

Лекція 3

Тема: Екологічні чинники та механізми адаптації мікроорганізмів до умов середовища

План

1. Основні екологічні чинники та закономірності їх впливу на життєдіяльність мікроорганізмів.
2. Вплив фізичних і фізико-хімічних чинників середовища на ріст, розвиток та метаболічну активність мікроорганізмів.
3. Біотичні взаємодії мікроорганізмів у природних і агроєкосистемах.
4. Механізми адаптації мікроорганізмів до мінливих і стресових умов середовища та їх значення у фітомікробіології.

Рекомендована література:

1. Векірчик К. М. Мікробіологія з основами вірусології / К. М. Векірчик. К.: Либідь, 2001. 312 с.
2. Векірчик К. М. Практикум з мікробіології / К. М. Векірчик. К.: Либідь, 2001. 142 с.
3. Бойко А. Л. Екологія вірусів рослин / А. Л. Бойко. К.: Вища школа, 1990. 164 с.
4. Мельничук М. Д. Фітовірусологія : навчальний посібник / М. Д. Мельничук. К.: Поліграфконсалтинг, 2005. 320 с.
5. Моніторинг вірусних інфекцій рослин в біоценозах України / В. П. Поліщук, І. Г. Будзанівська, С. М. Рижук та інш. / за редакцією В. П. Поліщука / К.: Фітосоціоцентр, 2001. 220 с.
6. Гуменюк, І. І. Актуальні питання біобезпеки у сучасних умовах. У О. І. Дребот, А. І. Парфенюк (Ред.), Екологічна та біологічна безпека України: моногр. 2022. Київ: Видавництво НУБіП України. С. 238–268.
7. Левішко, А., Мазур, С., & Гуменюк, І. Оцінка мікробного ценозу ґрунтів, що зазнали впливу активних військових дій. Інноваційні екологобезпечні технології рослинництва в умовах воєнного стану. 2023. Київ: ІАП. С. 95
8. Левішко, А. С. Агрономічно корисні мікроорганізми як основа біологічної безпеки сільського господарства. У С. Т. Омельчука (Ред.), Екологічні та гігієнічні проблеми сфери життєдіяльності людини. 2023. Київ: МВЦ «Медінформ». С. 125–126.
9. Віннічук Т., Коваленко О., Болоховська В. Біопрепарати проти хвороб. Пропозиція. 2013. № 4. С. 92–93.
10. Aasfar, A., Bargaz, A., Yaakoubi, K., Hilali, A., Bennis, I., Zeroual, Y., & Kadmiri, I. Nitrogen fixing Azotobacter species as potential soil biological enhancers for crop nutrition and yield stability. Frontiers in Microbiology. Sec. Microbiotechnology, 12. 2021.

11. Alori, E. T., Glick, B. R., & Babalola, O. O. Microbial phosphorus solubilization and its potential for use in sustainable agriculture. *Frontiers in Microbiology. Section Plant Pathogen Interactions*, 8. 2017.

12. Caracciolo, A. B., & Terenzi, V. Rhizosphere microbial communities and heavy metals. *Microorganisms*, 2021. №9(7), 1462 p.

Мета лекції: Сформувати у здобувачів вищої освіти системне уявлення про вплив екологічних чинників на життєдіяльність мікроорганізмів, закономірності їх поширення у природних та агроекосистемах, особливості взаємодії мікроорганізмів із рослинами та іншими компонентами біоценозів, а також механізми адаптації мікробних клітин до змін температури, вологості, кислотності, осмотичного тиску, забезпеченості киснем та інших параметрів середовища.

1. Основні екологічні чинники та закономірності їх впливу на життєдіяльність мікроорганізмів

Мікроорганізми є невід'ємною складовою природних і штучно створених екосистем. Вони населяють ґрунт, воду, повітря, рослинні та тваринні організми, органічні рештки та інші субстрати. Завдяки значній фізіологічній і метаболічній різноманітності мікроорганізми здатні існувати в надзвичайно широкому діапазоні умов середовища.

