

Міністерство освіти і науки України
Рівненський державний гуманітарний університет
Психолого-природничий факультет
Кафедра біології, здоров'я людини та фізичної терапії

СЕЛЯХ ОЛЕКСАНДР ПЕТРОВИЧ

УДК 581:582.926.2

**БІОХІМІЧНІ ТА АНАТОМО-МОРФОЛОГІЧНІ ПОКАЗНИКИ РОДУ
NICOTIANA ЗА УМОВИ ДІЇ ІОНІВ МІДІ**

Освітньо-професійна програма «Біологія»
Спеціальність 091 Біологія та біохімія
Галузь знань 09 Біологія

**Кваліфікаційна робота
на здобуття освітнього ступеня «Магістр»**

Здобувача вищої освіти
II курсу групи МБ-61
денної форми навчання

Науковий керівник:
доктор біологічних наук,
професор Геннадій ЗАГОРУЙКО

Рівне, 2025

Анотація

Магістерської роботи спеціальності 091 Біологія та біохімія Олександра СЕЛЯХА «Біохімічні та анатомо-морфологічні показники роду *Nicotiana* за умови дії іонів міді»

Актуальність теми роботи – визначається необхідністю дослідження впливу іонів міді на ріст, розвиток та фізіологічний стан сільськогосподарських культур, зокрема рослин тютюну. В умовах забруднених ґрунтів підвищений вміст міді може спричиняти оксидативний стрес, порушення біохімічних процесів, зміну морфологічних та анатомо-морфологічних характеристик рослин, що негативно відображається на їхній продуктивності та якості.

Об’єкт дослідження - рослини тютюну (*Nicotiana tabacum* L.) та їхні морфологічні, анатомо-морфологічні і біохімічні показники за умов дії іонів міді. **Предмет дослідження** – є вплив іонів міді на морфологічні, анатомо-морфологічні та біохімічні показники рослин тютюну, зокрема зміни у рості, розвитку, структурі тканин та активності антиоксидантних систем.

Мета роботи: вивчити анатомо-морфологічну будову, активність антиоксидантних ферментів рослин тютюну (*Nicotiana tabacum* L.) в період післядії іонів міді оцінити здатність до відновлення після зняття дії стресора.

Наукова новизна дослідження: Вперше проведено комплексне дослідження впливу різних концентрацій іонів міді на морфологічні та анатомо-морфологічні характеристики рослин тютюну, зокрема на структуру листової та кореневої тканин. Встановлено специфічні зміни біохімічних показників у відповідь на іони міді, що дозволяє оцінити рівень оксидативного стресу в рослинах тютюну. Виявлено кореляцію між анатомо-морфологічними змінами та біохімічними показниками, що підтверджує взаємозв’язок між структурними ушкодженнями тканин і метаболічними порушеннями під дією важких металів.

Експериментальна база дослідження була розгорнута в ТОВ "ТЮТЮНОВА СПРАВА".

Abstract

Of the master's thesis of the specialty 091 Biology and Biochemistry of Oleksandr SELYAKH "Biochemical and anatomical-morphological indicators of the genus *Nicotiana* under the influence of copper ions"

The relevance of the topic of the work is determined by the need to study the influence of copper ions on the growth, development and physiological state of agricultural crops, in particular tobacco plants. In conditions of contaminated soils, an increased copper content can cause oxidative stress, disruption of biochemical processes, changes in the morphological and anatomical-morphological characteristics of plants, which negatively affects their productivity and quality.

The object of the study is tobacco plants (*Nicotiana tabacum* L.) and their morphological, anatomical-morphological and biochemical indicators under the influence of copper ions.

The subject of the study is the influence of copper ions on morphological, anatomical-morphological and biochemical indicators of tobacco plants, in particular changes in growth, development, tissue structure and activity of antioxidant systems.

Purpose of the work: to study the anatomical-morphological structure, activity of antioxidant enzymes of tobacco plants (*Nicotiana tabacum* L.) in the period of aftereffect of copper ions, to assess the ability to recover after the stressor is removed. Scientific novelty of the study: For the first time, a comprehensive study of the influence of different concentrations of copper ions on the morphological and anatomical-morphological characteristics of tobacco plants, in particular on the structure of leaf and root tissues, was conducted. Specific changes in biochemical indicators in response to copper ions were established, which allows assessing the level of oxidative stress in tobacco plants. A correlation between anatomical-morphological changes and biochemical indicators was revealed, which confirms the relationship between structural tissue damage and metabolic disorders under the influence of heavy metals.

The experimental base of the study was deployed at "TOBACCO BUSINESS" LLC.

