

## **МІКРОБНІ АГРОБІОТЕХНОЛОГІЇ ЯК СКЛАДОВА СТАЛОГО ЕКОЛОГІЧНОГО РОЗВИТКУ АГРОСЕКТОРУ УКРАЇНИ У ВОЄННИЙ ТА ПОСТВОЄННИЙ ПЕРІОД**

**О. О. КАЛІНІЧЕНКО, М. М. КОТЛЯР, О. С. ЮНГІН**

*Київський національний університет технологій та дизайну,  
вул. Мала Шияновська, 2, Київ, Україна 01011, kalinichenko742135@gmail.com*

Бойові дії на території України завдають надзвичайні шкоди агросектору України не лише через відчуження територій шляхом прямої окупації, а й через зниження якості земельних угідь та забруднення ґрунтів. Розвиток мікробних агробіотехнологій та пошук промислово перспективних мікроорганізмів для стимуляції росту сільськогосподарських рослин, підвищення їх стійкості до біотичного та абіотичного стресів може бути успішним шляхом вирішення проблеми рекультивації земель сільськогосподарського призначення та збереження рівнів врожайності культур у воєнний та поствоєнний період. Серед таких перспективних мікроорганізмів особливу увагу звертають на ендоефітні бактерії, що співіснують у тісних взаєминах з рослинами і мають характеристики, що забезпечують повноцінний ріст та розвиток макроорганізму - здатність фіксувати атмосферний азот, солюбілізувати нерозчинні фосфати, синтезувати гормоноподібні речовини та забезпечувати мінеральне живлення рослини-хазяїна. Дослідження та пошук штамів з ріст-стимулюючими та біоремедіаційними властивостями є передумовою розробки агробіотехнологій сталого розвитку агросектора України.

Основним викликом для світового сільського господарства є задоволення потреб населення планети у харчових продуктах для зростаючого населення світу, яке наразі збільшується приблизно на 1,05% на рік [1]. Кількість біотичних і абіотичних стресів значно впливають на ріст рослин, продуктивність, урожайність і якість їжі [2]. Біотичні стреси включають пошкодження або інфекції, викликані різними шкідниками або патогенами. Серед абіотичних стресів можна виділити посуху, підвищену засоленість ґрунту, високу температуру, забруднення важкими металами та токсичними органічними сполуками. Серед усіх абіотичних стресів засолення ґрунту є найбільш поширених [3] і визнається одним з найважливіших факторів, що обмежують продуктивність сільськогосподарських культур та продовольчу безпеку. У всьому світі близько 20% сільськогосподарських угідь страждають від засолення, і цей показник постійно зростає [4].

В Україні площа земель сільськогосподарського призначення понад становить близько 42,7 млн га, що складає понад 70% від загальної площі. Близько 40% с/г землі в Україні – це чорноземи [5]. На сьогодні, понад 5 млн га земель сільськогосподарського призначення України неможливо використовувати через замінування або інші наслідки бойових дій [6].

На значній частині території України будівництво фортифікаційних споруд, використання боєприпасів та військові дії завдали значної шкоди верхньому шару ґрунту. За даними Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України, площа 186000 км<sup>2</sup>, або майже 31% території України, перебуває під загрозою пошкодження та забруднення [7].

З них понад 20000 км<sup>2</sup> пошкоджено більш ніж на 75%. Втім, не лише бойові дії завдають шкоди агросектору України. Підрив Каховської ГЕС спричинив справжню екологічну катастрофа, найбільшу за останні десятиліття на території України. Основими наслідками якої є втрата сотень тисяч гектарів ріллі, а також знищення іригаційної системи регіону. Так, через підрив Каховської ГЕС було втрачено 94% зрошувальних систем в Херсонській, 74% - в Запорізькій та 30% - в Дніпропетровській областях. За прогнозами Міністерства аграрної політики регіону загрожує запустелення та втрата статусу центра овочівництва України на роки [8]. Іншою небезпекою є осушення дна водойми, що призводить до вивільнення на поверхню шари мулу, які можуть містити важкі метали та радіонукліди.