Екологія мікроорганізмів – розділ мікробіології, який вивчає закономірності існування, поширення та функціонування мікроорганізмів у природному середовищі, їх взаємодію між собою, з рослинами, тваринами та абіотичними компонентами екосистем.

У фітомікробіології особливе значення має дослідження взаємозв'язків між мікроорганізмами, рослинами та умовами середовища. Рослина фактично формує навколо себе складну мікробну систему. Найактивніші мікробіологічні процеси відбуваються у ризосфері – зоні ґрунту, що безпосередньо перебуває під впливом кореневої системи рослини.

Корені виділяють у навколишнє середовище цукри, амінокислоти, органічні кислоти, фенольні сполуки, вітаміни та інші речовини. Ці сполуки є джерелами вуглецю та енергії для багатьох представників ґрунтової мікробіоти. Тому чисельність і функціональна активність мікроорганізмів у ризосфері, як правило, значно вищі, ніж у ґрунті, який безпосередньо не контактує з кореннями.

Сукупність умов, які впливають на організм, називають екологічними чинниками. За походженням їх поділяють на три основні групи:

Абіотичні чинники – компоненти неживої природи: температура, вологість, світло, кислотність середовища, газовий склад, осмотичний тиск, концентрація солей, окисно-відновний потенціал, радіація тощо.

Біотичні чинники – вплив живих організмів один на одного. До них належать взаємодії між різними видами бактерій, грибів, архей, найпростіших, рослин та інших організмів.

Антропогенні чинники – зміни середовища, спричинені діяльністю людини. Для агроєкосистем важливими є обробіток ґрунту, застосування добрив, пестицидів, меліорантів, зрошення, осушення, вирощування монокультур, внесення органічних матеріалів та використання мікробних препаратів.

Дія будь-якого екологічного чинника характеризується певним діапазоном інтенсивності. Для кожного виду мікроорганізмів існують мінімум, оптимум і максимум певного чинника.

За оптимального значення забезпечуються найвища швидкість росту, розмноження та метаболічна активність. Наближення до мінімального або максимального значення призводить до пригнічення життєдіяльності. Перевищення меж толерантності може спричинити загибель клітини.

Важливо, що в природі екологічні чинники діють не ізольовано, а комплексно. Наприклад, вплив високої температури може посилюватися за дефіциту вологи, а кислотність ґрунту здатна змінювати доступність елементів живлення і токсичність окремих хімічних сполук.

Для мікроорганізмів ґрунту особливе значення мають температура, вологість, аерація, кислотність, наявність органічної речовини та доступних форм азоту, фосфору, сірки й інших елементів.

Ґрунт є надзвичайно неоднорідним середовищем. Навіть на відстані кількох міліметрів можуть істотно відрізнятись концентрація кисню, вологість, рН та кількість органічних речовин. Саме тому в ґрунтових агрегатах одночасно можуть формуватись мікрозони, сприятливі для аеробних і анаеробних мікроорганізмів.

Таким чином, екологічні чинники визначають не лише чисельність мікроорганізмів, але й видовий склад мікробних угруповань, швидкість біохімічних процесів, взаємодію з рослинами та загальний напрям трансформації органічних і мінеральних речовин в екосистемі.

2. Вплив фізичних і фізико-хімічних чинників середовища на ріст, розвиток та метаболічну активність мікроорганізмів

Життєдіяльність мікроорганізмів безпосередньо залежить від комплексу фізичних та фізико-хімічних характеристик середовища. Серед них найбільше значення мають температура, вода, кислотність, осмотичний тиск, кисень, світло та радіація.

Температура.

Температура є одним із найважливіших чинників, оскільки визначає швидкість біохімічних реакцій, активність ферментів, стан цитоплазматичної мембрани та інтенсивність росту клітин.

