

УДК 631.4:579.22:678.5

Ткачук Н. В.¹, Зелена Л. Б.^{2,3}, Новіков Я. Є.¹¹Національний університет «Чернігівський колегіум» імені Т.Г. Шевченка²Інститут мікробіології і вірусології ім. Д.К. Заболотного НАН України³Київський національний університет технологій та дизайнуnataliia.smykun@gmail.com

БІОПЛІВКИ ҐРУНТОВИХ МІКРООРГАНІЗМІВ: МІКРОПЛАСТИК ТА ІНШІ ЗАБРУДНЮВАЧІ ҐРУНТУ

Вступ

Мікропластиком є частинки пластику розміром менше 5 мм [1], формування біоплівки на якому активно досліджується [2-3]. Наразі великим поглиначем мікропластику є ґрунт [4]. Ґрунтові мікроорганізми на поверхнях формують біоплівки та беруть активну участь у біодеградації матеріалів [4-8]. На активність ґрунтових мікроорганізмів, зокрема, біоплівкоутворювальну, можуть впливати токсиканти [9-10]. Метою даної роботи було узагальнення відомостей щодо біоплівкоутворення ґрунтових мікроорганізмів на поверхнях мікропластику за впливу токсикантів та окреслення перспектив подальшого дослідження.

Об'єкти та методи досліджень

У ході дослідження використано методи теоретичних досліджень доступної інформації, аналізу наукових і літературних джерел з поставленої проблеми (аналітичний та узагальнений методи), емпіричний (для накопичення фактів), аргументування (для доведення власних суджень).

Результати та обговорення

Біоплівка як форма існування мікроорганізмів

Біоплівки складаються з активної біомаси, позаклітинних полімерних речовин і розчинних мікробних продуктів [11]. Формування біоплівки відбувається у декілька стадій: 1) обернено-необернене прикріплення клітин до поверхні; 2) утворення мікроколоній; 3) дозрівання біоплівки; 4) розповсюдження [12]. Розвиток біоплівки у ґрунті може підтримувати більш активне і різноманітне угруповання мікроорганізмів [13]. Біоплівка відіграє фундаментальну роль у трофічній мережі й геохімічних циклах у водних та ґрунтових екосистемах [14-17].

Біоплівки та біоремедіація

Застосування мікроорганізмів, зокрема, у формі біоплівки, з метою видалення забруднювачів з різних середовищ є підходом мікробної ремедіації, яка є еко-дружньою технологією [18-19]. З'явився новий термін «мікробна глікобіотехнологія», яка включає широкий набір методів, головною метою яких є знезараження різних типів забруднюючих речовин за участі комбінацій мікробних глікокон'югатів (глікопротеїнів і гліколіпідів), які продукуються мікроорганізмами та відіграють важливу роль у формуванні біоплівки [20]. Процес біодеградації забруднювача потребує тривалого періоду часу та наявності мікроорганізму у формі біоплівки на забрудненій ділянці. Швидкість

розкладання забруднюючих речовин зростає при внесенні додаткових поживних речовин (джерел Карбону, Гідрогену, Нітрогену, Фосфору, Оксигену) для підвищення швидкості росту мікробної популяції [20].

Різноманіття ґрунтових мікроорганізмів на поверхні мікропластиків

Дослідниками проаналізовано мікробіоту ґрунту за впливу різних видів мікропластику [21-22]. Проте мікробні угруповання на мікропластику унікальні і їх називають мікропластисферою/пластисферою [23]. Оскільки пластик, зокрема, мікропластик, розглядається як один з видів забруднювачів ґрунту [4], важливо проаналізувати відомості щодо бактеріального різноманіття біоплівки на ньому. Так, домінуючими мікроорганізмами поліпропілену та полістирену при експозиції 8 тижнів у ґрунті з сільськогосподарського поля (з глибини 0-20 см), яке культивувалося з використанням принципів екологічного землеробства, були Proteobacteria (37%), Actinobacteriota (33%), Patescibacteria (9%) [2]. На поверхні мікропластику поліетилену низької щільності, полістирену, поліетилентерефталату при їх експозиції 15 та 30 днів у не мульчованому ґрунті теплиць за попереднього (1 тиждень) культивування виявлено домінування Methylophaga, Saccharimonadales, Sphingomonas [3]. На поверхні мікропластику поліетилену, поліпропілену, поліаміду, полістиролу, поліетилентерефталату, полівінілхлориду при експозиції 1 рік у ґрунті, відібраному з берега річки (1 м над видимою водою, з глибини 0-10 см), встановлено домінування Actinobacteria [24].

