

БІОІНДИКАЦІЯ ЕКОЛОГІЧНОГО СТРЕСУ НАВКОЛО ПІДПРИЄМСТВ ПРОМИСЛОВОГО ПТАХІВНИЦТВА

О.В. Тертична¹, В.К. Шинкаренко², В.О. Пінчук¹,
О.П. Бригас¹, К.В. Коцовська¹

¹ Інститут агроекології і природокористування НААН

² Інститут проблем безпеки АЕС НАН України

*Досліджено стерильність зерен пилку індикаторних рослин (деревій звичайний — *Achillea submillefolium* Клок. та чистотіл великий — *Chelidonium majus* L.) навколо двох підприємств промислового птахівництва. Встановлено, що територія екологічного стресу довкола цих підприємств за своїми розмірами більша ніж на порядок перевищує розміри санітарно-захисної зони. Виявлено, що використання пилку чистотілу як фітоіндикатора несприятливих екологічних чинників забезпечує вищу чутливість порівняно з пилком деревію. Висловлено припущення про переважачу роль аерозольних часток порівняно з газовою фазою викиду у збільшенні кількості стерильних пилових зерен навколо підприємств промислового птахівництва.*

Ключові слова: промислове птахівництво, біоіндикація, стерильний пилок, атмосферне забруднення, аміак, діоксид азоту, діоксид сірки.

Однією з глобальних проблем, що постає перед людством, є зміни навколишнього природного середовища під впливом дедалі більших антропогенних навантажень. Серед дієвих інструментів дослідження цих змін особливу роль відіграють методи біоіндикації — оцінки стану довкілля за станом біоти у природних умовах. Ці методи дають змогу діагностувати негативні зміни в навколишньому природному середовищі за низьких концентрацій забруднювальних речовин, до того ж їхньою перевагою над фізико-хімічними методами є інтегральний характер відповідних реакцій організмів [1, 2]. Так, ще майже 100 років тому американський вчений Ф. Клементс [3] відзначав, що кожна рослина або рослинне угруповання є найкращим мірилом умов, у яких зростає.

В умовах конкретних екотопів для виявлення територій, що зазнали антропогенного впливу, актуальними залишаються дослідження реакції рослин-біоіндикаторів. Важливе значення для розв'язання цієї проблеми має проведення натурних біоін-

дикаційних досліджень та пошук чутливих і доступних рослин-індикаторів.

На особливу увагу заслуговує проблема впливу антропогенних чинників на спадковий апарат та репродуктивну здатність рослин. Нині не залишилось жодних сумнівів, що репродуктивні структури, і насамперед чоловічий гаметофіт, є найбільш чутливими до дії токсичних інгредієнтів. Це проявляється в збільшенні стерильності пилових зерен та у зниженні їх фертильності. Під впливом несприятливих чинників спостерігається морфологічна різноякісність пилових зерен, утворення зморщених, зруйнованих, гігантських зерен, що слугує показником токсичного та мутагенного впливу [3, 5].

З огляду на інтенсивний розвиток бройлерного та яєчного птахівництва, постає проблема оцінки впливу діяльності (викиди у повітря приземного шару та забруднення прилеглих територій) на стан природних екосистем.

Метою досліджень було встановлення зони екологічного стресу на територіях поблизу виробництва продукції птахівництва з використанням фітоіндикації методом цитогенетичного тестування.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Дослідження проводили у зонах розташування бройлерного підприємства ТОВ «Комплекс Агромарс» (Агромарс) (Київська обл., Вишгородський р-н, с. Гаврилівка) та ВАТ «Птахофабрика Київська» (ПФК) з виробництва харчових яєць (м. Київ, просп. Броварський, 44-А). Ці птахофабрики є репрезентативними модельними підприємствами для проведення досліджень щодо екологічного оцінювання впливу промислового птахівництва на стан навколишнього природного середовища [4].

Поблизу кожного з підприємств були виділені три дослідні ділянки на відстані 150, 500 і 2000 м від центру санітарно-захисної зони (СЗЗ) птахофабрики. Для вимірювання концентрації газів у повітрі дослідні ділянки розміщувалися лінійно за напрямком вітру, для проведення біоіндикації — за напрямком переважаючих вітрів. Контрольними слугували ділянки з ідентичними ґрунтово-кліматичними умовами, що не зазнавали антропогенного впливу (на відстані 10 км від птаховиробництва), у протилежному напрямку від дослідних ділянок.

