетальний (високотоксичний)

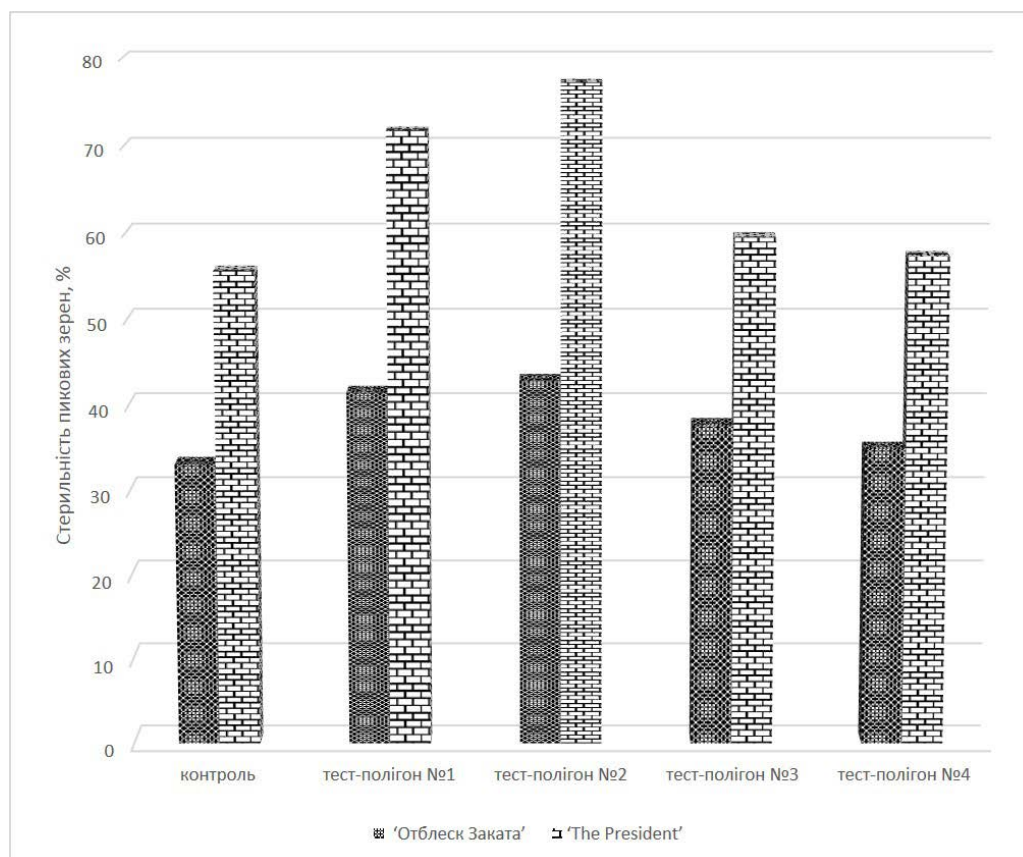


Рис. 1. Рівень стерильності пилку рослин канни в різних умовах забруднення м. Кривий Ріг

Таблиця 3

**Матриця чутливості пилку рослин *Canna L.* до концентрації пилу у повітрі на тест-полігонах м. Кривий Ріг (на прикладі сортів «Отблеск Заката», «The President»)**

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1											
2	0,71										
3	0,99	-0,66									
4	0,99	-0,94	0,99								
5	-0,90	0,34	-0,93	-0,92							
6	1,00	-0,88	0,99	0,98	-0,98						
7	0,75	-0,35	0,73	0,56	-0,75	0,71					
8	0,99	-0,68	0,96	0,95	-0,88	0,99	0,81				
9	0,98	-0,80	0,96	0,94	-1,00	0,99	0,74	1,00			
10	-0,99	0,67	-0,98	-0,97	0,90	-1,00	-0,78	-1,00	-1,00		
11	0,97	-0,80	0,96	0,95	-0,99	0,98	0,64	0,98	0,99	-0,99	