Формування біоплівки ґрунтовими мікроорганізмами на поверхні пластику/мікропластику за впливу токсикантів

Є ряд досліджень щодо впливу токсикантів на біоплівкоутворювальні властивості водних мікроорганізмів [25-26], проте формування біоплівки ґрунтовими мікроорганізмами за впливу забруднювачів ґрунту вивчено недостатньо. Основними забруднювачами ґрунту є токсичні метали/металоїди, органічні забруднювачі, антибіотики [27]. Наразі досліджено формування біоплівки ґрунтовими сапротрофними мікроорганізмами Bacillus megaterium var. phosphaticum, B. mucilaginosus, Pectobacterium carotovorum та Escherichia coli на поверхні пластикових планшетів за впливу важких металів та миш'яку [10]. Встановлено, що досліджувані сполуки пригнічували біоплівкоутворення зазначених бактерій.

Досліджено вплив мікропластиків полістирену та політетрафторетилену та миш'яку на ґрунтові мікроорганізми ризосфери рису. Встановлено зменшення чисельності Proteobacteria, збільшення чисельності Chloroflexi та Acidobacteria у ґрунті. Також відмічено інгібування активності ґрунтової уреазы, кислої фосфатази, протеазы, дегідрогенази, пероксидази [28].

Слід зазначити, що негативно впливають на ґрунтові мікроорганізми добавки до пластику, такі як барвники, антипірени, стабілізатори, пластифікатори [29], що може посилювати пригнічуючий вплив забруднювачів щодо формування біоплівки на мікропластику. У свою чергу це може призвести до порушення як процесів утворення мікробних біоплівок на мікропластику, так і його біодеградації, а отже, й до збільшення часу збереження матеріалу у ґрунті. З іншого боку, забезпечити бактеріальну біоремедіацію пластику

(зокрема, полієфіру) може підвищення рівня біоплівки, що показано при маніпулюванні рівнями циклічного-ди-ГМФ [30].

Наразі використовуються короткострокові лабораторні дослідження токсичності мікропластику щодо чистих культур мікроорганізмів та одного виду мікропластику, які відірвані від реальних умов навколишнього середовища [24]. Проте наслідки впливу мікропластику для навколишнього середовища є довгостроковими, оскільки процеси їх деградації та вивільнення пластикових олігомерів, мономерів та добавок, зокрема, фталатів та бісфенолів, повільні [24].

Численні дослідження показали, що зазвичай мікропластики змінюють чисельність бактеріальних угруповань, впливаючи на їхній метаболізм; проте зазначається, що поліетилен та поліпропілен у вигляді мікропластику не вплинули на чисельність чи структуру ґрунтових мікробів [31]. Ці дослідження загалом вивчали властивості мікропластику (розмір часток і тип) і типи ґрунту (текстура та компоненти). У результатах представлених досліджень не висвітлено питання впливу на мікробні угруповання ґрунтового середовища (сухий, затоплений тощо), що потребує проведення додаткових досліджень [31].

Висновки

Таким чином, мікроорганізми формують біоплівки на поверхнях та відіграють важливу роль у біоремедіації ґрунтів. Одним з видів забруднювачів ґрунту є мікропластик, питання утворення біоплівок на якому за впливу ґрунтових токсикантів вивчено недостатньо. Перспективою подальшого дослідження є оцінка формування біоплівок на мікропластику за його тривалої експозиції у польових ґрунтових умовах, аналіз *in vitro* біоплівкоутворюючих властивостей ґрунтових мікроорганізмів на мікропластику за впливу важких металів, пестицидів, лікарських засобів.

