

УДК 579-044.332:615.015.8

## A MODERN VIEW OF THE ADAPTATION CAPABILITIES OF MICROORGANISMS (REVIEW)

### СУЧАСНИЙ ПОГЛЯД НА АДАПТАЦІЙНІ МОЖЛИВОСТІ МІКРООРГАНІЗМІВ (ОГЛЯД)

**Mikheev A.A. / Міхєєв А.О.***PhD, associate professor / к.б.н., доцент*

ORCID: 0000-0003-2163-8866

*Bukovinian State Medical University,**2, Theatralna sq., Chernivtsi-city, 58002**Буковинський державний медичний університет,**Театральна площа, 2, м. Чернівці, 58002*

**Анотація.** Живі організми усіх рівнів організації пристосувалися до змінних умов навколишнього середовища, що є важливим моментом їх еволюції. Серед цього різноманіття мікроорганізми повсюдно поширені та існують в будь-якому середовищі. На сьогоднішній день розуміння процесів адаптації суттєво покращилося, проте залишається багато питань стосовно процесів адаптації саме прокариотів. Як показує наявна інформація адаптаційні механізми та можливості, що притаманні мікроорганізмам, є важливою складовою їх виживання та еволюціонування. При цьому вони не лише пристосувалися до змінних умов середовища, а й до організму людини. Тому, важливим є розширення знань про адаптаційні можливості патогенних та умовно-патогенних мікроорганізмів, що становлять безпосередню загрозу здоров'ю та життю людей через масовість отруєнь, гнійно-запальні та інші інфекційні захворювання. Особливо важливим є питання проблеми адаптації мікроорганізмів до антисептиків, дезінфектантів та антибіотиків, що створює суттєві перешкоди в боротьбі з інфекційними захворюваннями.

**Ключові слова:** адаптація, мікроорганізми, інфекційні захворювання.

**Abstract.** Living organisms of all levels of organization have adapted to changing environmental conditions, which is an important moment in their evolution. Among this diversity, microorganisms are ubiquitous and exist in any environment. Today, the understanding of adaptation processes has improved significantly, but many questions remain regarding the adaptation processes of prokaryotes in particular. As the available information shows, the adaptive mechanisms and capabilities inherent in microorganisms are an important component of their survival and evolution. At the same time, they have adapted not only to changing environmental conditions, but also to the human body. Therefore, it is important to expand knowledge about the adaptive capabilities of pathogenic and conditionally pathogenic microorganisms, which pose a direct threat to human health and life due to the mass of poisonings, purulent-inflammatory and other infectious diseases. Of particular importance is the issue of the problem of adaptation of microorganisms to antiseptics, disinfectants and antibiotics, which creates significant obstacles in the fight against infectious diseases.

**Key words:** adaptation, microorganisms, infectious diseases.

#### **Вступ.**

Здатність живих організмів пристосовуватися до змінних умов навколишнього середовища є важливим питанням сучасної еволюційної біології. Серед усього різноманіття мікроорганізми повсюдно поширені на Землі та

можуть жити в будь-якому середовищі. При цьому у складних гетерогенних середовищах та за умови екологічних зрушень, мікроби успішно адаптуються за допомогою різноманітних клітинних та молекулярних механізмів. Середовище їх існування коливається від холодних льодовиків до геотермальних вулканічних зон, від наземних до глибоководних, від лужних до кислотних середовищ, від прісноводних водойм до солончаків. Різноманітність екологічних мікробних ніш пояснюється універсальною адаптивною природою мікроорганізмів до коливань температури, доступності поживних речовин та рН [1]. І хоча на сьогодні розуміння процесів адаптації в середовищі суттєво покращилося, залишається ще багато питань стосовно процесів адаптації саме прокариотів [2]. Тому, однією із невирішених основних проблем адаптації є молекулярні та клітинні наслідки адаптаційних процесів у відповідь на мінливість середовища, а також як ці зміни можуть перетворитися на корисні для мікроорганізмів, проте шкідливі для людини адаптивні фенотипи. Це важливо з точки зору медицини та ветеринарії, де питання пристосування мікроорганізмів до антибіотиків та антисептиків є вкрай складною і важливою невирішеною проблемою.