Для кожного мікроорганізму характерні три температурні точки:

- мінімальна температура – найнижче значення, за якого можливий ріст;
- оптимальна температура – забезпечує найбільшу швидкість росту;
- максимальна температура – верхня межа, за якою ріст припиняється.

За температурними вимогами мікроорганізми умовно поділяють на психрофільні, психротолерантні, мезофільні, термофільні та гіпертермофільні.

Психрофільні мікроорганізми пристосовані до низьких температур. Вони зустрічаються у холодних ґрунтах, водоймах, снігу, льодовиках.

Мезофільні мікроорганізми розвиваються переважно за помірних температур. До цієї групи належить значна частина ґрунтових і фітопатогенних бактерій.

Термофільні мікроорганізми здатні активно розвиватися за підвищених температур. Вони відіграють важливу роль у процесах компостування органічних матеріалів.

Висока температура може спричиняти денатурацію білків, порушення функціонування мембран і нуклеїнових кислот. Низька температура передусім уповільнює ферментативні реакції та транспорт речовин через мембрану.

Температурний режим ґрунту має безпосереднє агрономічне значення. Навесні прогрівання ґрунту активізує мінералізацію органічної речовини, амоніфікацію та нітрифікацію, внаслідок чого збільшується доступність елементів живлення для рослин.

Вода та вологість

Вода є обов'язковим компонентом мікробної клітини та середовищем, у якому відбувається більшість біохімічних реакцій.

Зменшення доступності води призводить до уповільнення росту мікроорганізмів, порушення транспорту поживних речовин та зниження активності ферментів.

Для оцінювання доступності води застосовують показник активності води (aw). Чим менше води доступно для клітини, тим сильнішим є осмотичний стрес.

Бактерії переважно потребують більшої кількості доступної води порівняно з багатьма грибами. Саме тому за підсихання ґрунту співвідношення між бактеріальною та грибною складовими мікробіоти може змінюватися.

Дефіцит вологи сприяє переходу окремих мікроорганізмів у стан зниженої метаболічної активності та формуванню стійких структур.

Реакція середовища

Кислотність або лужність середовища суттєво впливає на функціонування ферментів, проникність мембран, транспорт поживних речовин та доступність хімічних елементів.

Більшість бактерій найактивніше розвивається у середовищі з реакцією, близькою до нейтральної. Гриби часто краще переносять кислі умови.

За відношенням до рН розрізняють:

- ацидофіли – пристосовані до кислого середовища;
- нейтрофіли – віддають перевагу близьким до нейтральних значенням;

- алкалофіли – здатні розвиватися у лужних умовах.

У ґрунті рН є одним із головних факторів формування структури мікробного угруповання. Зміна кислотності впливає на процеси нітрифікації, азотфіксації, розкладання органічної речовини та мобілізації фосфатів.

Для агрономії це має особливе значення, оскільки вапнування кислих ґрунтів змінює не лише їх фізико-хімічні властивості, але й склад та активність ґрунтової мікробіоти.

Осмотичний тиск

Висока концентрація розчинених речовин у середовищі створює осмотичний стрес. За таких умов вода виходить із клітини, що може призводити до плазмолізу.

Мікроорганізми, здатні існувати за високої концентрації солей, називають галофілами, а організми, що витримують підвищену солоність, – галотолерантними.

Адаптація до осмотичного стресу часто пов'язана з накопиченням усередині клітини сумісних осмолітів – речовин, які сприяють утриманню води без порушення основних метаболічних процесів.

Кисень

За відношенням до молекулярного кисню мікроорганізми поділяють на:

- облігатні аероби;
- факультативні анаероби;
- облігатні анаероби;
- мікроаерофіли;
- аеротолерантні анаероби.

Аеробні мікроорганізми використовують кисень у процесах клітинного дихання. Облігатні анаероби, навпаки, можуть бути чутливими до його присутності.

