

Ю. В. Шиліна<sup>1</sup>, І. В. Жук<sup>1,\*</sup>, О. С. Моложава<sup>2</sup>, Ю. І. Шевченко<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Інститут клітинної біології та генетичної інженерії НАН України, Київ, Україна

<sup>2</sup> ННЦ «Інститут біології та медицини»

Київського національного університету імені Тараса Шевченка, Київ, Україна

<sup>3</sup> Syngenta Group AG, Базель, Швейцарія

\*Відповідальний автор: [ivzhukvi@gmail.com](mailto:ivzhukvi@gmail.com)

## ВИВЧЕННЯ ДІЇ ХРОНІЧНОГО ГАММА-ОПРОМІНЕННЯ НА ФІТОТОКСИЧНІСТЬ ФІТОПАТОГЕННИХ БАКТЕРІЙ *PSEUDOMONAS AERUGINOSA* ТА ЕКСПРЕСІЮ ЇХ ФАКТОРІВ ПАТОГЕННОСТІ

Досліджено вплив хронічного гамма-опромінення (впродовж 8 діб за потужності дози гамма-випромінювання  $1,2 \cdot 10^{-7}$  Гр/с, поглинута доза становила  $8,29 \cdot 10^{-2}$  Гр (8,29 сГр) на бактерії *Pseudomonas aeruginosa* (штами IMV 9024, IMV 9095, IMV 9096). Показано, що опромінення фітопатогенних штамів *P. aeruginosa* IMV 9024 і IMV 9096 стимулювало їх фітотоксичну активність, а у штаму IMV 9095 – ріст. Також виявлено стимуляцію утворення пігментів піоціаніну (в усіх досліджуваних штамів *P. aeruginosa*, найбільше – у IMV 9024) та піомеланіну – у штамів IMV 9024 та IMV 9096 (найбільше у IMV 9024). Прояви підвищеної фітотоксичної активності бактерій упродовж ряду поколінь після зараження вказують на існування епігенетичних механізмів, що забезпечують підтримання експресії факторів патогенності бактерій. Показано, що хронічне опромінення бактерій у низьких дозах здатне призводити до значних модифікацій відносин у системі «рослина – фітопатогенні бактерії».

**Ключові слова:** хронічне гамма-опромінення, *Pseudomonas aeruginosa* штами IMV 9024, IMV 9095, IMV 9096, піоціанін, піомеланін, фітотоксична активність.

J. Shylina<sup>1</sup>, I. Zhuk<sup>1,\*</sup>, O. Molozhava<sup>2</sup>, J. Shevchenko<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Institute of Cell Biology and Genetic Engineering, National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

<sup>2</sup>Educational and Scientific Centre “Institute of Biology and Medicine”,

Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine

<sup>3</sup>Syngenta Group AG, Basel, Switzerland

\*Corresponding author: [ivzhukvi@gmail.com](mailto:ivzhukvi@gmail.com)

## STUDY OF THE EFFECT OF CHRONIC GAMMA IRRADIATION ON THE PHYTOTOXICITY OF PHYTOPATHOGENIC BACTERIA *PSEUDOMONAS AERUGINOSA* AND THE EXPRESSION OF THEIR VIRULENCE FACTORS

The impact of chronic gamma irradiation (8 days, dose rate 12  $\mu$ Gy/s, absorbed dose 8,29 cGy) on *Pseudomonas aeruginosa* strains IMV 9024, IMV 9095, and IMV 9096 was investigated. Irradiation of phytopathogenic strains IMV 9024 and IMV 9096 enhanced their phytotoxic activity, whereas in strain IMV 9095, it primarily promoted bacterial growth. In addition, irradiation stimulated pigment biosynthesis, notably the production of pyocyanin (in all examined strains, with the strongest effect in IMV 9024) and pyomelanin (in IMV 9024 and IMV 9096, most prominently in IMV 9024). The persistence of elevated phytotoxic activity across multiple bacterial generations following infection suggests the involvement of epigenetic regulatory mechanisms sustaining virulence factor expression. Collectively, these findings demonstrate that chronic low-dose irradiation can induce substantial alterations in plant–phytopathogen interactions.

**Keywords:** chronic gamma irradiation, *Pseudomonas aeruginosa* strains IMV 9024, IMV 9095, IMV 9096, pyocyanin, pyomelanin, phytotoxic activity.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ / REFERENCES

1. V. Kashparov et al. Environmental behaviour of radioactive particles from Chernobyl. *J. Environ. Radioact.* 208–209 (2019) 106025.
2. Y. Igarashi et al. Impact of wildfire on <sup>137</sup>Cs and <sup>90</sup>Sr wash-off in heavily contaminated forests in the Chernobyl exclusion zone. *Environ Pollut.* 259 (2020) 113764.
3. V.A. Prylypko et al. Impact of the Rivne NPP activity on natural and social environment of the control area. *Probl. Radiat. Med. Radiobiol.* 24 (2019) 131.
4. A.V. Kutsak. The modern state of problem of providing radio protection of Ukraine’s population from natural release sources (review of literature). *Probl. Radiat. Med. Radiobiol.* 23 (2018) 49.