Всі ці фактори створюють передумови розробки технологій відновлення ґрунтів, а також застосування біотехнологій підвищення врожайності культур та їх стійкості до хвороб та шкідників з обмеженим застосуванням хімічних добрив. Довгострокове застосування хімічних добрив значно знижує рН ґрунту, що пов'язують з ерозією ґрунтів.

Необхідність збереження ґрунтів та забезпечення агросектору дієвими технологіями продуктивного вирощування культур відображається в концепції сталого екологічного розвитку. Це підхід до

соціального і економічного розвитку, який збалансовує потреби сьогодення зі збереженням природних ресурсів та забезпеченням можливостей для майбутніх поколінь [9]. Серед головних компонентів сталого екологічного розвитку особливо виділяють розвиток зелених технологій та інновацій.

Зелені технології, також відомі як екологічні технології або сталі технології, це інноваційні рішення та практики, які розробляються та використовуються для зменшення впливу технологічних процесів та виробництва на навколишнє середовище і природні ресурси. В широкому розумінні, зелені технології спрямовані на зниження викидів парникових газів, оптимізацію використання енергії, води і інших ресурсів, а також на створення більш ефективних і сталих систем у всіх галузях економіки.

Застосування мікробних біотехнологій є одним з шляхів вирішення багатьох екологічних проблем, пов'язаних з біоремедіацією та стимуляцією росту рослин. В системі відносин «мікроорганізми-рослини» особливе місце займають ендofітні мікроорганізми, що за визначенням населяють внутрішні тканини рослин, не викликаючи патогенезу за нормальних умов [9]. Рослини співіснують з ендofітними мікроорганізмами у консорціумі, передаються через насіння і починають сприяти росту та здоров'ю рослин, як тільки насіння проростає.

Зазвичай не існує єдиного механізму, за допомогою якого бактерії сприяють росту рослин, оскільки механізми, що використовуються для впливу на ріст рослин, є видо- та штамоспецифічними. Вони є важливими компонентами рослин, що реалізують свою роль через різні процеси: синтез регуляторів росту, модифікація та вивільнення таких гормонів, як ауксин та цитокінін, здатність посилювати поглинання рослинами поживних речовин та підвищення стійкості рослин до абіотичного стресу [10]. Особливо цінними ріст-стимулюючих властивостями ендofітних мікроорганізмів є здатність фіксувати атмосферний азот, солюбілізувати

фосфати, синтезувати ріст-стимулювальні сполуки, наприклад, KCN та гормоноподібні речовини [11].

Серед перспективних ріст-стимулювальних бактерій промислово використовують азотфіксатор *Herbaspirillum* sp. Для таких важливих сільськогосподарських культурах як рис, сорго, кукурудза [12]. Наступний механізмів, що забезпечують ендofітні мікроорганізми, це солюбілізація та мобілізація нерозчинних фосфатів. Фосфор є другим за важливістю елементом після азоту для живлення рослин. Він присутній у ґрунті у вигляді мінералів або у складі органічних сполук. Більшість фосфат-собілізуючих бактерій належать до родів *Pseudomonas*, *Bacilli*, *Rhizobia* та *Azotobacter*, а особливо продуктивні штами є промислово важливими [13]. Крім того, представники роду *Pseudomonas*, наприклад *Pseudomonas aeruginosa* та *Pseudomonas fluorescens*, можуть виробляти ціанід як вторинний метаболіт, що посилює проростання арахісу на 29–30% зі збільшенням урожаю зерна на >70%) [14].

Крім того, вплив бактерій на ризосферу рослин значною мірою зумовлений продукцією фітогормонів, які беруть участь у розвитку кореневої систем та ініціюють ріст, розмноження та спеціалізацію клітин. В промисловості використовується мутант бактерії *Pseudomonas fluorescens* BSP53a, який є надпродуцентом індол-3-оцтової кислоти, що стимулює розвиток коренів у живців чорної смородини, одночасно пригнічуючи розвиток коренів у живців вишні [15]. В експериментальних дослідженнях щодо впливу ріст-стимулювальних бактерій на проростання насіння було показано, що штами *Azotobacter chroococcum*, *Pseudomonas aeruginosa* та особливо *Bacillus cereus*, підвищують вихід свіжої та сухої маси надземних і підземних частин, індекси росту та поглинання поживних речовин у порівнянні з контрольними у 6,55 та 8,45 рази на прикладі *S. montanum* [16].