В агроєкосистемах кисневий режим тісно пов'язаний зі структурою та вологістю ґрунту. Перезволоження призводить до заповнення ґрунтових пор водою і зменшення надходження кисню. Унаслідок цього активність аеробних мікроорганізмів знижується, натомість посилюються анаеробні процеси.

Світло та випромінювання

Для фототрофних мікроорганізмів світло є джерелом енергії. Водночас інтенсивне ультрафіолетове випромінювання має пошкоджувальну дію, оскільки може спричиняти зміни структури ДНК.

Для захисту від випромінювання мікроорганізми використовують пігменти, системи репарації ДНК, антиоксидантні механізми та інші способи клітинного захисту.

3. Біотичні взаємодії мікроорганізмів у природних і агроєкосистемах

У природних умовах мікроорганізми практично ніколи не існують ізольовано. Вони входять до складу складних мікробних угруповань, у яких між окремими популяціями виникають різноманітні форми взаємодії.

До основних типів біотичних взаємодій належать мутуалізм, коменсалізм, синергізм, конкуренція, антагонізм, паразитизм і хижацтво.

Мутуалізм

Мутуалізм — форма взаємовигідних відносин, за яких обидва партнери отримують певні переваги.

Класичним прикладом у фітомікробіології є взаємодія бульбочкових бактерій із бобовими рослинами. Бактерії отримують від рослини органічні сполуки, а рослина завдяки діяльності мікроорганізмів одержує біологічно фіксований азот.

Важливе значення мають також мікоризні асоціації, у яких гриби покращують надходження до рослин води та мінеральних елементів, особливо фосфору.

Коменсалізм

За коменсалізму один організм отримує користь, тоді як для іншого така взаємодія не має істотних позитивних або негативних наслідків.

Наприклад, один мікроорганізм може використовувати продукти метаболізму іншого як джерело живлення.

Синергізм

Синергізм проявляється у посиленні певного процесу за спільної діяльності декількох видів мікроорганізмів. Такі взаємодії мають важливе значення під час розкладання складних органічних речовин.

Один вид може здійснювати первинне руйнування полімеру, а інший використовувати утворені простіші сполуки.

Конкуренція

Мікроорганізми постійно конкурують за поживні речовини, простір, воду, кисень та інші ресурси.

Конкурентні взаємодії особливо важливі у ризосфері, де значна кількість мікроорганізмів використовує кореневі виділення рослин.

Корисні ризосферні бактерії можуть обмежувати розвиток фітопатогенів завдяки швидшій колонізації кореневої поверхні та ефективнішому використанню доступних поживних речовин.

Антагонізм

Антагонізм — форма взаємодії, за якої один мікроорганізм пригнічує розвиток іншого.

Механізмами антагонізму можуть бути:

- синтез антибіотичних речовин;
- утворення бактеріоцинів;
- продукування органічних кислот;

- виділення ферментів;
- конкуренція за залізо за допомогою сидерофорів;
- зміна рН середовища;
- конкуренція за субстрат.

Антагоністичні властивості мікроорганізмів широко використовують у біологічному захисті рослин.

Представники родів *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Trichoderma* та інших мікроорганізмів можуть пригнічувати розвиток окремих фітопатогенів і входити до складу біологічних препаратів.

Паразитизм

За паразитизму один організм використовує іншого як середовище існування та джерело поживних речовин, завдаючи йому шкоди.

Фітопатогенні бактерії та гриби є важливою групою паразитичних мікроорганізмів. Їх розвиток залежить не лише від сприйнятливості рослини-господаря, але й від температури, вологості, мікробного оточення та фізіологічного стану рослини.

Отже, прояв хвороби є результатом складної взаємодії щонайменше трьох складових: патогену, рослини-господаря та середовища.

Мікробіом рослин

Сучасна фітомікробіологія значну увагу приділяє поняттю мікробіому рослин – сукупності мікроорганізмів, асоційованих із рослиною, та їх генетичного потенціалу.