5. О.Ю. Паренюк, В.В. Ілленко, І.М. Гудков. *Мікрофлора забруднених радіонуклідами ґрунтів* (Київ: Нац. ун-т біоресурсів і природокористування України, 2018) 201 с. / O.Yu. Pareniuk, V.V. Illienko, I.M. Gudkov. *Microflora of Radionuclide-Contaminated Soils* (Kyiv: National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, 2018) 201 p. (Ukr)
6. L. Zhang et al. X-Ray Irradiation of *Pseudomonas aeruginosa* induces biogenesis of outer-inner membrane vesicles with potential as a vaccine against acute pneumonia. *J. Extracell. Vesicles* 14(8) (2025) e70151.
7. G. Zeng et al. Plant – microorganism – soil interaction under long-term low-dose ionizing radiation. *Front. Microbiol.* 14 (2024) 1331477.
8. K. Sakauchi, J.M. Otaki. Soil microbes and plant-associated microbes in response to radioactive pollution may indirectly affect plants and insect herbivores: evidence for indirect field effects from Chernobyl and Fukushima. *Microorganisms* 12 (2024) 364.
9. I. Shuryak. Review of microbial resistance to chronic ionizing radiation exposure under environmental conditions. *J. Environ. Radioact.* 196 (2019) 50.
10. M. Boretska et al. Impact of  $\gamma$ -irradiation on biofilm-formation by corrosion-relevant heterotrophic bacteria. *Scientific Reports of the National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine* 16(5) (2020).
11. D. Soghomonyan et al. The effects of low doses of gamma-radiation on growth and membrane activity of *Pseudomonas aeruginosa* GRP3 and *Escherichia coli* M17. *Cell Biochem. Biophys.* 76(1-2) (2018) 209.
12. Ольга Балко, Лілія Авдеєва, Олександр Балко. Етапи біоплівкоутворення *Pseudomonas aeruginosa*. *Ukr. Food J.* 2(1) (2013) 23. / Olga Balko, Liliya Avdeeva, Oleksandr Balko. Stages of *Pseudomonas aeruginosa* biofilm formation. *Ukr. Food J.* 2(1) (2013) 23. (Ukr)
13. Ю.В. Шиліна та ін. Вплив хронічного опромінення штамів ІМВ 9096 та ІМВ 8614 бактерій *Pseudomonas aeruginosa* на імуномодифікуючі властивості їхнього ліпополісахаридного комплексу. *Ядерна фізика та енергетика* 22(4) (2021) 375. / J.V. Shylyna et al. Impact of chronic irradiation of IMV 9096 and IMV 8614 strains of *Pseudomonas aeruginosa* on immunomodulatory properties of their lipopolysaccharide complex. *Nucl. Phys. At. Energy* 22(4) (2021) 375. (Ukr)
14. H. Beyenal, S.N. Chen, Z. Lewandowski. The double substrate growth kinetics of *Pseudomonas aeruginosa*. *Enzyme Microb. Technol.* 32(1) (2003) 92.
15. A.A. Abdelaziz et al. *Pseudomonas aeruginosa*'s greenish-blue pigment pyocyanin: its production and biological activities. *Microb. Cell Fact.* 22 (2023) 110.
16. M. Styczynski et al. Heterologous production and characterization of a pyomelanin of Antarctic *Pseudomonas* sp. ANT\_H4: a metabolite protecting against UV and free radicals, interacting with iron from minerals and exhibiting priming properties toward plant hairy roots. *Microb. Cell Fact.* 21 (2022) 261.
17. K.J. Reszka et al. Oxidation of pyocyanin, a cytotoxic product from *Pseudomonas aeruginosa*, by microperoxidase 11 and hydrogen peroxide. *Free Radic. Biol. Medic.* 36 (2004) 1448.
18. C.E. Turick, L.S. Tisa, F. Caccavo, Jr. Melanin production and use as a soluble electron shuttle for Fe(III) oxide reduction and as a terminal electron acceptor by *Shewanella algae* BrY. *Appl. Environ. Microbiol.* 68(5) (2002) 2436.
19. О.О. Берестецький. Простий метод виявлення фітотоксичних речовин, утворюваних мікроорганізмами. *Мікробіол. журн.* 34 (1972) 798. / O.O. Berestetskyi. A simple method for detecting phytotoxic substances produced by microorganisms. *Microbiol. J.* 34 (1972) 798. (Ukr)
20. L.F. Stahl et al. Ozonized oleic acid as a new viticultural treatment? Study of the effect of LIQUENSO® oxygenate on the carpoplane microbial community and wine microorganisms combining metabarcoding and in vitro assays. *Ecologies* 3(3) (2022) 292.
21. X. Lai et al. Mixed application of microbial fertilizers reshapes the tobacco rhizosphere microbiome and enhances metabolic coordination to improve crop quality. *Front. Microbiol.* 16 (2025) 1726681.
22. A. Duque-Jaramillo et al. The genetic and physiological basis of *Arabidopsis thaliana* tolerance to *Pseudomonas viridiflava*. *New Phytol.* 240 (2023) 1961.
23. R. Ortiz-Castro et al. Pyocyanin, a virulence factor produced by *Pseudomonas aeruginosa*, alters root development through reactive oxygen species and ethylene signaling in *Arabidopsis*. *Mol. Plant-Microbe Interact.* 27(4) (2014) 364.
24. L.A. Meirelles, D.K. Newman. Both toxic and beneficial effects of pyocyanin contribute to the lifecycle of *Pseudomonas aeruginosa*. *Mol. Microbiol.* 110(6) (2018) 995.
25. Z. Zeng et al. Biofilm formation and heat stress induce pyomelanin production in deep-sea *Pseudoalteromonas* sp. SM9913. *Front. Microbiol.* 8 (2017) 1822.
26. F. Lorquin et al. New insights and advances on pyomelanin production: from microbial synthesis to applications. *J. Ind. Microbiol. Biotechnol.* 49(4) (2022) kuac013.
27. C.E. Turick et al. In situ uranium stabilization by microbial metabolites. *J. Environ. Radioact.* 99(6) (2008) 890.
28. M.F. Hamza et al. Functionalized biobased composite for metal decontamination – Insight on uranium and application to water samples collected from wells in mining areas (Sinai, Egypt). *Chem. Eng. J.* 431(1) (2022) 133967.
29. S. Qin et al. *Pseudomonas aeruginosa*: pathogenesis, virulence factors, antibiotic resistance, interaction with host, technology advances and emerging therapeutics. *Signal Transduct. Target. Ther.* 7 (2022) 199.

