**ЗМІНА МОРФОМЕТРИЧНИХ ТА ФІЗІОЛОГО-БІОХІМІЧНИХ
ПОКАЗНИКІВ ГАЗОНОУТВОРЮЮЧИХ ТРАВ ЯК МЕХАНІЗМ
АДАПТАЦІЇ ДО ДІЇ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ**

Є. С. БОРОДАЙ, аспірант*

Ю. В. ЛИХОЛАТ, доктор біологічних наук

Дніпропетровський національний університет ім. Олеся Гончара

О. І. СЕРГА, кандидат біологічних наук

Київський національний університет імені Тараса Шевченка

І. П. ГРИГОРІЮК, доктор біологічних наук, професор, член-кореспондент НАН
України

Національний університет біоресурсів і природокористування України

О. В. СОКУР, студентка

Дніпропетровський національний університет ім. Олеся Гончара

E-mail: lykholat2006@ukr.net

***Анотація.** Досліджено фізіолого-біохімічні механізми адаптації газоноутворюючих видів, які найпридатніші для подальшого практичного застосування в умовах антропогенного забруднення. Установлено, що адаптивна здатність основних газонних видів рослин проявлялась у зміні біоморфологічних показників та підвищеній активності СОД.*

***Ключові слова:** промислове забруднення, важкі метали, газонні трави, антиоксидантний захист, механізми адаптації*

Нині однією із актуальних проблем є охорона, раціональне і збалансоване використання природних біоресурсів із метою створення штучних зелених насаджень в умовах екологічної рівноваги. Особливо важливим є дослідження типів і форм фізіологічної реакції й механізмів адаптації рослин до стресових чинників середовища [1, 7]. Актуальною є також оцінка ступеня стійкості рослин проти важких металів у міському урбанізованому середовищі [5, 3].

У зв'язку з цим, **метою дослідження** було визначення морфологічних і фізіолого-біохімічних показників, а також їх участі в формуванні механізмів адаптації видів газоноутворюючих трав до важких металів.

* Науковий керівник – доктор біологічних наук, професор Ю. В. Лихолат

Передбачалося вирішення наступних задач:

- визначити морфологічний статус газоноутворюючих трав за дії важких металів;
- виявити зміни активності ферменту антиоксидантного захисту супероксиддисмутази (СОД) в листках рослин в антропогенно змінених екологічних умовах;
- установити зв'язок між рівнем контамінації довкілля, зміною морфологічних показників та активністю СОД.

Матеріали і методи досліджень. Для вивчення впливу важких металів на морфологічні показники рослини вирощували на розчині Кнопа, який розбавляли дистильованою водою в співвідношенні 1:4, що містить 0,2 мМ іони Fe^{2+} , Mn^{2+} , Cu^{2+} , Zn^{2+} , Ni^{2+} , Pb^{2+} та Cd^{2+} . Контролем слугували рослини, вирощені на $\frac{1}{4}$ розчину Кнопа.

Об'єктами дослідження обрано газоноутворюючі трави, зокрема тонконіг стиснутий (*Poa compressa* L.) і кострицю валійську (вівсяницю, типчак) (*Festuca valesiaca* Gaud), які зростають на всій території України. Критерієм фізіологічної реакції дерновоутворюючих злакових рослин на дію важких металів (полютантів) були зміни біоморфологічних показників [10]. Активність ферменту СОД визначали за методом [11], а вміст важких металів атомно-абсорбційним методом в 9, 15 та 18-добових проростках [11] в чотириразовій повторності.

Математичну обробку експериментальних даних проводили за допомогою програми Microsoft Excel. Розраховували середнє арифметичне ($\bar{x}$), і дисперсію (σ^2), яку порівнювали за критерієм Фішера, а розбіжність між вибірками вважали значущою за $p \leq 0,05$.

Результати досліджень та їх обговорення. З'ясовано металакумулюючу здатність газоноутворюючих трав, які вирощені на розчинах важких металів у концентраціях 0,2 мМ. За умов порівняльної оцінки вмісту металів у надземній частині нами виявлено більшу вибіркиму накопичувальну здатність у рослин тонконога стиснутого (табл. 1).