Розрізняють мікробіоту:

- ризосфери;
- ризоплани;
- філосфери;
- ендосфери.

Мікроорганізми ризосфери заселяють ґрунт поблизу коренів. Ризопланні мікроорганізми безпосередньо колонізують поверхню коренів. Представники філосфери мешкають на надземних органах рослини, а ендofітні мікроорганізми здатні заселяти внутрішні тканини без обов'язкового спричинення патологічного процесу.

Корисна мікробіота може сприяти живленню рослин, синтезувати фітогормони, підвищувати стійкість до стресових факторів та обмежувати розвиток патогенів.

Таким чином, рослина та асоційована з нею мікробіота утворюють складну функціональну систему, стан якої значною мірою визначає здоров'я рослин.

4. Механізми адаптації мікроорганізмів до мінливих і стресових умов середовища та їх значення у фітомікробіології

Однією з найважливіших властивостей мікроорганізмів є здатність швидко реагувати на зміни навколишнього середовища.

Адаптація мікроорганізмів – сукупність структурних, фізіологічних, біохімічних і генетичних змін, які забезпечують підтримання життєдіяльності та виживання популяції за певних умов середовища.

Мікроорганізми характеризуються високою швидкістю розмноження, значною чисельністю популяцій та генетичною мінливістю. Це створює передумови для швидкої адаптації до змін температури, вологості, рН, концентрації солей, токсичних речовин та інших чинників.

Фізіологічна адаптація.

Фізіологічна адаптація відбувається без обов'язкової зміни генотипу. Клітина змінює активність метаболічних шляхів відповідно до наявних умов.

Наприклад, за нестачі певного джерела вуглецю бактерії можуть активувати ферменти, необхідні для використання альтернативних субстратів.

За дефіциту кисню факультативні анаероби можуть перебудовувати енергетичний метаболізм і переходити від аеробного дихання до інших шляхів отримання енергії.

Структурна адаптація.

Важливим механізмом є зміна структури клітинної оболонки та мембран.

За низьких температур мікроорганізми можуть змінювати склад мембранних ліпідів таким чином, щоб підтримувати необхідну плинність мембрани.

За високих температур, навпаки, необхідно забезпечити її структурну стабільність.

У деяких бактерій несприятливі умови спричиняють утворення **ендоспор**. Ендоспори характеризуються високою стійкістю до висушування, нагрівання та дії багатьох хімічних речовин. Спороутворення є механізмом виживання, а не способом розмноження бактерій.

Утворення біоплівки.

Одним із важливих адаптивних механізмів є формування біоплівки.

Біоплівка – структуроване угруповання мікроорганізмів, клітини якого прикріплені до поверхні та оточені утвореним ними позаклітинним матриксом.

У складі біоплівки клітини можуть бути краще захищені від:

- висушування;
- ультрафіолетового випромінювання;
- токсичних речовин;
- коливань рН;
- дії антимікробних сполук;
- інших несприятливих факторів.

У фітомікробіології утворення біоплівки має подвійне значення. Корисні мікроорганізми завдяки їм ефективніше колонізують поверхню коренів, але аналогічний механізм можуть використовувати й фітопатогенні бактерії.

Адаптація до осмотичного стресу.

За посухи або засолення знижується доступність води. Для запобігання надмірній втраті води клітини можуть накопичувати **сумісні осмоліти**.

До таких сполук належать певні амінокислоти, похідні амінокислот, цукри та інші низькомолекулярні органічні речовини.

Вони допомагають підтримувати осмотичний баланс і водночас не порушують функціонування ферментів.

Захист від окиснювального стресу.

У процесі життєдіяльності клітини можуть утворюватися активні форми кисню, які пошкоджують білки, мембрани та ДНК.

Для їх нейтралізації мікроорганізми використовують ферментативні антиоксидантні системи, зокрема каталазу та супероксиддисмутазу.