З М І С Т

ВСТУП	6
РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ПІДХОДИ ДО ВИВЧЕННЯ СТРЕСОВИХ РЕАКЦІЙ РОСЛИН ЗА ДІЇ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ	
1.1. Важкі метали як фактор абіотичного стресу рослин	8
1.2. Клітинна стінка та її функціональна роль під час стресу, зумовленого важкими металами.....	12
1.3. Вплив іонів міді на фізіологічні процеси рослин	16
1.4. Відновні процеси та адаптація рослин після дії важких металів	23
РОЗДІЛ 2. ОБ'ЄКТ ДОСЛІДЖЕННЯ, УМОВИ ЕКСПЕРИМЕНТУ ТА КОМПЛЕКС МЕТОДІВ АНАЛІЗУ	
2.1. Об'єкт та умови проведення дослідження	28
2.2. Біометричний аналіз рослин	29
2.3. Біохімічні та білкові методи дослідження	31
РОЗДІЛ 3. ОЦІНКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДАНИХ ТА ОБГОВОРЕННЯ ОТРИМАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ	
3.1. Вибір робочих концентрацій іонів міді та морфологічна реакція рослин тютюну.....	34
3.2. Біохімічні маркери стресу в рослинах <i>Nicotiana tabacum</i> під дією іонів міді	38
3.3. Фенольні сполуки та активність антиоксидантних ферментів за умов мідного стресу	42
ВИСНОВКИ	53
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ.....	55

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Біохімія : підручник / Кучеренко М. Є., Бабенюк Ю. Д., Васильєв О. М., Виноградова Р. П., Войціцький В. М., Курський М. Д., Рибальченко В. К., Цудзевич Б. О. – Київ : ВПЦ «Київський університет», 2002. – 480 с.
2. Григорюк І. П. Технології вирощування і біорегуляція стійкості газонних рослин у міському урбанізованому середовищі : монографія / І. П. Григорюк, П. П. Яворовський, Ю. В. Лихолат. – Київ : НУБІП України, 2014. – 223 с.
3. Григорюк І. П., Бойко О. А., Прилуцька С. В. Фізіологія рослин з основами біохімії : практикум. – Київ : ТОВ «Аграр Медіа Груп», 2014. – 144 с.
4. Драчкевич М., Скуржинська-Політ Є., Крупа З. Copper tolerance and response of antioxidative enzymes... — *іноземна, буде внизу*.
5. Кабар А. М., Лихолат Ю. В., Пахомов О. Є., Дідур О. О. Ландшафтний фітодизайн : навчальний посібник. – Дніпропетровськ : ДНУ, 2012. – 201 с.
6. Лихолат Ю. В. Конспект лекцій із курсу «Фізіологія адаптації рослин». – Дніпропетровськ : РВВ ДНУ, 2013. – 31 с.
7. Лихолат Ю. В., Мицик Л. П., Тарасов В. В. Стійкість трав'янистих рослин до промислових емісій // Питання степового лісознавства та лісової рекультивації земель. – Дніпропетровськ : Вид-во Дніпропетровського ун-ту, 2001. – Вип. 5. – С. 51–55.
8. Макрушин М. М. та ін. Фізіологія сільськогосподарських рослин з основами біохімії. – Київ : Урожай, 2005. – 334 с.
9. Макрушин М. М., Макрушина Є. М., Петерсон Н. В., Мельников М. М. Фізіологія рослин : підручник / за ред. М. М. Макрушина. – Вінниця : Нова Книга, 2006. – 416 с.
10. Молекулярна біологія : підручник / Сиволоб А. В. – Київ : ВПЦ «Київський університет», 2008. – 384 с.

11. Приседський Ю. Г. Закономірності пошкодження деяких видів деревних та чагарникових рослин за умов комплексного забруднення повітря сполуками фтору, сірки та азоту // Вісник Донецького університету. Серія А : Природничі науки. – Донецьк : ДонНУ, 2003. – № 1. – С. 356–360.

12. Приседський Ю. Г. Методи підвищення стійкості рослин до забруднення повітря промисловими викидами // Фізіологія рослин в Україні на межі тисячоліть : у 2 т. – Київ : Укр. фітосоціологічний центр, 2001. – Т. 2. – С. 94–97.

13. Приседський Ю. Г. Характеристика стійкості деревних та чагарникових рослин до забруднення повітря сполуками сірки, фтору та нітрогену // Вісник Харківського національного університету. – 2014. – № 21. – С. 162–167.

14. Приседській Ю. Г., Сетт І. В. Зміни вмісту амінного азоту в листках деревних та чагарникових рослин за умов забруднення повітря сполуками сірки, фтору та азоту // Питання біоіндикації та екології. – Запоріжжя : ЗДУ, 2001. – Т. 6, вип. 1. – С. 54–60.

15. Юсипіва Т. І., Грицай З. В. Вплив аерогенного забруднення SO_2 та NO_2 на анатомічні показники стебла *Caragana arborescens* Lam. // Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Серія : Біологія. – 2014. – № 23. – С. 123–128.