Особливого значення у пошуку перспективних мікроорганізмів набуває дослідження ендofітних мікроорганізмів екстремальних

екосистем. Це пов'язано з високою адаптивністю та пластичністю метаболізму таких мікроорганізмів. Так, наприклад, високий потенціал щодо пошуку таких мікроорганізмів є рослини антарктичного регіону [17]. Багато мікроорганізмів добре пристосовані до ґрунтів, багатих на метали, і можуть виживати навіть за надзвичайно високих їх концентрацій, знешкоджуючи вплив їх надмірної присутності через ряд механізмів [18]. Використовуючи такі процеси можна досягти зниження концентрації важких металів в ґрунті та нівелювати їх негативний вплив на розвиток рослин. В одночас, присутність деяких металів в ґрунті є надзвичайно важливою для оптимального росту і розвитку рослин. Так, залізо є важливим мікроелементом для рослин і мікроорганізмів, оскільки воно бере участь у різних важливих біологічних процесах, таких як фотосинтез, дихання, біосинтез хлорофілу. Однак, в анаеробних і кислих ґрунтах, таких як затоплені ґрунти, високі концентрації іонів двовалентного заліза ( $Fe^{2+}$ ), що утворюються в результаті відновлення іонів заліза ( $Fe^{3+}$ ), можуть призвести до токсичності заліза через надмірне поглинання заліза [19]. Цікавим є перетворення заліза в системі мікробно-рослинних взаємодій [20]. Сидерофори – це органічні сполуки з низькою молекулярною масою, які утворюються бактеріями та грибами. Сидерофори зв'язуються з іонами  $Fe^{3+}$  і транспортують їх у клітини [21]. Виділення сидерофорів бактеріями може стимулювати ріст рослин, тим самим покращуючи живлення або перешкоджаючи розвитку фітопатогенів через секвестрацію заліза з навколишнього середовища. На відміну від мікробних патогенів, рослини не піддаються впливу бактеріального опосередкованого виснаження Fe, і деякі рослини можуть навіть захоплювати та використовувати  $Fe^{3+}$  сидерофорні бактеріальні комплекси [22].

Такі особливості ендofітних мікроорганізмів створюють передумови їх дослідження з метою пошуку штамів з ріст-стимулюючими та біоремедіаційними властивостями для розробки агробіотехнологій сталого розвитку агросектора України.

## **Література**

1. Yan X, Gong W. The role of chemical and organic fertilizers on yield, yield variability and carbon sequestration results of a 19-year experiment. *Plant Soil*. 2010; 331:471–480.
2. Zhu ZL, Chen DL. Nitrogen fertilizer use in China contributions to food production, impacts on the environment and best management strategies. *Nutr Cycl Agroecosys*. 2002; 63:117–127.
3. Sun R, Zhang XX, Guo X, Wang D, Chu H. Bacterial diversity in soils subjected to long-term chemical fertilization can be more stably maintained with the addition of livestock manure than wheat straw. *Soil Biol Biochem*. 2015;88:9–18.
4. Savci S. An agricultural pollutant: chemical fertilizer. *Int J Environ Sci Te*. 2012; 3:77–80.
5. Зануда А. “Земля України: скільки її, кому належить і хто на ній працює.” *BBC News Україна*. 2019.
6. Гайду, О. “Через війну в Україні забруднені понад 5 млн гектар сільськогосподарських земель”. Прес-служба Апарату Верховної Ради України. Березень 2023.
7. ЕкоЗагроза. “Дайджест ключових наслідків російської агресії для українського довкілля за 17-23 червня 2023 року”. Офіційний ресурс Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України. Червень 2023.
8. “Знищення росіянами Каховської ГЕС завдало значних збитків сільському господарству України.” Міністерство аграрної політики та продовольства України. Червень 2023.
9. “Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future.” United Nations General Assembly. (1987).
10. Moore D. M. *Studies in Colobanthus quitensis (Kunth.) Bartle. and Deschampsia Desv. II. Taxonomy, distribution and relationships // Br. Antarc. Surv. Bull.*– 1970. — 23, — P. 63–80