Особливе значення це має для мікроорганізмів, асоційованих із рослинами, оскільки під час захисної реакції рослини на проникнення патогену може відбуватися інтенсивне утворення активних форм кисню.

Стресові білки.

За різкої зміни температури клітини синтезують спеціальні стресові білки.

Білки теплового шоку допомагають стабілізувати структуру інших білків і запобігають їх неправильному згортанню.

За холодового стресу синтезуються білки, які сприяють підтриманню нормальної роботи клітинних структур за низьких температур.

Генетичні механізми адаптації.

Довготривала адаптація популяцій пов'язана з генетичною мінливістю.

Джерелами мінливості є мутації, рекомбінаційні процеси та горизонтальний перенос генів.

У бактерій горизонтальний перенос генетичного матеріалу може здійснюватися шляхом:

- трансформації;
- трансдукції;
- кон'югації.

Ці процеси сприяють швидкому поширенню генетичних ознак, які можуть забезпечувати пристосування до нових екологічних умов.

Quorum sensing.

Важливим сучасним напрямом мікробіології є дослідження **quorum sensing** – механізму хімічної комунікації між клітинами бактерій.

Мікроорганізми синтезують і виділяють сигнальні молекули. Коли чисельність популяції збільшується і концентрація таких молекул досягає певного рівня, відбувається узгоджена зміна експресії генів.

За допомогою цього механізму бактерії можуть координувати:

- формування біоплівки;
- синтез ферментів;
- утворення вторинних метаболітів;
- рухливість;
- взаємодію з рослиною;
- прояв окремих факторів вірулентності.

Адаптація мікроорганізмів у системі «рослина – мікробіом – середовище».

У сучасній фітомікробіології адаптацію мікроорганізмів доцільно розглядати не ізольовано, а в межах системи «рослина – мікробіом – середовище».

Рослина змінює хімічні та фізичні властивості свого мікрооточення, виділяє органічні сполуки та формує специфічні умови для колонізації певними групами мікроорганізмів.

У свою чергу, мікробіота може впливати на:

- мінеральне живлення рослин;
- доступність фосфору та інших елементів;
- біологічну фіксацію азоту;
- синтез фітогормонів;
- стійкість рослин до посухи та засолення;
- захист від фітопатогенів;
- формування системної стійкості рослини.

Зміни кліматичних умов, зокрема підвищення температури, нерівномірність опадів, тривалі посушливі періоди та інші стресові явища, здатні змінювати структуру ґрунтових і рослинно-асоційованих мікробних угруповань.

Тому дослідження адаптаційного потенціалу корисних мікроорганізмів набуває важливого практичного значення для сучасного рослинництва.

Перспективним напрямом є створення та застосування мікробних препаратів, до складу яких входять мікроорганізми, здатні не лише стимулювати ріст рослин, але й зберігати функціональну активність за несприятливих умов.

Питання для контролю знань

1. Що розуміють під екологічними чинниками та на які основні групи їх поділяють?
2. Яке значення мають мінімум, оптимум і максимум екологічного чинника для розвитку мікроорганізмів?
3. Як температура впливає на ріст і метаболічну активність мікроорганізмів?
4. Яке значення мають вологість і активність води для життєдіяльності мікробних клітин?
5. Як реакція середовища впливає на склад та активність ґрунтової мікробіоти?

6. На які групи поділяють мікроорганізми залежно від їх відношення до кисню?
7. Які основні типи біотичних взаємодій характерні для мікроорганізмів?
8. У чому полягає значення мікробіому ризосфери для росту та здоров'я рослин?
9. Які фізіологічні, структурні та генетичні механізми забезпечують адаптацію мікроорганізмів до стресових умов?
10. Яке значення має утворення біоплівки для виживання мікроорганізмів?
11. Що таке quorum sensing та яку роль він відіграє у життєдіяльності бактеріальних популяцій?
12. Яке практичне значення має вивчення адаптивного потенціалу мікроорганізмів для сучасного рослинництва?