Примітка: 1 – концентрація пилових опадів у повітрі (г/м<sup>2</sup>); сорт «Отблеск Заката»: 2 – загальна кількість дослідженого пилку (шт.); 3 – стерильність пилку, %; 4 – коефіцієнт стерильності пилку; 5 – коефіцієнт чутливості пилку, 6 – палінотоксичний ефект, %; сорт «The President»: 7 – загальна кількість дослідженого пилку (шт.); 8 – стерильність пилку, %; 9 – коефіцієнт стерильності пилку; 10 – коефіцієнт чутливості пилку, 11 – палінотоксичний ефект, %

а № 3 та № 4 до ініціального (слаботоксичного) (табл. 2). Нами з'ясовано, що в зоні з повним металургійним циклом, забруднювачі виявляли токсичну дію на гаметогенез, що підтверджувалося продукуванням високого рівня стерильного пилку генеративними органами рослин-біоіндикаторів обох сортів канни.

Для об'єктивної оцінки рівня чутливості пилкових зерен (% стерильності) на градієнті забруднення атмосферного повітря (пилові опади) на тест-полігонах м. Кривий Ріг нами проведено парний кореляційний аналіз (табл. 3).

Встановлено високий рівень прямого кореляційного зв'язку між концентрацією пилових опадів у повітрі та відсотком стерильного пилку рослин-біоіндикаторів обох сортів канни ( $r = 0,75$  та  $0,99$ ). Крім того нами проведено парний кореляційний аналіз між вмістом пилових опадів у повітрі та коефіцієнтом чутливості досліджених фітоіндикаторів. Встановлено зворотній кореляційний зв'язок високого рівня ( $r = -0,90$  та  $-0,99$ ) між коефіцієнтом чутливості у рослин обох сортів «Отблеск Заката» та «The President» до концентрації пилу у повітрі.

Отже, проведені дослідження показали доцільність використання чутливості пилку рослин-біоіндикаторів за показниками стерильності для діагностики рівня забруднення атмосферного повітря. Для отримання комплексної оцінки екологічного стану урботехногенних екосистем, окрім прийнятого переліку видів-індикаторів, доцільно залучати сорти квітничково-декоративних рослин, зокрема, канни, як вагомого компонента оцінки техногенного навантаження на біогеоценоз.

**Висновки.** Пилок сортів *Canna L.* є чутливими до градієнту різного рівня забруднення повітря в умовах урбоєкосистеми, тому доцільно залучати сорти канни для отримання комплексної оцінки екологічного стану територій з інтенсивним техногенним навантаженням.

**Перспективи використання результатів дослідження.** Вважаємо за необхідне подальше дослідження декоративних рослин урбанізованих територій з метою визначення показників, які є найбільш показовими при визначенні рівня забруднення повітря та екологічного моніторингу довкілля.

### Література

1. Юрчак Л.Д., Заїменко Н.В., Мороз П.А., Рахметов Д.Б., Корабльова О.А., Юношева О.П., Гнатюк Н.О. Екологічна роль біорізноманіття в культурних фітоценозах. *Агроекологічний журнал*. 2009. Вип. 1. С. 46–52.
2. Ханнанова О.Р., Арканова А.А. Біоіндикаційна оцінка стану атмосферного повітря Полтавського міського парку. *Біологія та екологія*. 2017. Том 3 (1–2). С. 69–75.
3. Корнелюк Н.М., Конякін С.М. Особливості сезонного накопичення мікроелементів (Cu, Pb, Zn, Cd) фітомасою рослин техногенно трансформованих екоотопів (на прикладі м. Черкаси). *Екологічні науки*. 2020. Вип. 1 (28). С. 335–343.
4. Парпан В.І., Миленька М.М. Методологічні аспекти оцінки екологічного стану урбанізованих і техногенно змінених територій. *Вісник Дніпропетровського університету. Біологія. Екологія*. 2010. Вип. 18 (2). С. 61–68.
5. Морозова Т.В., Хрутьба В.О., Кобзиста О.П. Скринінг паліноморфологічного та палінотоксичного ефекту автотранспортних емісій. *Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки»*. 2019. Вип. 1 (43). С. 116–126.