Концентрації аміаку (NH₃), діоксидів азоту (NO₂) та сірки (SO₂), сірководню (H₂S) визначали на обраних ділянках за допомогою газоаналізаторів 604-342ЭХ07-02, 604-645ЭХ03-02, 604-667ЭХ05-02 та 604-666ЭХ17-02 відповідно до інструкції з експлуатації приладів.

Як тест-об'єкти були вибрані такі рослини: деревій звичайний (*Achillea submillefolium* Klok.) та чистотіл великий (*Chelidonium majus* L.). Відбір квітів рослин-біоіндикаторів та вимірювання концентрацій газів-забруднювачів здійснювали у червні — липні.

Токсичність і потенційну мутагенність повітря на дослідних ділянках визначали згідно з тестом [7].

Статистичний аналіз одержаних даних проводили за допомогою пакета Statistica-8.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Основні результати визначень частки стерильного пилку, а також дані результатів *t*-тесту Стьюдента з визначення достовірності відмінностей між двома вибраними рослинами наведено в табл. 1.

На обох об'єктах щодо деревію спостерігаються вищі рівні стерильного пилку

Таблиця 1

Середні значення частки стерильного пилку та результати *t*-тесту Стьюдента з визначення достовірності відмінностей між двома експериментальними рослинами

Відстань від об'єкта, м	Середні значення частки стерильного пилку, %		Достовірність відмінностей, %	Відносне перевищення $\frac{2(D - Ч)}{D + Ч} \cdot 100, \%$
	Чистотіл (Ч)	Деревій (Д)		
<i>ПФК</i>				
150	17,7	19,7	100	10,7
500	12,4	13,4	99,8	7,8
2000	7,54	12,3	100	48,0
10000	4,80	5,84	99,7	19,5
<i>Агромарс</i>				
150	19,4	21,0	99,4	7,9
500	17,0	19,4	100	13,2
2000	8,2	12,2	100	39,2
10000	4,37	4,66	56,6	6,4

порівняно з чистотілом, і лише відповідні показники з точки контролю на 10-кілометровій відстані від Агромарсу є ідентичними, тобто для одних і тих самих умов екологічного стресу деревій має вищу чутливість як засіб біотестування. Максимальне відносне перевищення частки стерильного пилку деревію над чистотілом спостерігається на відстані 2000 м від обох об'єктів.

Результати порівняння частки стерильного пилку для однакових рослин поблизу різних об'єктів наведено в табл. 2.

Щодо чистотілу, зафіксовано достовірне перевищення частки стерильного пилку поблизу Агромарсу і недостовірну різницю в контрольній (фоновій) точці; щодо деревію, поблизу Агромарсу також відзначено достовірне перевищення цього показника, але вже на відстані 2000 м різниця є недостовірною; достовірне перевищення для контрольної точки спостерігається поблизу ПФК. Така відмінність може бути обумовлена вищою чутливістю пилку деревію та висунутим припущенням про деякі відмінності в розподілі твердих забруднювальних

частинок — поблизу цих двох об'єктів, про що йтиметься нижче.

Упродовж 2015–2016 рр. у повітрі поблизу точок відбору проб пилку були виміряні концентрації чотирьох газів — аміаку (NH₃), діоксидів азоту (NO₂) та сірки (SO₂), сірководню (H₂S). Середні концентрації перших трьох газів наведено в табл. 3, сірководень на межі чутливості було зафіксовано лише на відстані 150 м від об'єкта, що дало підстави виключити його із подальшого розгляду.

