Лекція: Роль мікроорганізмів у первинному ґрунтоутворювальному процесі, утворенні перегною і структури ґрунту. Мікробіологічні основи підвищення родючості ґрунтів

Дисципліна: «Сільськогосподарська мікробіологія»
Спеціальність: «Агрономія»

Мета лекції

План

1. Мікроорганізми ґрунтів.
2. Ґрунт як середовище проживання мікроорганізмів.
3. Мікроорганізми ґрунту та методи визначення їх складу.
4. Роль мікроорганізмів у формуванні ґрунтів і їхньої родючості.
5. Процес утворення ґрунту й діяльність мікроорганізмів.
6. Мікроорганізми у створенні родючості ґрунтів.

1. Мікроорганізми ґрунтів

Ґрунтове мікронаселення — це спільнота мікроорганізмів, які живуть у ґрунті або тимчасово потрапляють до нього. До нього належать бактерії, археї, гриби, дріжджі, водорості, найпростіші та віруси. Ці організми різняться за розміром, способом живлення, потребою в кисні та функціями в екосистемі.

Основні функціональні групи

Група	**Основна роль у ґрунті**
Бактерії	Розкладання доступних органічних сполук, перетворення азоту, участь у мобілізації поживних елементів
Актиноміцети	Розкладання складних органічних решток; утворення характерного запаху ґрунту
Гриби	Розкладання целюлози, геміцелюлози та лігніну; формування гіфальної мережі й мікоризних зв’язків
Ціанобактерії та мікроскопічні водорості	Фотосинтез, утворення органічної речовини; в окремих груп — азотфіксація
Найпростіші	Споживання бактерій та інших дрібних організмів; регуляція чисельності мікробних популяцій
Археї	Участь у низці процесів циклу азоту й вуглецю; деякі окиснюють амоній

Група	Основна роль у ґрунті
Віруси	Інфікування мікроорганізмів; вплив на обмін речовин і чисельність популяцій

У ґрунті мікроорганізми живуть не ізольовано, а взаємодіють між собою та з рослинами, тваринами й мінеральними частинками. Вони можуть конкурувати за субстрати, пригнічувати одне одного, співіснувати або формувати корисні асоціації з коренями.

2. Ґрунт як середовище проживання мікроорганізмів

Ґрунт — багатофазне й просторово неоднорідне середовище. У ньому є тверда мінеральна й органічна фази, вода та повітря. Співвідношення цих компонентів визначає, де можуть жити мікроорганізми й які процеси вони здійснюватимуть.

Основні мікросередовища

- **Ґрунтові агрегати:** частинки, з’єднані органічними й мінеральними речовинами.
- **Пори:** дрібні пори утримують воду, а більші часто забезпечують рух повітря.
- **Ризосфера:** зона навколо коренів, збагачена кореневими виділеннями.
- **Поверхня рослинних решток:** місце активного розкладання органічної речовини.
- **Поверхня мінеральних частинок:** ділянка, де органічні речовини й мікробні продукти можуть взаємодіяти з мінералами.

Через неоднорідність ґрунту поруч можуть існувати мікрозони з різною вологістю, кислотністю, кількістю кисню та доступністю поживних речовин. Тому в одному зразку ґрунту можуть одночасно відбуватися аеробні й анаеробні процеси.

Чинники, що впливають на життєдіяльність мікроорганізмів

1. **Вологість.** Вода потрібна для перебігу біохімічних реакцій, але надмірне зволоження обмежує газообмін.
2. **Кисень.** Визначає, чи переважають аеробні процеси, чи мікроорганізми використовують інші шляхи обміну.
3. **Температура.** Впливає на швидкість росту та активність ферментів.
4. **Реакція ґрунту (pH).** Впливає на доступність поживних речовин і склад угруповання.
5. **Органічна речовина.** Дає більшості ґрунтових гетеротрофів вуглець та енергію.
6. **Механічний склад і структура.** Визначають утримання води, повітряний режим і доступність поверхонь для заселення.

3. Мікроорганізми ґрунту та методи визначення їх складу

Метод дослідження обирають залежно від запитання. Щоб з'ясувати, **які організми присутні**, використовують одні методи; щоб оцінити, **наскільки активно вони працюють**, — інші.

3.1. Культуральні методи

З ґрунту готують суспензію та висівають її на поживні середовища. За колоніями визначають кількість мікроорганізмів, здатних рости за заданих умов.

Переваги:

- дають змогу отримати чисту культуру;
- дозволяють дослідити властивості ізоляту;
- підходять для оцінювання окремих функціональних груп на вибіркових середовищах.

Обмеження: не всі організми ростуть на лабораторних середовищах або утворюють колонії за вибраних умов. Тому культуральний підрахунок не є повним переписом ґрунтового мікронаселення.

3.2. Мікроскопічні методи

Мікроскопію використовують для спостереження за клітинами, гіфами грибів і найпростішими. Забарвлення та спеціальні флуоресцентні методи допомагають розрізняти групи й оцінювати окремі властивості клітин.