1. Ступінь акумуляції вмісту важких металів у надземній частині газонуутворюючих трав, мкг/г*

Метал	Тонконіг стиснутий			Костриця валійська	
	Варіант	X ⁻	±m	X ⁻	±m
Zn	1	172,0	1,155	293,3	2,028
	2	454,3	2,603	512,0	4,619
Fe	1	872,3	1,202	875,3	2,906
	2	1725,0	8,660	1713,3	14,53
Cu	1	15,17	0,088	9,067	0,120
	2	31,40	0,458	19,167	0,080
Mn	1	19,18	0,101	25,33	0,882
	2	97,47	0,498	139,67	2,603
Ni	1	44,11	0,058	61,33	0,667
	2	183,53	0,926	106,33	1,856
Pb	1	1,663	0,019	1,033	0,009
	2	27,13	0,070	59,33	0,882
Cd	1	0,617	0,012	0,803	0,003
	2	12,50	0,198	2,107	0,007

Примітка: *- 1 – контроль, 2 – дослід.

Це пояснюється особливостями формування ростових показників рослин за дії солей важких металів.

2. Зміна морфологічних показників рослин тонконога стиснутого

Варіант	Довжина кореневої системи, см		Висота рослин, см	
	X	±m	X	±m
Контроль	8,86	0,10	13,33	0,56
Fe	4,48	0,06	8,03	0,11
Pb	3,52	0,04	7,40	0,11
Cd	3,85	0,04	6,57	0,07
Zn	3,63	0,06	8,33	0,07
Cu	4,28	0,14	6,99	0,12
Mn	4,35	0,03	9,55	0,06
Ni	4,41	0,04	6,40	0,03

Види рослин, які зростають на території промислового підприємства, характеризується специфічним набором морфофізіологічних ознак, модифікаційна мінливість яких визначає їх потенційні можливості в реалізації адаптивної норми [4]. В результаті проведеного морфометричного аналізу нами

виявлено, що під дією токсичних речовин у тонконога стиснутого висота зменшувалась до 28 %, а у костриці – 21 % (табл. 2). Довжина кореневої системи за дії солей важких металів достовірно знижувалась у обох видів рослин.

3. Зміна морфологічних показників рослин костриці валійської

Варіант	Довжина кореневої системи, см		Висота рослин, см	
	X	±m	X	±m
Контроль	5,94	0,05	7,96	0,07
Fe	4,24	0,05	5,88	0,08
Pb	5,18	0,04	6,89	0,09
Cd	2,38	0,06	5,84	0,09
Zn	4,99	0,08	6,76	0,08
Cu	2,47	0,05	5,85	0,12
Mn	4,61	0,07	7,15	0,05
Ni	2,43	0,04	6,08	0,12

Порівняльна оцінка змін морфологічних показників тонконога стиснутого і костриці валійської під дією солей важких металів показала гальмівну дію токсикантів (табл. 3). Це супроводжувалось значним зниженням приросту надземної і підземної маси рослин, порівняно з контролем.

Протягом експерименту прослідковувалась індивідуальна чутливість газоутворюючих трав до дії солей, підтвердженням якої слугують розраховані нами коефіцієнти кореляції між вмістом важких металів та ростовими показниками (табл. 4).

Максимальна активація СОД простежувалась за впливу іонів міді. Найвищі гальмівні властивості проявляли іони нікелю, марганцю і заліза, які пригнічували активність ферменту майже в 2 рази (табл. 5). Іони свинцю і кадмію також спричиняли зниження активності СОД в середньому на 40 %, а цинку не проявляли суттєвого впливу.

4. Коефіцієнти кореляції між вмістом важких металів та ростовими показниками дерноутворюючих трав за дії важких металів

Метали	Тонконіг стиснутий		Костриця валійська	
	Довжина кореневої системи, см	Висота рослин, см	Довжина кореневої системи, см	Висота рослин, см
Контроль				
Fe	0,25	0	0,25	0,75
Mn	0,75	0,25	1	1
Pb	0	-1	0,25	-1
Zn	1	0,25	0,25	0,25
Cu	0,75	0,25	1	0,25
Cd	0,25	0,25	0,75	0,75
Ni	0,75	0,25	0,25	0,25
Дослід				
Fe	0,23	-0,94	0,43	-0,88
Mn	0,37	0,14	0,77	0,14
Pb	-0,43	-0,66	-0,99	-0,31
Zn	-0,31	0,6	0,99	0,32
Cu	0,31	-0,54	-0,77	0,09
Cd	-0,08	0,54	-0,77	0,14
Ni	0,03	-0,43	1	0,09