Порівняння даних (табл. 2 і 3) свідчить, що значні відмінності у концентраціях газів поблизу двох підприємств не супроводжуються відповідними змінами частки стерильного пилку. Так, незважаючи на те, що середня концентрація аміаку поблизу СЗЗ ПФК більш ніж у 30 разів перевищувала його концентрацію поблизу СЗЗ Агромарсу, частка стерильного пилку обох рослин-індикаторів навколо ПФК була меншою. Майже 5-кратне перевищення діоксиду сірки поблизу СЗЗ Агромарсу супроводжується незначним (у 1,06 раза — для чистотілу і в 1,1 раза — для

Таблиця 2

Середні значення частки стерильного пилку та результати *t*-тесту Стьюдента з визначення достовірності відмінностей між двома експериментальними об'єктами

Відстань від об'єкта, м	Середні значення частки стерильного пилку, %		Достовірність відмінностей, %	Відносне перевищення $\frac{2[(2)-(1)]}{(2)+(1)} \cdot 100, \%$
	ПФК (1)	Агромарс (2)		
<i>Чистотіл великий</i>				
150	17,7	19,4	98,1	9,6
500	12,4	17,0	100,0	37,1
2000	7,54	8,2	99,4	8,8
10000	4,80	4,37	75,7	-9,0
<i>Деревій звичайний</i>				
150	19,7	21,0	97,0	6,6
500	13,4	19,4	100,0	44,8
2000	12,3	12,2	18,2	-0,8
10000	5,8	4,7	99,8	-19,0

Середні перевищення над рівнем фону концентрацій газів

Показник	Концентрація газів у повітрі, мг/м ³					
	ПФК			Агромарс		
	150 м	500 м	2000 м	150 м	500 м	2000 м
NH ₃	1,66	1,24	0,61	0,051	0,017	0,013
NO ₂	0,128	0,032	0,03	0,129	0,047	0,043
SO ₂	0,06	0,024	0,034	0,282	0,11	0,018

деревію) ростом частки стерильного пилку. Зрештою, ці самі відмінності відповідають фактично тотожним рівням діоксиду азоту. На більших відстанях від епіцентру викиду кореляцій між концентрацією досліджуванних газів і часткою стерильного пилку також не спостерігалось. Отже, зміни частки стерильного пилку поблизу підприємств птахівництва не є наслідком забруднення повітря вказаними газами. До повітряного потоку під час виробництва птахопродукції потрапляє низка інших речовин, здебільшого у вигляді твердих дрібнодисперсних часток. Оскільки швидкість випадіння пилових часток залежить від їх розмірів, це додатково ускладнює виявлення розподілу випадіння на прилеглий до птахофабрики території.

З віддаленням від стаціонарного джерела забруднення концентрація аерополітанту в повітрі знижується внаслідок його розбавлення у дедалі більших об'ємах і залежить від низки чинників — напрямку і сили вітру, стану атмосфери, рельєфу земної поверхні, висоти викидів, їх властивостей. У разі постійних викидів середній за тривалий період часу чинник розбавлення на рівні земної поверхні матиме такий вигляд:

$$G = \frac{2\eta}{(2\pi)^{3/2} x} \sum_j \frac{\omega_j F_j}{\sigma_{z,j} \bar{u}_j} \exp\left[-\frac{h^2}{2\sigma_{z,j}^2}\right], \quad (1)$$

де x — відстань до джерела викиду, η — протяжність рози вітрів, h — висота джерела викиду над поверхнею землі; індексом j позначено характерні для j -ї категорії стійкості атмосфери величини: ω_j — повторю-

ваність j -ї категорії за час дії викиду, F_j — функція виснаження хмари (зменшення концентрації завдяки хімічним реакціям у атмосфері внаслідок радіоактивних розпадів, випадіння частинок під дією сили тяжіння, вимивання дощем тощо), \bar{u}_j — середня для j -ї погодної категорії швидкість вітру, $\sigma_{z,j}$ — стандартне відхилення розподілу домішки з висотою за j -х погодних умов.

Остання величина характеризується монотонним зростанням з віддаленням від джерела викиду. В основі цієї моделі лежить Гаусова модель атмосферної дифузії. Зауважимо, що для газоподібних домішок функція виснаження за відсутності реакцій у атмосфері і вимивання опадами може бути прийнята за одиницю. Тобто газові викиди за цих умов можна розглядати як своєрідні трасери шлейфа викиду.