Обмеження: за формою клітини часто неможливо точно визначити її вид або функцію.

3.3. Молекулярні методи

- **ПЛР та qPCR** — виявлення або кількісна оцінка певних генів чи груп.
- **Секвенування маркерних генів** — вивчення різноманіття бактерій, архей або грибів.
- **Метагеноміка** — аналіз сукупної ДНК для оцінювання генетичного потенціалу угруповання.
- **Метатранскриптоміка** — аналіз РНК для з'ясування, які гени експресуються в момент відбору проби.

Наявність ДНК свідчить про присутність генетичного матеріалу, але не обов'язково про активність організму. Тому молекулярні дані бажано доповнювати вимірюваннями біомаси та швидкості процесів.

3.4. Визначення мікробної активності

Активність оцінюють за показниками процесів, які відбуваються в ґрунті:

- виділення CO_2 або споживання O_2;
- активність ферментів, наприклад уреази, фосфатази чи дегідрогеназ;
- швидкість розкладання органічних решток;

- інтенсивність нітрифікації, денітрифікації або мінералізації;
- зміни кількості доступних форм поживних елементів.

Для об’єктивного порівняння ділянок важливо відбирати проби на однаковій глибині й за подібної вологості, зберігати їх однаково та паралельно визначати основні властивості ґрунту: pH, вологість і вміст органічної речовини.

4. Роль мікроорганізмів у формуванні ґрунтів і їхньої родючості

4.1. Вивітрювання гірських порід

Під час первинного ґрунтоутворення мікроорганізми заселяють поверхню материнської породи. Бактерії, гриби, водорості й лишайники:

- виділяють органічні кислоти та інші метаболіти;
- сприяють розчиненню й перетворенню мінералів;
- беруть участь у вивільненні елементів, зокрема фосфору, заліза й калію;
- накопичують органічний матеріал, який стає ресурсом для інших організмів.

Ці процеси відбуваються разом із фізичним та хімічним вивітрюванням, а їхня інтенсивність залежить від води, температури, материнської породи й клімату.

4.2. Розкладання рослинних і тваринних решток

Мікроорганізми виробляють позаклітинні ферменти, які розщеплюють великі органічні молекули на простіші сполуки. У загальному вигляді процес можна описати так:

рослинні рештки → простіші органічні сполуки → мікробна біомаса й метаболіти → CO_2, вода та нові органічні сполуки ґрунту

Частина вуглецю витрачається на дихання, частина входить до складу мікробних клітин, а частина залишається у вигляді продуктів перетворення органічної речовини. Утворення і збереження органічної речовини залежать не лише від її хімічного складу, а й від взаємодії мікробних продуктів із мінералами та від фізичного захисту всередині агрегатів.

4.3. Утворення перегною та ґрунтової органічної речовини

У навчальній традиції **перегній**, або гумус, — це темна, відносно стійка органічна частина ґрунту, що утворюється під час перетворення решток рослин, тварин і мікроорганізмів.

Мікроорганізми сприяють цьому процесу кількома шляхами:

1. розкладають рослинні полімери, зокрема целюлозу й лігнін;
2. перетворюють частину рослинного вуглецю на власну біомасу;
3. виділяють органічні метаболіти;
4. після загибелі залишають клітинні рештки — **мікробний некромас**;

5. мікробні продукти й рештки можуть з’єднуватися з мінеральними поверхнями або фізично захищатися в агрегатах.

Важливе сучасне уточнення: ґрунтову органічну речовину не варто уявляти лише як набір окремих, надзвичайно стійких «гумусових молекул». Сучасні дослідження описують її як суміш органічних речовин різного походження й ступеня розкладання, частина яких стабілізується взаємодією з мінералами та фізичним захистом у ґрунтових агрегатах. Мікробний некромас є важливим внеском у формування ґрунтової органічної речовини.

4.4. Участь у формуванні структури ґрунту

Ґрунтова структура — це спосіб розміщення та об’єднання ґрунтових частинок у агрегати. Мікроорганізми беруть участь у формуванні й стабілізації агрегатів завдяки:

- **гіфам грибів**, які переплітають частинки ґрунту;
- **позаклітинним полімерним речовинам** — EPS, до складу яких можуть входити полісахариди, білки та інші сполуки;
- **біоплівкам**, що сприяють прикріпленню клітин до поверхонь;
- продуктам розкладання й мікробним рештам, які взаємодіють із частинками глини та мінералами;
- мікоризним зв’язкам, що змінюють освоєння коренями ґрунтового простору.

Агрегати важливі для водопроникності, аерації, утримання вологи та стійкості ґрунту до ерозії. Утворення агрегатів залежить не лише від мікроорганізмів, а й від рослинних коренів, тварин, мінерального складу, катіонів і способу обробітку.

5. Процес утворення ґрунту й діяльність мікроорганізмів

Первинне ґрунтоутворення можна подати як послідовність взаємопов’язаних етапів.

