

МОРФОФІЗІОЛОГІЧНА РЕАКЦІЯ *MISCANTHUS SINENSIS* 'ZEBRINUS' НА ЗАБРУДНЕННЯ ҐРУНТУ РІДКІСНОЗЕМЕЛЬНИМИ ЕЛЕМЕНТАМИ

Гусак В. В., к. б. н., доцент

Григорів Я. Я., к. с.-г. н., доцент

Карпатський національний університет імені Василя Стефаника
м. Івано-Франківськ, Україна

Рідкісноземельні елементи (РЗЕ) належать до стратегічно важливих видів мінеральної сировини, що широко використовуються в електроніці, енергетиці, виробництві постійних магнітів та інших високотехнологічних галузях. Інтенсифікація їх видобування, перероблення та промислового використання водночас зумовлює збільшення надходження РЗЕ до ґрунтових і водних екосистем. Вплив цих елементів на рослини значною мірою визначається рівнем їх концентрації: за низьких доз окремі лантаніди можуть стимулювати фізіологічні процеси внаслідок горметичної відповіді, тоді як підвищене навантаження здатне спричинити порушення росту, мінерального живлення та структурно-функціонального стану клітин [1, 2].

Важливим аспектом фітотоксичності РЗЕ є характер їх розподілу між кореневою системою та надземною частиною рослин. Корені виконують функцію первинного бар'єра на шляху надходження забруднювачів із субстрату та можуть обмежувати їх транслокацію до фотосинтетично активних органів. У проростків рису встановлено, що неодим (Nd) переважно акумулюється у клітинних стінках коренів, а його іммобілізації сприяє утворення малорозчинних фосфатних та оксалатних сполук [3]. Водночас підвищення рівня експозиції лантану (La) та церію (Ce) у рослин пшениці супроводжується пригніченням ростових процесів і змінами елементного складу рослинних тканин [4].

Перспективними модельними об'єктами для вивчення адаптації рослин до умов техногенного забруднення є представники роду *Miscanthus*. Висока біомасова продуктивність, багаторічний цикл розвитку та добре сформована коренева система зумовлюють перспективність їх використання для одночасного отримання лігноцелюлозної сировини та фітоменеджменту забруднених територій [5]. Результати польових досліджень на територіях видобування рідкісноземельних елементів свідчать, що *M. sinensis* може сприяти відновленню рослинного покриву та позитивно впливати на стан ґрунтових мікробних угруповань [6]. Водночас аналіз функціональних ознак кореневої системи піонерних видів на хвостосховищах РЗЕ вказує на значну внутрішньовидову пластичність *M. sinensis* у відповідь на градієнт техногенного стресу [7].

Однак толерантність до забрудненого субстрату не обов'язково свідчить про відсутність фізіологічних витрат для рослини. Комплексне оцінювання адаптивної відповіді потребує одночасного врахування ростових характеристик, елементного складу тканин і характеру розподілу біомаси між окремими

органами. Такий підхід дає змогу розмежувати стимулювальний ефект низьких рівнів забруднення та стрес-індуковану перебудову характеру росту й ресурсного забезпечення органів.

Метою дослідження було визначити органоспецифічні особливості адаптивної реакції *Miscanthus sinensis* 'Zebrinus' на ґрунтове навантаження сумішшю РЗЕ за комплексом ростових показників, розподілом біомаси та змінами відносного елементного складу коренів і листків.

Рослини вирощували в ґрунтовому субстраті протягом трьох місяців за сумарного навантаження РЗЕ 0, 300 та 3000 мг/кг. Досліджували основні ростові характеристики, розподіл свіжої, сухої, зольної та беззольної біомаси, а також відносний елементний склад мінеральної фракції коренів і листків, який визначали методом енергодисперсійного рентгенофлуоресцентного аналізу після озолення рослинного матеріалу.

Встановлено, що підвищення рівня РЗЕ супроводжувалося суттєвим пригніченням росту надземної частини рослин. За концентрацій 300 і 3000 мг/кг довжина пагонів зменшувалася відповідно на 13,8 і 20,0%, а їх свіжа маса – на 52,0 і 49,0% порівняно з контролем. Водночас формування кореневої системи посилювалося: суха маса коренів зростала на 52,2 і 112%, а їх частка у загальній сухій біомасі збільшувалася з 47,5% у контролі до 69,8 та 74,4% відповідно.