Список використаних джерел

1. Duis K., Coors A. Microplastics in the aquatic and terrestrial environment: sources (with a specific focus on personal care products), fate and effects. *Environ. Sci. Eur.* 2016. Vol. 28. P. 2. DOI:<https://doi.org/10.1186/s12302-015-0069-y>
2. Kublik S., Gschwendtner S., Magritsch T., Radl V., Rillig M.C., Schloter M. Microplastics in soil induce a new microbial habitat, with consequences for bulk soil microbiomes. *Front. Environ. Sci.* 2022. Vol. 10. P. 989267. DOI:<https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.989267>
3. Chen Y., Wang X., Wang X., Cheng T., Fu K., Qin Z., Feng K. Biofilm Structural and Functional Features on Microplastic Surfaces in Greenhouse Agricultural Soil. *Sustainability.* 2022. Vol.14, No 12, 7024. DOI:<https://doi.org/10.3390/su14127024>
4. Guo J.J., Huang X.P., Xiang L., Wang Y.Z., Li Y.W., Li H., Cai Q.Y., Mo C.H., Wong M.H. Source, migration and toxicology of microplastics in soil. *Environ Int.* 2020. Vol. 137. P. 105263. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.105263>
5. Rogers K.L., Carreres-Calabuig J.A., Gorokhova E., Posth N.R. Micro-by-micro inretactions: How microorganisms influence the fate of marine microplastics. *Limnology and Oceanography Letters.* 2020. Vol. 5. P. 18-36.
6. Tkachuk N., Zelena L. The Impact of Bacteria of the Genus *Bacillus* upon the Biodamage/Biodegradation of Some Metals and Extensively Used Petroleum-Based Plastics. *Corros. Mater. Degrad.* 2021. Vol. 2. P. 531–553. DOI:<https://doi.org/10.3390/cmd2040028>
7. Cai Z., Li M., Zhu Z., Wang X., Huang Y., Li T., Gong H., Yan M. Biological Degradation

of Plastics and Microplastics: A Recent Perspective on Associated Mechanisms and Influencing Factors. *Microorganisms*. 2023. Vol. 11, No 7. P. 1661. DOI:<https://doi.org/10.3390/microorganisms11071661>;

8. Moyal J., Dave P.H., Wu M., Karimpour S., Brar S.K., Zhong H., Kwong R.W.M. Impacts of Biofilm Formation on the Physicochemical Properties and Toxicity of Microplastics: A Concise Review. *Rev. Environ. Contam. Toxicol.* 2023. Vol. 261, No 1. P. 8. DOI:<https://doi.org/10.1007/s44169-023-00035-z>

9. Klimkowicz-Pawlas A., Maliszewska-Kordybach B. Wpływ wybranych rozpuszczalników organicznych na aktywność mikroorganizmów glebowych. *Rocz. Panstw. Zakł. Hig.* 2008. Vol. 59, No 1. P. 83-96

10. Bybin V. A., Belogolova G. A., Markova Y. A., Sokolova M. G., Sidorov A. V., Gordeeva O. N., Poletaeva V. I. Influence of Heavy Metals and Arsenic on Survival and Biofilm Formation of Some Saprotrophic Soil Microorganisms. *Water, Air, & Soil Pollution*. 2021. Vol. 232, No 8. P. 343.

URL: <https://link.gale.com/apps/doc/A672059329/AONE?u=googlescholar&sid=googleScholar&xid=9c6ea7e5> (дата звернення 31.10.2023)

11. Merkey B.V., Rittmann B.E., Chopp D.L. Modeling how soluble microbial products (SMP) support heterotrophic bacteria in autotroph-based biofilms. *J. Theor. Biol.* 2009. Vol. 259. P. 670–683. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.jtbi.2009.05.010>

12. Kostakioti M., Hadjifrangiskou M., Hultgren S.J. Bacterial Biofilms: Development, Dispersal, and Therapeutic Strategies in the Dawn of the Postantibiotic Era. *Cold Spring Harb. Perspect. Med.* 2013. 3:a010306. P. 1-23. DOI:<https://doi.org/10.1101/cshperspect.a010306>

13. Wu Y., Cai P., Jing X., Niu X., Ji D., Ashry N.M., Gao C., Huang Q. Soil biofilm formation enhances microbial community diversity and metabolic activity. *Environ. Int.* 2019. Vol. 132. P. 105116. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.105116>

14. Battin T.J., Kaplan L.A., Denis Newbold J., Hansen C.M. Contributions of microbial biofilms to ecosystem processes in stream mesocosms. *Nature*. 2003. Vol. 426, No 6965. P. 439-42. DOI:<https://doi.org/10.1038/nature02152>

15. Cai P., Sun X., Wu Y., Gao Ch., Mortimer M., Holden P.A., Redmile-Gordon M., Huang Q. Soil biofilms: microbial interactions, challenges, and advanced techniques for ex-situ characterization. *Soil Ecol. Lett.* 2019. Vol. 1. P. 85–93. DOI:<https://doi.org/10.1007/s42832-019-0017-7>;

16. Pandit A., Adholeya A., Cahill D., Brau L., Kochar M. Microbial biofilms in nature: unlocking their potential for agricultural applications. *J. Appl. Microbiol.* 2020. Vol. 129, No 2. P. 199-211. DOI:<https://doi.org/10.1111/jam.14609>