Етап 1. Заселення материнської породи

На поверхні породи оселяються мікроорганізми, лишайники та мікроскопічні водорості. Вони використовують доступні джерела енергії й вуглецю, частково вивітрюють породу та створюють перші осередки органічної речовини.

Етап 2. Накопичення органічного матеріалу

Після появи перших рослин і мікробних угруповань до поверхні надходять органічні рештки. Бактерії та гриби починають їх розкладати, а продукти перетворень стають поживою для наступних груп організмів.

Етап 3. Розвиток ґрунтового профілю

З накопиченням мінеральних частинок і органічної речовини ґрунт стає придатним для більшої кількості мікроорганізмів, рослин і ґрунтових тварин. Відбуваються переміщення речовин, формування горизонтів і зміни складу ґрунту.

Етап 4. Формування структури й біологічного кругообігу

Корені, гіфи, мікробні полімери, органічні сполуки та мінерали беруть участь у формуванні агрегатів. Мікроорганізми підтримують цикли вуглецю, азоту, фосфору та сірки. На кожному етапі процес залежить від клімату, материнської породи, рельєфу, живих організмів і часу.

Цю послідовність не слід розуміти як однаковий для всіх місць лінійний сценарій. Ґрунтоутворення йде з різною швидкістю залежно від умов, а біологічні процеси взаємодіють із фізичними та хімічними.

6. Мікроорганізми у створенні родючості ґрунтів

Родючість ґрунту — здатність забезпечувати рослини необхідними умовами для росту: водою, повітрям, теплом і поживними речовинами. Мікроорганізми підтримують ці властивості через низку процесів.

Основні мікробіологічні процеси

Процес	Значення для ґрунту й рослин
Мінералізація органічної речовини	Вивільнення елементів живлення з органічних решток
Іммобілізація	Тимчасове включення доступних елементів у мікробну біомасу
Азотфіксація	Переведення атмосферного азоту у форми, які можуть увійти до біологічного кругообігу
Нітрифікація	Перетворення амонію на нітрат
Денітрифікація	Відновлення нітрату; за певних умов призводить до газоподібних втрат азоту
Мобілізація фосфору та інших елементів	Перехід частини малодоступних сполук у доступніші форми
Мікориза	Розширення зони засвоєння води й поживних елементів кореневою системою
Біологічна стабілізація агрегатів	Сприяння формуванню структури й пористості ґрунту

Мікробіологічні основи підвищення родючості

1. **Підтримувати надходження органічної речовини.** Повернення рослинних решток, використання органічних добрив і покривних культур забезпечують мікроорганізмам субстрати та сприяють кругообігу елементів.

2. **Зберігати структуру ґрунту.** Обмеження надмірного ущільнення й обробітку допомагає зберегти пори, агрегати та мікросередовища.

3. **Регулювати водний режим.** Застій води обмежує аерацію, а посуха пригнічує багато мікробних процесів.

4. **Ураховувати реакцію ґрунту.** Вапнування кислих ґрунтів або інші заходи коригування pH можуть змінювати доступність поживних речовин і склад мікробних угруповань.

5. **Застосовувати сівозміну.** Різноманітність кореневих систем і решток створює різні ресурси для мікроорганізмів.

6. **Розумно використовувати добрива й засоби захисту рослин.** Надмірні або недоцільні внесення можуть змінювати середовище й порушувати корисні взаємодії.

7. **Добирати мікробні інокулянти за конкретною метою.** Інокулянт може бути корисним лише тоді, коли штам сумісний із культурою та здатен функціонувати в ґрунтових умовах. Саме внесення мікроорганізму не гарантує однакового ефекту на всіх полях.

Ґрунтові організми впливають на родючість, допомагаючи перетворювати поживні речовини, утримувати їх у біологічному кругообігу й підтримувати структуру.

Основні висновки

- Мікроорганізми беруть участь у вивітрюванні материнської породи, накопиченні органічної речовини та формуванні ґрунтових горизонтів.
- Перегній і ґрунтова органічна речовина утворюються внаслідок перетворення рослинних, тваринних і мікробних решток; їх збереження залежить від взаємодії з мінералами та фізичного захисту в агрегатах.
- Мікробні гіфи, позаклітинні полімери й біоплівки можуть сприяти об’єднанню частинок у агрегати.
- Культуральні, мікроскопічні та молекулярні методи описують різні сторони мікробного населення; для оцінки функцій їх варто поєднувати з вимірюванням активності.
- Мікробна родючість підтримується керуванням органічними рештками, структурою, вологістю, кислотністю та сівозміною.

Запитання для самоконтролю

1. Які групи мікроорганізмів беруть участь у первинному ґрунтоутворенні?
2. Як мікроорганізми сприяють вивітрюванню материнської породи?
3. Яку роль відіграють мікробна біомаса й некромас у формуванні ґрунтової органічної речовини?
4. Як гіфи грибів і позаклітинні полімери впливають на структуру ґрунту?
5. Чим відрізняється визначення складу мікроорганізмів від вимірювання їхньої активності?
6. Які агрономічні заходи можуть підтримувати корисні мікробіологічні процеси?