5. Коливання активності ферменту СОД в листках дерновоутворюючих трав, що зростали на ¼ розчині Кнопа(1) і з додаванням солей важких металів, ум.од./г сирової речовини

Варіант	Тонконіг стиснутий		Костриця валійська	
	$\bar{X}$	$\pm m$	$\bar{X}$	$\pm m$
Контроль	9,23	0,69	7,35	0,03
Fe	5,85	0,45	9,65	0,003
Pb	6,89	0,34	10,06	0,03
Cd	6,37	0,57	11,56	0,03
Zn	9,62	0,34	9,18	0,009
Cu	10,92	0,60	10,20	0,003
Mn	5,07	0,23	4,50	0,003
Ni	4,29	0,45	4,85	0,05

Активність СОД в листках рослин костриці валійської суттєво зростала за дії міді, свинцю, кадмію і заліза, що, підтверджує наявність розвитку компенсаторних реакцій, які обмежують рівень вільно-радикальних процесів [8]. Марганець та нікель гальмували активність СОД, можливо, внаслідок індивідуальної видової чутливості до дії важких металів.

Стає очевидним, що дія токсикантів на рослини супроводжується посиленням вільнорадикальних процесів і відповідною реакцією антиоксидантної системи залежно від особливостей дії хімічного елементу. Так, СОД, яка гальмує реакцію супероксидзалежної пероксидації ліпідів, що обумовлює їх функцію як антиоксиданта, запобігає надмірному накопиченню первинних продуктів перекисного окиснення ліпідів і підтримує вільнорадикальні процеси на оптимальному рівні. Водночас, фермент забезпечує прооксидантно-антиоксидантний гомеостаз, тим часом його висока активність корелює з низькою швидкістю ПОЛ. Як нами було встановлено раніше, активність СОД в листках рослин гіркокаштана звичайного (*Aesculus hippocastanum* L.) і каштана їстівного (*Castanea sativa* Mill) залежить від рівня забруднення довкілля [9]. Зокрема, активність ферменту СОД перевищувала значення контрольних величин, починаючи з промислової зони. Різке зростання активності СОД в умовах слабого забруднення свідчить щодо меншого ступеня стійкості даного виду газоутворюючих трав проти важких металів, що необхідно враховувати в зеленому будівництві.

Висновки

1. Установлено вибіркову накопичувальну металакумулюючу здатність газонних трав, які зростали на розчинах важких металів в концентраціях 0,2 мМ залежно від видових особливостей. У рослин костриці валійської відзначено підвищений рівень нагромадження іонів свинцю, а тонконога стиснутого – нікелю, міді. Водночас у надземній частині даних видів рослин кількість іонів заліза і марганцю майже в 2 рази перевищувала контрольні показники.

2. Установлено зв'язок між рівнем контамінації довкілля і змінами морфологічних показників та активністю ферменту СОД у газоноутворюючих видів рослин.

3. Чутливість видів газоноутворюючих рослин до дії промислових забруднювачів проявлялась у зниженні приросту надземної і підземної частин порівняно з контролем, що є адаптивною реакцією.

4. Активність СОД в листках рослин тонконога стиснутого суттєво зростала за дії іонів міді, свинцю, кадмію і заліза, що підтверджує наявність розвитку компенсаторних реакцій, які обмежують рівень функціонування вільно-радикальних процесів. Марганець і нікель гальмують активність СОД, що пов'язано з видовими особливостями рослин.

5. Рослини костриці валійської стійкіші проти надлишкової дії міді і цинку, а тонконога стиснутого – міді, цинку, свинцю, кадмію та заліза.

6. Ступінь стійкості газоноутворюючих трав проти важких металів рекомендовано враховувати в озелененні промислових майданчиків.

Список літератури

1. Григорюк І. П. Технології вирощування і біорегуляція стійкості газонних рослин у міському урбанізованому середовищі / І. П. Григорюк, П. П. Яворовський, Ю. В. Лихолат. – К.: НУБіП України, 2014. – 223 с.

2. Заїко Г. А. Фізіологічні особливості стійкості основних представників квітучих газонів в умовах міського середовища / Г. А. Заїко, Ю. В. Лихолат // Вісник Дніпропетровського ун-ту. Серія Біологія. Екологія. – 2011. – 1, вип. 19. – С. 36–40.