6. Матяшук Р.К., Мазура М.Ю., Ткаченко І.В. Стан пилку канни в умовах урбанізованих територій. *Вісник харківського національного аграрного університету. Серія «Біологія»*. 2014. Вип. 3 (33). С. 43–51.
7. Гришко В.М., Комарова І.О. Біоіндикація атмосферного забруднення за реакцією пилкових зерен *Taraxacum officinale* F.H.Wigg (на прикладі м. Кривий Ріг). *Science Rise. Біологічні науки*. 2016. Вип. 5/1 (22). С. 15–20.
8. Бессонова В.П., Бессонов В.М., Зверковський В.М. Оцінка стану пилку деревних рослин в урбатехногенній екосистемі. *Питання біоіндикації та екології*. 2013. Вип. 18 (1). С. 3–17.
9. Muller M., Guttenberg H., Grill D. Die Anwendung der „Cytogenetischen Bioindication“ zur Fruherkennung von Vegetationsschadens in der Steiermark. *Mitt. Naturwiss. Ver. Steiermark*. 1991. В. 121. S. 43–50.
10. Баршевська І.М. Розповсюдження рослин-біоіндикаторів на території зони впливу ПАТ «Волинь-цемент». *Вісник Національного університету водного господарства та природокористування. Серія «Сільськогосподарські науки»*. 2013. Вип. 2 (62). С. 103–110.
11. Кліменко М.О., Хомич Н.Р. Екологічна оцінка території міста Рівне за цитогенетичними фітопоказниками. *Вісник Запорізького національного університету*. 2008. Вип. 2. С. 84–88.
12. Григорук І.Д., Оптасюк О.М. Аналіз стерильності пилку деревних рослин в умовах міста Кам'янець-Подільський. *Біологічні системи*. 2018. Т. 10. Вип. 2. С. 145–150.
13. Ибрагимова Е.Е. Палиноморфологическая и палинотоксическая оценка аэрогенного загрязнения в урбоэкосистемах. *Самарский научный вестник*. 2015. № 2 (10). С. 83–86.
14. Барабаш О.В. Оцінка рівня забруднення атмосферного повітря методом дендроіндикації. *Екологічні науки*. 2019. № 4 (27). С. 102–107.
15. Матяшук Р.К., Белкіна М.Ю., Зубкова Н.В. Мінливість росту і розвитку канни залежно від умов вирощування. *Бюл. Гос. Никит. ботан. сада*. 2010. Вип. 102. С. 65–71.
16. Матяшук Р.К., Белкіна М.Ю. Адаптаційна мінливість розвитку канни в різних умовах вирощування. *Наукові, прикладні та освітні аспекти фізіології, генетики, біотехнології рослин і мікроорганізмів* : матеріали XI наукової конференції, м. Київ, 22–24 червня 2010 р. С. 224–226.
17. Основні підприємства-забруднювачі атмосферного повітря. *Офіційний вебпортал міста Кривого Рогу* : вебсайт. URL: <https://krmisto.gov.ua/ua/ecology/airpollutants.html>.
18. Горова А.І., Грунтова В.Ю., Павличенко А.В. Про можливість використання цитогенетичних методів біоіндикації при виборі контрольних територій в системі екомоніторингу. *Науковий вісник Чернівецького університету*. 2008. Вип. 416. С. 3–8.
19. Паушева З.П. Практикум по цитологии растений. Москва : Колос, 1980. 300 с.
20. Швець Л.С. Біоіндикація інтенсивності забруднення довкілля за показниками фертильності зерен різних рослин. *Досягнення біології та медицини*. 2011. Вип. 1 (17). С. 41–44.
21. Спосіб визначення палинотоксичності техногенних хімічних забруднювачів навколишнього середовища : пат. 32513 Україна : МПК (2006), G01N 1/100 / Д.В. Балічєва, Є.Є. Ібрагімова, Д.В. Емірова. № u200711625 ; заявл. 22.10.1007 ; опубл. 26.05.2008, Бюл. № 10.
22. Лакин Г.Ф. Биометрия. Москва : Высшая школа, 1990. 528 с.