11. Ahmed, A. & Hasnain, S. Auxin-producing *Bacillus* sp.: Auxin quantification and effect on the growth of *Solanum tuberosum*. *Pure Appl. Chem.* 82, 313–319 (2010)
12. Differential accumulation of dehydrin-like proteins by abiotic stresses in *Deschampsia antarctica* Desv. / N. Olave-Concha, L. A. Bravo, S. Ruiz-Lara [et al.] // *Polar Biol.* — 2005. — Vol. 28. — P. 506—513.
13. Pedrosa FO, Monteiro RA, Wassem R, Cruz LM, Ayub RA, Colauto NB, Fernandez MA, Fungaro MHP, Grisard EG, Hungria M, et al. Genome of *Herbaspirillum seropedicae* strain SmR1, a specialized diazotrophic endophyte of tropical grasses. *PLoS Genet.* 2011;7
14. H.R. Zabihi, G.R. Savaghebi, K. Khavazi, A. Ganjali, M. Miransari *Pseudomonas* bacteria and phosphorous fertilization, affecting wheat (*Triticumaestivum* L.) yield and P uptake under greenhouse and field conditions *Acta Physiol. Plant.*, 33 (2011), pp. 145-152
15. Kobayashi T, Nishizawa NK. Iron uptake, translocation, and regulation in higher plants. *Annu Rev Plant Biol.* 2012;63:131–52
16. Li, C., Yan, K., Tang, L., Jia, Z. & Li, Y. Change in deep soil microbial communities due to long-term fertilization. *Soil. Biol. Biochem.* 75, 264–272 (2014)
17. M. Verma, J. Mishra, N.K. Arora *Plant growth-promoting rhizobacteria: diversity and applications Environmental biotechnology: For Sustainable Future*, Springer, Singapore (2019), pp. 129-173
18. N. Dubeikovsky, E. A. Mordukhova, V. V. Kochetkov, F. Y. Polikarpova, and A. M. Boronin, “Growth promotion of blackcurrant softwood cuttings by recombinant strain *Pseudomonas fluorescens* BSP53a synthesizing an increased amount of indole-3-acetic acid,” *Soil Biology and Biochemistry*, vol. 25, no. 9, pp. 1277–1281, 1993.
19. Alves, A. R. A., Yin, Q., Oliveira, R. S., Silva, E. F., & Novo, L. A. B. (2022). Plant growth-promoting bacteria in phytoremediation of metal-polluted soils: Current knowledge and future directions. *Science of The Total Environment*, 838(4), 156435.

20. Chapter 5 - The Role of Plant-Associated Bacteria in Phytoremediation of Trace Metals in Contaminated Soils PratishthaGupta Rupa Rani Zeba Usmani AvantikaChandra†VipinKumar\* New and Future Developments in Microbial Biotechnology and Bioengineering Microbial Biotechnology in Agro-Environmental Sustainability 2019, Pages 69-76
21. Rahnama, S., Ghehsareh Ardestani, E., Ebrahimi, A., & Nikookhah, F. Seed priming with plant growth-promoting bacteria (PGPB) improves growth and water stress tolerance of *Secale montanum*. *Heliyon*. Volume 9, Issue 4 2023.
22. Dimkpa CO, Merten D, Svatos A, Büchel G, Kothe E. Siderophores mediate reduced and increased uptake of cadmium by *Streptomyces tendae* F4 and sunflower (*Helianthus annuus*), respectively. *J Appl Microbiol*. 2009b;5:687–1696.