17. Wu Y., Fu C., Peacock C.L., Sørensen S.J., Redmile-Gordon M.A., Xiao K.-Q., Gao Ch., Liu J., Huang Q., Li Z., Song P., Zhu Y., Zhou J., Cai P. Cooperative microbial interactions drive spatial segregation in porous environments. *Nat. Commun.* 2023. Vol. 14, No 1. P. 4226. DOI:<https://doi.org/10.1038/s41467-023-39991-4>

18. Mani I. Biofilm in bioremediation. *Bioremediation of Pollutants / (Eds) V.Ch. Pandey, V. Singh. Elsevier, 2020. P. 375-385. DOI:https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819025-8.00018-1*

19. Biswal T., Malik J.A. Role of biofilms in bioremediation. *Microbes and Microbial Biotechnology for Green Remediation / (Ed) J.Ah. Malik. Chapter 11, Elsevier, 2022. P. 205-225. DOI:https://doi.org/10.1016/B978-0-323-90452-0.00016-5.*

20. Bhatt P., Verma A., Gangola S., Bhandari G., Chen Sh. Microbial glycoconjugates in organic pollutant bioremediation: recent advances and applications. *Microb. Cell Fact.* 2021. Vol. 20. P. 72. DOI:<https://doi.org/10.1186/s12934-021-01556-9>

21. Qian H., Zhang M., Liu G., Lu T., Qu Q., Du B., Pan X. Effects of soil residual plastic film on soil microbial community structure and fertility. *Water Air Soil Pollut.* 2018. Vol. 229. P. 1–11. DOI:<https://doi.org/10.1007/s11270-018-3916-9>;

22. Ren X., Tang J., Liu X., Liu Q. Effects of microplastics on greenhouse gas emissions and the microbial community in fertilized soil. *Environ. Pollut.* 2020. Vol. 256. P. 1–11.

DOI:<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113347>

23. Zettler E.R., Mincer T.J., Amaral-Zettler L.A. Life in the “plastisphere”: Microbial communities on plastic marine debris. *Environ. Sci. Technol.* 2013. Vol. 47. P. 7137–7146.

DOI:<https://doi.org/10.1021/es401288x>

24. Zhang X., Li Y., Lei J., Li Z., Tan Q., Xie L., Xiao Y., Liu T., Chen X., Wen Y., Xiang W., Kuzyakov Y., Yan W. Time-dependent effects of microplastics on soil bacteriome. *Journal of Hazardous Materials.* 2023. Vol. 447. P. 130762.

DOI:<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2023.130762>.

25. Dorigo U., Le Boulanger C., Bérard A., Bouchez A., Humbert J., Montuelle B. Lotic biofilm community structure and pesticide tolerance along a contamination gradient in a vineyard area. *Aquatic Microbial Ecology*, 2007. Vol. 50. P. 91-102.

26. Tlili A., Bérard A., Roulier J.-L., Volat B., Montuelle B. PO43– dependence of the tolerance of autotrophic and heterotrophic biofilm communities to copper and diuron. *Aquatic Toxicology.* 2010. Vol. 98, Issue 2. P. 165-177. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2010.02.008>.

27. Li L., Han L., Liu A., Wang F. Imperfect but Hopeful: New Advances in Soil Pollution and Remediation. *Int. J. Environ. Res. Public Health.* 2022. Vol. 19. P. 10164. DOI:<https://doi.org/10.3390/ijerph191610164>

28. Dong Y., Gao M., Qiu W., Song Z. Effect of microplastics and arsenic on nutrients and microorganisms in rice rhizosphere soil. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 2021. Vol. 211. P. 1–12. DOI:<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2021.111899>

29. Zaborowska M., Wyszowska J., Borowik A. Soil Microbiome Response to Contamination with Bisphenol A, Bisphenol F and Bisphenol S. *Int. J. Mol. Sci.* 2020. Vol. 21, No 10. P. 3529. DOI:<https://doi.org/10.3390/ijms21103529>

30. Howard S.A., McCarthy R.R. Modulating biofilm can potentiate activity of novel plastic-degrading enzymes. *npj Biofilms Microbiomes.* 2023. Vol. 9. P. 72. DOI:<https://doi.org/10.1038/s41522-023-00440-1>

31. Pang X., Chen C., Sun J., Zhan H., Xiao Y., Cai J., Yu X., Liu Y., Long L., Yang G. Effects of complex pollution by microplastics and heavy metals on soil physicochemical properties and microbial communities under alternate wetting and drying conditions. *J. Hazard. Mater.* 2023. Vol. 458. P. 131989. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2023.131989>