**Огляд літератури.** Відомо, що адаптація є важливим процесом пристосування організмів усіх рівнів організації (від одноклітинних до багатоклітинних) до змінних та несприятливих факторів навколишнього середовища з метою збереження життєздатності й оптимального розвитку і розглядається як універсальне загально біологічне явище властиве всім живим істотам [3]. Основою процесів адаптації усіх живих організмів лежать процеси регуляції їх гомеостазу зі здатністю підтримувати сталість внутрішнього середовища. Адаптація проявляється на всіх рівнях організації організмів від генетичного до популяційного. Різноманітність і досконалість цих процесів дозволила мікроорганізмам заселити усі екологічні ніші з малоприспосабованими для існування умовами – від океанських глибин до кратерів вулканів. Зокрема, завдяки адаптації мікроорганізмів до різних забруднювачів у природі також здійснюються процеси самоочистки навколишнього середовища від шкідливих відходів діяльності людини [4].

У різноманітних природніх екосистемах часто мікроорганізми у процесі своєї життєдіяльності суттєво впливають на вищі трофічні форм життя, тому багато дослідників вважають мікросвіт основою життєзабезпечення біосфери [5]. При цьому вони здатні впливати на процеси, що відбуваються в ґрунті, воді, на поверхні рослин, у тваринних та людському організмах, створюючи при цьому передумови для розвитку тих або інших біоценозів і біогеоценозів – від мікробних плівок до мікробіома тіла людини та від морських глибин до вічної мерзлоти [6, 7]. Мікроорганізми різних форм організації чудово адаптуються до змін температури, тиску, джерел вуглецю, рівня рН, солоності води, а також вмісту в середовищі токсичних речовин. Також вони є дуже чутливими індикаторами, що чітко реагують на різноманітні зміни оточуючого середовища [8]. Відповідно мікроорганізми, подібно іншим живим організмам, залежно від інтенсивності впливу й тривалості певних факторів середовища дають на них адекватну відповідь. Часом таких екстремальних та пошкоджуючих факторів стає досить багато, тому у популяціях мікроорганізмів виникає ціла низка засобів захисту: від метаболічних механізмів до морфологічних пристосувань. Одним із таких особливих пристосувань у мікроорганізмів до умов середовища є мікробні біоплівки або мікроплівки, що є своєрідними мікробними товариствами, здатними ефективно протистояти, адаптуватися та поширюватися в екстремальних умовах [9]. Мікробні плівки різняться за метаболічною активністю, доступом до поживних речовин, а також ступенем пристосування до антибіотиків, антисептиків та організму-хазяїна [10, 11]. Біоплівки – це найуспішніші та найпоширеніші форми мікробного життя на Землі. Це вкрай складні структуровані скупчення клітин, прикріплених до поверхонь, що є динамічними біологічними системами, здатними реагувати на зміни середовища і це робить її унікальною та центральною ланкою для еволюції та адаптації мікробів.

Відомо, що мікроорганізми постійно адаптуються до умов свого мінливого існування, у тому числі й організму людини. Отже і вивчення механізмів виживання бактерій має дуже важливе значення для медицини, ветеринарії чи фармакології [12]. Стійкість мікроорганізмів до різних факторів середовища, їх

здатність утворювати біоплівки порушує таке важливе питання, що безпосередньо стосується здоров'я людини, як спеціальні, новітні методи стерилізації та зберігання продуктів харчування [13, 14]. Зокрема, деякі представники умовно-патогенних та патогенних мікроорганізмів, що контамінують продукти харчування, добре адаптувалися до різних методів консервування [15]. Це і кисле середовище, що виникає внаслідок бродіння молочнокислими бактеріями, осмотичний стрес через підвищену концентрацію солі, а також більш сучасні методики, такі як використання інгібіторів росту – бактеріоцинів та інших консервантів їжі. Окремо слід зазначити і адаптацію до заходів збереження їжі, які мають суто технічний характер – термічна обробка, високий тиск, імпульсні електричні поля та УФ випромінювання і до низьких температур і охолодження при зберіганні, зниженої концентрації кисню в атмосфері та навіть присутність захисних газів в навколишній атмосфері.

Також зміни адаптації мікроорганізмів до антибіотиків та антисептиків, які піддаються їх впливу, поява явища полірезистентності у представників патогенних мікроорганізмів може бути зумовлена надходженням в навколишнє середовище різноманітних органічних сполук (антибіотиків чи антисептиків у незначних чи слідових концентраціях), що здатні суттєво активувати процеси адаптації [16]. І хоча стійкість бактерій до антибіотиків розглядається як природне явище, проте вона може бути суттєво прискорена діяльністю людини через контрольоване вживання цих препаратів як для лікування інфекційних захворювань у людини та тварин. Це може стати причиною того, що новітні препарати, стають неефективними, що також впливає на розвиток мікробіологічної й фармакологічної промисловості [17].