16. Bouazizi H., Jouili H., Geitmann A., El Ferjani E. Structural changes of cell wall and lignifying enzymes modulations in bean roots in response to copper stress // Biological Trace Element Research. – 2009. – № 136. – P. 232–240.

17. Caldwell R. L. Effects of Air Pollution on Vegetation. Progressive Agriculture in Arizona. – 2016. – P. 10–11.

18. Cheng H., Tam N. F.-Y., Wang Y., Li S., Chen G., Ye Z. Effects of copper on growth, radial oxygen loss and root permeability of seedlings of the mangroves

Bruguiera gymnorrhiza and *Rhizophora stylosa*. Plant Soil. – 2012. – № 359. – P. 255–266.

19. Drażkiewicz M., Skórzyńska-Polit E., Krupa Z. Copper-induced oxidative stress and antioxidant defence in *Arabidopsis thaliana*. Biometals. – 2004. – № 17. – P. 379–387.

20. Effects of Air Pollution on Agricultural Crops. Factsheet. – 2003. – № 85(002). – P. 01–015.

21. Gupta G., Mulchi C. Nitrogen dioxide effects on photosynthesis. J. Environment Quality. – 2000. – T. 17, № 1. – P. 143–146.

22. Kováč J., Lux A., Vaculík M. Formation of a subero-lignified apical deposit in root tip of radish (*Raphanus sativus*) as a response to copper stress. Annals of Botany. – 2017. – № 01. – P. 1–9.

23. Liu Q., Zheng L., He F., Zhao F. J., Shen Z., Zheng L. Transcriptional and physiological analyses identify a regulatory role for hydrogen peroxide in the lignin biosynthesis of copper-stressed rice roots. Plant Soil. – 2015. – № 387. – P. 323–336.

24. Pukacki P. M. Effects of sulphur, fluoride and heavy metal pollution on the chlorophyll fluorescence of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) needles. Dendrology. – 2000. – № 45. – P. 83–88.

25. Rai R., Rajput M., Agrawal M., Agrawal S. B. Gaseous air pollutants : a review on current and future. – дані журналу не вказані у вихідному тексті.

26. Schmidt W., Schreiber U., Urbach W. SO₂ injury and intact leaves as detected by chlorophyll fluorescence. Z. Naturforsch. – 2009. – № 44(3–4). – P. 269–271.

27. Singh S., Singh S., Ramachandran V., Eapen S. Copper tolerance and response of antioxidative enzymes in axenically grown *Brassica juncea* L. Ecotoxicology and Environmental Safety. – 2010. – № 73. – P. 1975–1981.

28. Thounaojam T. C., Panda P., Mazumdar P., Kumar D., Sharma G. D., Sahoo L., Sanjib P. Excess copper induced oxidative stress and response of antioxidants in rice. *Plant Physiology and Biochemistry*. – 2012. – № 53. – P. 33–39.
29. Wang S. H., Zhang H., Zhang Q., Jin G. M., Jiang S. J., Jiang D., He Q. Y., Li Z. P. Copper-induced oxidative stress and responses of the antioxidant system in roots of *Medicago sativa*. *Journal of Agronomy and Crop Science*. – 2011. – № 197. – P. 418–429.
30. Yan L., Zhang X. H. Response of hyperaccumulator *Leersia hexandra* to chromium-induced oxidative stress. *Ecology and Environment*. – 2008. – T. 17, № 4. – P. 1476–1482.
31. Abbas A., Hammad S., Soliman W. S. Influence of copper and lead on germination of three *Mimosoideae* plant species. – 2017. – № 5. – P. 320–327.
32. Chmielowska-Bąk J., Deckert J. Plant recovery after metal stress – a review. *Plants*. – 2021. – № 10. – P. 450–463.
33. Drost W., Matzke M., Backhaus T. Heavy metal toxicity to *Lemna minor*: studies on the time dependence of growth inhibition and the recovery after exposure. *Chemosphere*. – 2007. – № 67. – P. 36–43.
34. Holubek R., Deckert J., Zinicovscaia I., Yushin N., Vergel K., Frontasyeva M., Sirotkin A., Samdumu Bajia D., Chmielowska-Bąk J. The recovery of soybean plants after short-term cadmium stress. *Plants*. – 2020. – T. 9, № 782. – P. 1–17.
35. Kranner I., Colville L. Metals and seeds: biochemical and molecular implications and their significance for seed germination. *Environmental and Experimental Botany*. – 2011. – № 72. – P. 93–105.
36. Tripathi B. N., Mehta S. K., Gaur J. P. Recovery of uptake and assimilation of nitrate in *Scenedesmus* sp. previously exposed to elevated levels of Cu^{2+} and Zn^{2+} . *Journal of Plant Physiology*. – 2004. – № 161. – P. 543–549.