Аналітичний сигнал Nd виявлено лише в кореневій мінеральній фракції рослин, вирощених за умов РЗЕ-навантаження. Його відносний вміст становив $1,08 \pm 0,72$ та $2,38 \pm 1,89\%$ за концентрацій 300 і 3000 мг/кг відповідно. Аналіз композиційних даних із використанням CLR-перетворення та двофакторної лінійної змішаної моделі встановив статистично значущу взаємодію між органом рослини та рівнем РЗЕ для Al, Ca, Mn і Fe. Зі зростанням РЗЕ-навантаження відносно представлення Al і Fe підвищувалося переважно в кореневій мінеральній фракції, тоді як найбільш виражені зміни вмісту Ca і Mn спостерігалися в листках.

Отже, дія РЗЕ зумовлювала комплексну стрес-індуковану перебудову рослин, яка проявлялася пригніченням росту надземної частини, посиленням розвитком кореневої системи та диференційованими органоспецифічними змінами мінерального складу. Виявлена пластичність *M. sinensis* може свідчити про його перспективність для фітомередіації субстратів, забруднених РЗЕ, хоча підвищення рівня забруднення супроводжується істотним зниженням продуктивності надземної біомаси.

Література

1. Adeel M., Lee J. Y., Zain M., Rizwan M., Nawab A., Ahmad M. A., Shafiq M., Yi H., Jilani G., Javed R., Horton R., Rui Y., Tsang D. C. W., Xing B. Cryptic footprints of rare earth elements on natural resources and living organisms. *Environment International*. 2019. Vol. 127. P. 785–800. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.03.022>.

2. Agathokleous E., Kitao M., Calabrese E. J. The rare earth element (REE) lanthanum (La) induces hormesis in plants. *Environmental Pollution*. 2018. Vol. 238. P. 1044–1047. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.02.068>.
3. Shi K., Liu C., Liu D., Lyu K., Chen J., Wang X. The accumulation and effect of rare earth element neodymium on the root of rice seedlings. *Environmental Science and Pollution Research*. 2021. Vol. 28, No. 35. P. 48656–48665. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-021-14072-5>.
4. Hu X., Ding Z., Chen Y., Wang X., Dai L. Bioaccumulation of lanthanum and cerium and their effects on the growth of wheat (*Triticum aestivum* L.) seedlings. *Chemosphere*. 2002. Vol. 48, No. 6. P. 621–629. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0045-6535\(02\)00109-1](https://doi.org/10.1016/S0045-6535(02)00109-1).
5. Pidlisnyuk V., Stefanovska T., Lewis E. E., Erickson L. E., Davis L. C. *Miscanthus* as a productive biofuel crop for phytoremediation. *Critical Reviews in Plant Sciences*. 2014. Vol. 33, No. 1. P. 1–19. DOI: <https://doi.org/10.1080/07352689.2014.847616>.
6. Zhang L., Liu W., Liu S., Zhang P., Ye C., Liang H. Revegetation of a barren rare earth mine using native plant species in reciprocal plantation: effect of phytoremediation on soil microbiological communities. *Environmental Science and Pollution Research*. 2020. Vol. 27, No. 2. P. 2107–2119. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-019-06645-2>.
7. Zhu S.-C., Xu D.-X., Liu W.-S., Xie C., Liu X.-R., Zheng H.-X., Zhao J.-C., Qiu R.-L., Liu C., Guo M.-N., Chao Y., Morel J. L., Tang Y.-T. Variations in root functional traits facilitate the adaptation of pioneer plants to rare earth element mine tailings. *Journal of Applied Ecology*. 2026. Vol. 63, No. 1. Article e70219. DOI: <https://doi.org/10.1111/1365-2664.70219>.

ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ ГУМУСОВИХ СТИМУЛЯТОРІВ РОСТУ ПРИ ВИРОЩУВАННІ КУКУРУДЗИ В ЛІВОБЕРЕЖНОМУ ЛІСОСТЕПУ УКРАЇНИ

Дегтярьов В. В., д. с.-г. н., професор
Шикітка Д. І., здобувач ОР магістр
Держаний біотехнологічний університет,
м. Харків, Україна

Одним із шляхів вирішення проблеми екологічно безпечного ведення господарства є застосування гумінових речовин. Саме в умовах сьогодення гуміновим речовинам відводиться одна з першочергових ролей у підвищенні ефективності та покращенні екологічної ситуації в сільському господарстві.

Одним із способів розв'язання проблеми екологічно безпечного ведення господарства є застосування гумінових препаратів, вироблених на основі природних компонентів ґрунту. Гуміновим речовинам стали приділяти особливу увагу через нестачу і дорожнечу мінеральних добрив, деградацію орних земель,