З іншого боку, адаптація мікроорганізмів до антимікробних речовин, які використовує людина для боротьби з небажаною мікрофлорою, завдає великої шкоди в промисловості, медицині й інших сферах. Підвищення резистентності мікроорганізмів робить неефективними традиційні лікарські препарати різних груп при лікуванні інфекцій [18, 19]. Більше того, потрапивши в навколишнє середовище, антибіотики чи антисептики можуть впливати на природні мікробні

популяції та змінювати співвідношення між патогенними, умовно патогенними та корисними мікроорганізмами. Це може призводити до суттєвого прискорення процесів біодеструкції різноманітних матеріалів та виробів, порушення та погіршення стану здоров'я людини та спонукає до необхідності постійного пошуку нових антисептичних засобів з підвищенням їх ефективності.

При цьому мікроорганізмам притаманні складні механізми молекулярної адаптації, про існування яких ще відносно недавно не можна було навіть припустити [20]. Ці механізми стосуються різноманітних клітинних процесів у бактерій та грибків (від змін структури мембрани до продукції ферментів «антидотів»), а також молекулярно-генетичних механізмів у вірусів зі зміною стратегії реалізації власних нуклеїнових кислот у клітинах хазяїна. Мікроорганізми розробили низку ефективних стратегій пристосування до екстремальних умов навколишнього середовища. Наприклад, вони підтримують цілісність і пластичність клітинних мембран, модулюючи їх структуру та склад, а проникність та діяльність транспортерів регулюються для контролю транспорту поживних речовин та іонного обміну. Всередині мікробних клітин окремі фактори транскрипції активуються для посилення експресії генів, а специфічні шляхи передачі сигналу стимулюються для адаптації до змін навколишнього середовища. Крім того, мікробні клітини також мають налагоджені механізми репарації, що захищають макромолекули від пошкоджень, спричинених хімічними речовинами як навколишнього, так і внутрішнього середовища та іншими стрес-факторами – окислювальним, гіперосмотичним, термічним, кислотним тощо, які також суттєво позначаються на ферментативній активності мікробів [21]. Так само і віруси здатні пристосовуватися до факторів імунного пресингу організму людини чи тварин, а також дії противірусних препаратів, що зумовлює появу нових штамів, типів з розвитком епідемій чи пандемій [22]. При цьому деякі з них виявляються на стільки адаптованими до власних господарів, наприклад кажанів, як і господарі вірусів до даних патогенів, що останні практично не проявляють своєї патологічної дії [23]. Це можна розглядати як своєрідний симбіоз «патоген-

господар», хоча традиційно це не притаманно патогенним мікроорганізмам. Як результат – ми маємо множинну антибіотикорезистентність та нечутливість до противірусних препаратів.

### **Висновки.**

Таким чином, ефективні адаптаційні механізми та можливості, притаманні мікроорганізмам, є важливою складовою їх виживання та еволюціонування і одним із головних механізмів пристосування до змінних умов середовища, зокрема й організму людини. Особливо важливим є розширення знань про адаптаційні можливості патогенних та умовно-патогенних мікроорганізмів, забруднювачів харчових продуктів, що становлять безпосередню загрозу здоров'ю та життю людей через масовість отруєнь, а також гнійно-запальних та інших інфекційних захворювань людини та тварин. Окрім того, важливим є питання проблеми адаптації мікроорганізмів до антисептиків, дезінфектантів, та антибіотиків, що створює суттєві перешкоди в боротьбі з різноманітними інфекційними захворюваннями.

### **Список літератури:**

1. Wani, A. K., Akhtar, N., Sher, F., Navarrete, A. A., & Américo-Pinheiro, J. H. P. (2022). Microbial adaptation to different environmental conditions: molecular perspective of evolved genetic and cellular systems. *Archives of Microbiology*, 204(2), 144.
2. Reineke, W., & Schlömann, M. (2023). Microorganisms at different sites: Living conditions and adaptation strategies. In *Environmental Microbiology* (pp. 349-396). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
3. Tan, Y. S., Zhang, R. K., Liu, Z. H., Li, B. Z., & Yuan, Y. J. (2022). Microbial adaptation to enhance stress tolerance. *Frontiers in Microbiology*, 13, 888746.
4. Zecchin, S., Crognale, S., Zaccheo, P., Fazi, S., Amalfitano, S., Casentini, B., ... & Cavalca, L. (2021). Adaptation of microbial communities to environmental arsenic and selection of arsenite-oxidizing bacteria from contaminated groundwaters. *Frontiers in microbiology*, 12, 364.