Провести подібні розрахунки неможливо через відсутність відповідних даних. Спробуємо уніфікувати експериментальні дані за допомогою функції, що має плавну вершину. Однією з таких функцій є функція Лоренца:

$$Z(x) = A \cdot \frac{H^2}{x^2 + H^2}, \quad (2)$$

де A — амплітудне значення в центрі розподілу, x — відстань від точки спостереження до джерела викиду, H — півширина на половині висоти, тобто висота від джерела викиду, на якій концентрація знижується вдвічі. Незважаючи на значні дисперсії вимірюваних значень, залежність концентрацій газів від відстані до підприємства можна сповна описати наведеною функцією (2).

Зауважимо, що оптимальною функцією апроксимації визнано ту, коефіцієнт кореляції якої з експериментальними точками є найвищим (рис. 1). Але це зовсім не означає, що така функція описує дійсний закон розподілу, насправді — це лише деяке наближення до такого закону. Апроксимацію також не можна поширювати за межі експериментальних точок. Так, ми не можемо стверджувати, що концентрація газів на території самого підприємства відповідає знайденому максимуму розподілу, це предмет окремого дослідження [8].

Так, значення півширин розподілу Н для різних газів є подібними, що особливо чітко спостерігається на прикладі бройлерного виробництва (табл. 4). Більші відхилення напрямків вітру від лінії розташування точок відбору проб навколо ПФК (яєчне виробництво) засвідчили про істотне розширення профілів кривих розподілу.

Частка стерильності пилку, на відміну від концентрації газів, є інтегральним показником. Неприятливі чинники впливали на рослину впродовж тривалого

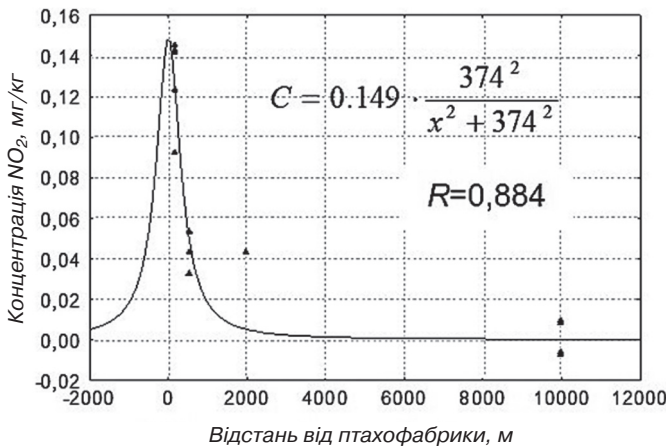


Рис. 1. Апроксимація функцією Лоренца залежності концентрації діоксиду азоту від відстані в умовах бройлерного виробництва (Агромарс)

часу — до моменту формування пилку, що зумовило усереднення впливу коливань концентрацій поліутантів. Виявилось, що розподіл частки стерильного пилку з віддаленням від птахофабрики теж можна доволі повно описати за допомогою функції Лоренца. Апроксимація кривої на прикладі бройлерного виробництва (Агромарс) демонструє вищу чутливість пилку деревію порівняно з чистотилом (рис. 2). Зауважимо, що на рівень фону

Таблиця 4

Значення коефіцієнтів функції Лоренца для концентрації газів навколо експериментальних підприємств

Показник	A*, мг/м ³	H**, м	k***
<i>Агромарс</i>			
Аміак (NH ₃)	0,0615	333	16,3
Діоксид азоту (NO ₂)	0,149	374	6,72
Діоксид сірки (SO ₂)	0,332	353	3,01
<i>ПФК</i>			
Аміак (NH ₃)	1,55	1480	0,64
Діоксид азоту (NO ₂)	0,174	250	5,76
Діоксид сірки (SO ₂)	0,044	3026	22,8

Примітка: * — амплітудне значення в центрі розподілу; ** — півширина на половині висоти; *** — нормувальний множник, A* k = 1.