30. S. Basu et al. Effects of microbial signaling in plant growth and development. In: R. Prasad, S.-H. Zhang (Eds.). *Beneficial Microorganisms in Agriculture. Environmental and Microbial Biotechnology* (Singapore, Springer, 2022) p. 329.
31. R. Talaat et al. Quenching of quorum sensing in multi-drug resistant *Pseudomonas aeruginosa*: insights on halo-bacterial metabolites and gamma irradiation as channels inhibitors. *Ann. Clin. Microbiol. Antimicrob.* 23 (2024) 31.
32. J. López-Bucio et al. *Pseudomonas aeruginosa LasI*-dependent plant growth promotion requires the host nitrate transceptor AtNRT1.1/CHL1 and the nitrate reductases NIA1 and NIA2. *Planta* 258 (2023) 80.
33. O. Shalev et al. Commensal *Pseudomonas* protect *Arabidopsis thaliana* from a coexisting pathogen via multiple lineage-dependent mechanisms. *ISME J.* 16 (2022) 1235.
34. J. López-Hernández et al. Screening of phosphate solubilization identifies six *Pseudomonas* species with contrasting phyto-stimulation properties in *Arabidopsis* seedlings. *Microb. Ecol.* 86 (2023) 431.
35. F. Ghadamgahi et al. Plant growth-promoting activity of *Pseudomonas aeruginosa* FG106 and its ability to act as a biocontrol agent against potato, tomato and taro pathogens. *Biology* 11 (2022) 140.
36. W.S. da Cruz Nizer et al. Oxidative Stress Response in *Pseudomonas aeruginosa*. *Pathogens* 10(9) (2021) 1187.
37. W.S. da Cruz Nizer et al. Oxidative stress responses in biofilms. *Biofilm* 23(7) (2024) 100203.
38. Z. Saati-Santamaría et al. Comparative genomics of the genus *Pseudomonas* reveals host- and environment-specific evolution. *Microbiol. Spectr.* 10(6) (2022) e0237022.
39. B.V. Tchadi et al. PqsE adapts the activity of the *Pseudomonas aeruginosa* quorum-sensing transcription factor RhlR to both autoinducer concentration and promoter sequence identity. *J. Bacteriol.* 207(5) (2025) e0051624.
40. S. Mishra et al. Complexity of responses to ionizing radiation in plants, and the impact on interacting biotic factors. *Sci. Total. Environ.* 924 (2024) 171567.
41. E. Videvall, P. Burraco, G. Orizaola. Impact of ionizing radiation on the environmental microbiomes of Chernobyl wetlands. *Environ. Pollut.* 330 (2023) 121774.

Надійшла / Received 20.10.2025