5. Gonzalez, J. M., & Aranda, B. (2023). Microbial growth under limiting conditions-future perspectives. *Microorganisms*, 11(7), 1641.

6. Pathania, S., Solanki, P., Putatunda, C., Bhatia, R. K., & Walia, A. (2021). Adaptation to cold environment: the survival strategy of psychrophiles. In *Survival strategies in cold-adapted microorganisms* (pp. 87-111). Singapore: Springer Singapore.

7. Kochhar, N., Shrivastava, S., Ghosh, A., Rawat, V. S., Sodhi, K. K., & Kumar, M. (2022). Perspectives on the microorganism of extreme environments and their applications. *Current research in microbial sciences*, 3, 100134.

8. Kumawat, C., Kumar, A., Parshad, J., Sharma, S. S., Patra, A., Dogra, P., ... & Kumawat, G. L. (2022). Microbial diversity and adaptation under salt-affected soils: a review. *Sustainability*, 14(15), 9280.

9. Busi, S. B., Bourquin, M., Fodelianakis, S., Michoud, G., Kohler, T. J., Peter, H., ... & Battin, T. J. (2022). Genomic and metabolic adaptations of biofilms to ecological windows of opportunity in glacier-fed streams. *Nature communications*, 13(1), 2168.

10. Parrilli, E., Tutino, M. L., & Marino, G. (2022). Biofilm as an adaptation strategy to extreme conditions. *Rendiconti Lincei. Scienze Fisiche e Naturali*, 33(3), 527-536.

11. Rather, M. A., Gupta, K., Bardhan, P., Borah, M., Sarkar, A., Eldiehy, K. S., ... & Mandal, M. (2021). Microbial biofilm: A matter of grave concern for human health and food industry. *Journal of Basic Microbiology*, 61(5), 380-395.

12. Philipp, L. A., Bühler, K., Ulber, R., & Gescher, J. (2024). Beneficial applications of biofilms. *Nature Reviews Microbiology*, 22(5), 276-290.

13. Trubenová, B., Roizman, D., Moter, A., Rolff, J., & Regoes, R. R. (2022). Population genetics, biofilm recalcitrance, and antibiotic resistance evolution. *Trends in microbiology*, 30(9), 841-852.

14. Almatroudi, A. (2025). Biofilm resilience: Molecular mechanisms driving antibiotic resistance in clinical contexts. *Biology*, 14(2), 165.

15. Mgomi, F. C., Yang, Y. R., Cheng, G., & Yang, Z. Q. (2023). Lactic acid bacteria biofilms and their antimicrobial potential against pathogenic microorganisms.

Biofilm, 5, 100118.

16. Zafer, M. M., Mohamed, G. A., Ibrahim, S. R., Ghosh, S., Bornman, C., & Elfaky, M. A. (2024). Biofilm-mediated infections by multidrug-resistant microbes: a comprehensive exploration and forward perspectives. *Archives of Microbiology*, 206(3), 101.

17. Raza, S., Matuła, K., Karoń, S., & Paczesny, J. (2021). Resistance and adaptation of bacteria to non-antibiotic antibacterial agents: Physical stressors, nanoparticles, and bacteriophages. *Antibiotics*, 10(4), 435.

18. Dsouza, F. P., Dinesh, S., & Sharma, S. (2024). Understanding the intricacies of microbial biofilm formation and its endurance in chronic infections: a key to advancing biofilm-targeted therapeutic strategies. *Archives of Microbiology*, 206(2), 85.

19. Bazzicalupo, A. (2022). Local adaptation in fungi. *FEMS Microbiology Reviews*, 46(6), fuac026.

20. Debroy, A., George, N., & Mukherjee, G. (2022). Role of biofilms in the degradation of microplastics in aquatic environments. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, 97(12), 3271-3282.

21. Yu, Z. M. (2023). Evaluating extremophilic microorganisms in industrial regions. *Foods and Raw materials*, 11(1), 162-171.

22. Correa, A. M., Howard-Varona, C., Coy, S. R., Buchan, A., Sullivan, M. B., & Weitz, J. S. (2021). Revisiting the rules of life for viruses of microorganisms. *Nature Reviews Microbiology*, 19(8), 501-513.

23. Luo, X. Q., Wang, P., Li, J. L., Ahmad, M., Duan, L., Yin, L. Z., ... & Li, W. J. (2022). Viral community-wide auxiliary metabolic genes differ by lifestyles, habitats, and hosts. *Microbiome*, 10(1), 190.