3. Илькун Г. М. Загрязнители атмосферы и растения / Г. М. Илькун. – К.: Наук. думка, 1978. – 246 с.

4. Колупаев Ю. Е. Формирование адаптивных реакций растений на действие абиотических стрессоров / Ю. Е. Колупаев, Ю. В. Карпец – К.: Основа, 2010. – 352 с.

5. Взаимодействие растений с техногенно загрязненной средой. Устойчивость. Фитоиндикация. Оптимизация / [И. И. Коршиков, В. С. Котов, И. П. Михеенко и др]. – К.: Наук. думка, 1995. – 191с.

6. Лихолат Ю. В. *Poa pratensis* L. та *Poa angustifolia* L. в умовах техногенного забруднення / Ю. В. Лихолат, Л. П. Мицик // Мат. X з'їзду Укр. бот. товариства “Проблеми ботаніки і мікології на порозі третього тисячоліття”. – К. – Полтава, 1997. – С. 212.

7. Лихолат Ю. В. Використання дерноутворюючих трав для діагностики рівня забруднення навколишнього середовища важкими металами /

Ю. В. Лихолат, І. П. Григорюк // Доп. НАН України. – 2005. – № 8. – С. 196–200.

8. Лихолат Ю. В. Активність пероксидази та вміст хлорофілу як показники стійкості основних представників газонних трав в умовах степового Придніпров'я / Ю. В. Лихолат, Г. С. Россихіна-Галича // Питання біоіндикації та екології. – 2012. – Вип. 17, № 2. – С. 46–53.

9. Функціонування прооксидантно-антиоксидантної системи в листках рослин гіркокаштана звичайного і каштана їстівного в умовах техногенного забруднення та водного дефіциту [Електронний ресурс] / Ю. В. Лихолат, Г. С. Россихіна-Галича, О. С. Троханяк, І. П. Григорюк // Наукові доповіді НУБІП України. – 2015. – № 54 (липень). – Режим доступу.: http://nd.nubip.edu.ua/2015_5/7.pdf

10. Мыцык Л. П. Методика изучения роста листьев многолетних злаков в полевых условиях / Л. П. Мыцык // Сборник научных трудов Гос. Никитского бот. сада. – 1985. – Т. 97. – С. 98–106.

11. Переслегина И. А. Активность антиоксидантных ферментов слюны здоровых детей / И. А. Переслегина // Лабораторное дело. – 1989. – С. 20–23

12. Хавердов И. Атомно-абсорбционный анализ / И. Хавердов, Д. Цалев. – Л., 1983. – 144 с.

References

1. Hryhoryuk I. P., Yavorovskyi, P. P., Lykholat, Yu. V. (2014). Tekhnolohii vyroshchuvannya i biorehuliatsiia stiikosti hazonnykh roslyn u miskomu urbanizovanomu seredovyschi [Growing technology and Bioregulation of the sustainability of lawn plants in the urban urban environment]. NUBiP Ukrainy, 223.

2. Zaiko, H. A. , Lykholat, Yu. V. (2011). Fiziolohichni osoblyvosti stiikosti osnovnykh predstavnykiv kvituiuchykh hazoniv v umovakh miskoho seredovyscha [Physiological characteristics of stability of the main representatives of blooming lawns in the urban environment]. Visnyk Dnipropetrovskoho un-tu, Serii Biolohiia. Ekolohiia, 19, 36–40.

3. Ylkun, H. M. (1978). Zahriaznytely atmosfery y rastenyia [Air pollutants and plants]. Naukova dumka, 246.

4. Kolupaev, Yu. E. (2010). Formyrovanye adaptivnykh reaktsyi rastenyi na deistviye abyotycheskykh stressorov [The formation of adaptive responses of plants on abiotic stressors]. Osnova, 352 .

5. Korshykov Y. Y., Kotov V. S., Mykheenko, Y. P. (1995). Vzaymodeistviye rastenyi s tekhnohenko zahriaznennoi sredoi. Ustoichyvost. Fytoindykatsiia. Optymyzatsiia [The interaction of plants with technogenic contaminated environment. Resistance. Phytoindication. Optimization]. Naukova dumka, 191.