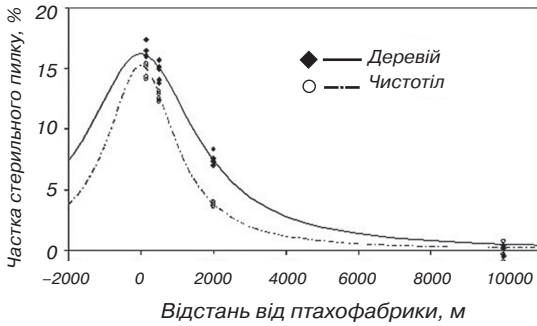


Рис. 2. Зміна частки стерильного пилку з віддаленням від птахофабрики та її наближення функцією Лоренца в умовах бройлерного виробництва (Агромарс)

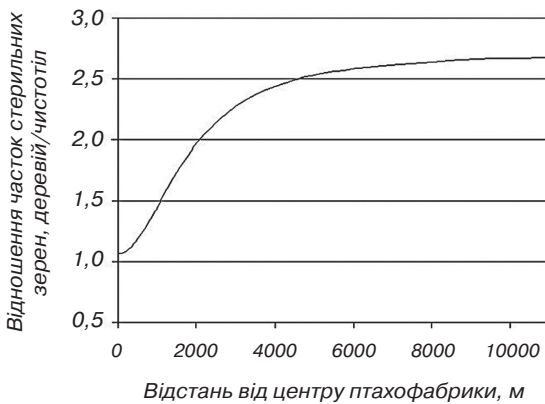


Рис. 3. Порівняння реакцій деревію та чистотілу на несприятливі умови відповідно до наближення значень функції Лоренца

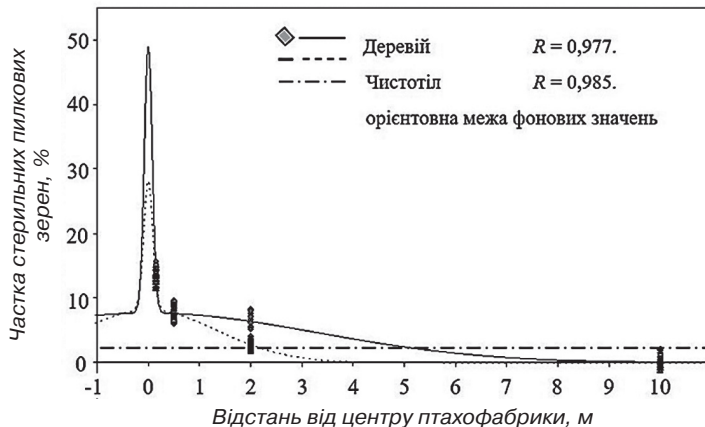


Рис. 4. Частка стерильних пилкових зерен, наближення експериментальних даних сумою двох функцій в умовах підприємства з виробництва харчових яєць (ПФК)

обидві криві виходять на відстані 5–8 км від птахогосподарства.

Більша чутливість чистотілу до несприятливих умов чіткіше проявляється за низьких рівнів забруднення, натомість за високих — ефективність реєстрації несприятливих умов в обох рослин майже вирівнюється (рис. 3).

Наближення коефіцієнта функцією Лоренца для частки стерильного пилку на прикладі підприємства з виробництва харчових яєць (ПФК) свідчить про значне погіршення екологічного стану навколишнього природного середовища, оскільки різке відхилення експериментальних точок біля центральної частини (рис. 4) не відповідає вказаній залежності. Але і у цьому разі залежність можна цілком описати сумою двох функцій, одна з яких ілюструє стрімке зростання значень біля центру кривої. Це збільшення може бути зумовлено нерівномірним випадінням крупних пилових часток поблизу виробництва, що свідчить на користь гіпотези про вплив на стерильність пилку саме пилової, а не газової складової викидів. Зауважимо, що така особливість розподілу аж ніяк не заперечує сформульованому нами висновку про вищу чутливість деревію. Так, на рівень коливань фону крива апроксимації деревію виходить на істотно більшій відстані від птахофабрики.

ВИСНОВКИ

Встановлено, що навколо підприємств птахівництва існує зона екологічного стресу, розміри якої більш ніж на порядок перевищують розміри СЗЗ. Пилок фітоіндикатора *Achillea submillefolium* Klok. має більш високу чутливість до токсикоко-мутагенного впливу повітря, ніж пилок *Chelidonium majus* L.