6. Lykholat Yu. V., Mytsyk L. P. (1997). Poa pratensis L. ta Poa angustifolia L. v umovakh tekhnohennoho zabrudnennia [Poa pratensis L. and Poa angustifolia L. in the conditions of technogenic pollution]. Mat. Kh z'izdu Ukr. bot.

товариства “Problemy botaniky i mikolohii na porozi tretogo tysiacholittia”, Poltava, 212.

7. Lykholat Yu. V., Hryhoryuk, I. P. (2005). Vykorystannia dernoutvoriuiuchykh trav dlia diahnostyky rivnia zabrudnennia navkolyshnoho seredovyscha vazhkymy metalamy [The use of turf grasses for diagnosing the level of environmental pollution with heavy metals]. Dop. NAN Ukrainy, 8, 196–200.

8. Lykholat Yu. V., Rossykhina-Halycha H. S. (2012). Aktyvnist peroksydazy ta vmist khlorofilu yak pokaznyky stiikosti osnovnykh predstavnykiv hazonnykh trav v umovakh stepovoho Prydniprovia [The activity of peroxidase and chlorophyll content as indicators of sustainability the main representatives of turf grasses in the steppe of the Dnieper region]. Pytannia bioindykatsii ta ekolohii, Vyp. 17, № 2, 46–53.

9. Lykholat, Yu. V., Rossykhina-Halycha, H. S., Trokhaniak, O. S., Hryhoryuk, I. P. (2015). Funktsionuvannia prooksydantno-antyoksydantnoi sytemy v lystkakh roslyn hirkokashtana zvychainoho i kashtana yistivnoho v umovakh tekhnohennoho zabrudnennia ta vodnoho defitsytu [The functioning of the prooxidant-antioxidant system in the leaves of plants graystone ordinary and edible chestnut in the conditions of technogenic pollution and water scarcity]. Naukovi dopovidi NUBIP Ukrainy, 54 Rezhym dostupu.: http://nd.nubip.edu.ua/2015_5/7.pdf

10. Mytsyk, L. P. (1985). Metodyka yzuchenyia rosta lystev mnoholetnykh zlakov v polevykh uslovyakh [Methods of study the leaf growth of perennial grasses in the field]. Sbornyk nauchnykh trudov Hos. Nykytskoho bot. sada, T. 97. – S. 98–106.

11. Pereslehyna Y. A. (1989). Aktyvnost antyoksydantnykh fermentov sliuny zdorovykh detei [The activity of antioxidant enzymes in saliva of healthy children]. Laboratornoe delo, 20–23

12. Khaverdov Y. (1983). Atomno-absorbtsyonnyi analiz [Atomic absorption analysis]. L., 144

ИЗМЕНЕНИЕ МОРФОМЕТРИЧЕСКИХ И ФИЗИОЛОГО - БИОХИМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ГАЗОНООБРАЗУЮЩИХ ТРАВ КАК МЕХАНИЗМ АДАПТАЦИИ К ВОЗДЕЙСТВИЮ ТЯЖЁЛЫХ МЕТАЛЛОВ

Є. С. Бородай, Ю. В. Лихолат, А. И. Серга, И. А. Григорюк, О. В. Сокур

***Аннотация.** Исследованы физиолого-биохимические механизмы адаптации газонообразующих видов, наиболее пригодных для дальнейшего практического применения в условиях антропогенного загрязнения. Установлено, что адаптивная способность основных газонных видов растений проявлялась в изменении биоморфологических показателей и повышенной активности СОД.*

***Ключевые слова:** промышленное загрязнение , тяжелые металлы , газонные травы , антиоксидантная защита , механизмы адаптации*

**THE CHANGE OF THE MORPHOMETRIC, PHYSIOLOGICAL AND
BIOCHEMICAL INDICATORS OF LAWN FORMING GRASSES AS AN
ADAPTATION MECHANISM TO THE INFLUENCE OF HEAVY METALS**
E. S. Borodaj, Yu. V. Lykholat, O. I. Serga, I. P. Hrygoryuk, O. B. Sokur

***Abstract.** Investigated physiological and biochemical mechanisms of adaptation lawn grass species most suitable for future practical use in conditions of anthropogenic pollution. Established that the adaptive capacity of basic grass species plants biomorphological manifested in the change in indicators and increased activity of SOD.*

***Key words:** industrial pollution, heavy metals, lawn grass, antioxidant defense mechanisms of adaptation*