Концентрації газових викидів аміаку, діоксиду азоту та діоксиду сірки змінюються з віддаленням від птахофабрик за одним і

тим самим законом розподілу, близьким до функції Лоренца. Кожен із цих газів можна розглядати як маркер шлейфа викиду з птахофабрики.

Висловлено припущення, що збільшення частки стерильного пилку індикаторних рослин відбувається під впливом аерозольних пилових часток, викинутих за межі СЗЗ птахогосподарства. Розподіл частки стерильного пилку з віддаленням від птахофабрики теж можна описати за допомогою функції Лоренца.

ЛІТЕРАТУРА

1. Шуберт Р. Биоиндикация загрязнений наземных экосистем / Р. Шуберт. — М.: Мир, 1988. — 350 с.
2. Дідух П.Я. Основи біоіндикації / П.Я. Дідух. — К.: Наукова думка, 2012. — 344 с.
3. Clements F.E. Plant succession and indicators / F.E. Clements. — New York: Hafner Press, 1928. — 453 p.
4. Бессонова В.П. Состояние пыльцы как показатель загрязнения среды тяжелыми металлами / В.П. Бессонова // Экология. — 1992. — № 4. — С. 45–50.
5. Морфометрія пилових зерен берези бородавчастої як індикатор якості екостану / Т.В. Шевцова, К.Г. Гаркава, Я. Бриндза [та ін.] // Питання біоіндикації та екології. — 2014. — Вип. 19, № 2. — С. 121–138.
6. Волошин М.І. Обґрунтування вибору модельних птахопідприємств для екологічних досліджень / М.І. Волошин, О.В. Тертична, Л.І. Сваліячук // Агроекологічний журнал. — 2017. — № 3. — С. 116–122.
7. Горовая А.И. Цитогенетическая оценка мутагенного фона в промышленном Приднпровье / А.И. Горовая, В.М. Дигурко // Цитология и генетика. — 1995. — Т. 29, № 5. — С. 16–22.
8. Гусев Н.Г. Радиоактивные выбросы в биосфере: Справочник / Н.Г. Гусев, В.А. Беляев. — М.: Энергоатомиздат, 1991. — 256 с.

REFERENCES

1. Shubert, R. (1988). *Bioindikacija zagrjaznenij nazemnyh jekosistem [Bioindication of terrestrial ecosystem pollution]*. Moskva: Mir [in Russian].
2. Didukh, P.Ya. (2012). *Osnovy bioindykatsii [The basis of bioindication]*. Kyiv: Naukova dumka [in Ukrainian].
3. Clements, F.E. (1928). *Plant succession and indicators*. New York: Hafner Press [in English].
4. Bessonova, V.P. (1992). Sostojanie pyl'cy kak pokazatel' zagrjaznenija sredy tjazhelymi metallami [Pollen status as an indicator of environmental contamination with heavy metals]. *Ekologija — Ecology*, 4, 45–50 [in Russian].
5. Shevtsova, T.V., Harkava, K.H., Bryndza Ya. [et al.]. (2014). Morfometriia pylkovykh zeren berezy boro-davchastoї iak indykator iakosti ekostanu [Morphometry of pollen grains of birch birch as an indicator of ecostation quality]. *Pytannya bioindykatsiji ta ekolohiji — Bioindication and ecology questions*, 19, 2, 121–138 [in Ukrainian].
6. Voloshyn, M.I., Tertychna, O.V., Svaliachuk, L.I. (2017). Obgruntuvannia vyboru model'nykh pta-khopidpryemstv dlia ekolohichnykh doslidzhen' [Justification of the choice of model poultry enterprises for environmental researches]. *Ahroekolohichnyy zhurnal — Agroecological journal*, 3, 116–122 [in Ukrainian].
7. Gorovaja, A.I., Digurko, V.M. (1995). Citogeneticheska ja ocenka mutagenno go fona v promyshlennom Pridneprov'e [Cytogenetic evaluation of mutagenic background in industrial Dnieper]. *Tsitologija i genetika — Cytology and Genetics*, 29, 5, 16–22 [in Russian].
8. Gusev, N.G., Beljaev, V.A. (1991). *Radioaktivnye vybrosy v biosfere [Radioactive emissions in the biosphere]*. Moskva: Jenergoatomizdat [in Russian].