

Міністерство освіти і науки України
Національний університет водного господарства та
природокористування
Навчально-науковий інститут агроекології та землеустрою
Кафедра екології, технології захисту навколишнього
середовища та лісового господарства

05-02-477М

Методичні вказівки

до супроводу лекційних занять
з навчальної дисципліни **«Мікробіологія»**
для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня
за освітньо-професійною програмою «Технології захисту
навколишнього середовища» спеціальності 183 «Технології
захисту навколишнього середовища»
денної та заочно форм навчання

Рекомендовано науково-
методичною радою з
якості ННІ агроекології та
землеустрою
Протокол № 11 від 07.02.2024 р.

Рівне – 2024

Методичні вказівки до супроводу лекційних занять з навчальної дисципліни «**Мікробіологія**» для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня за освітньо-професійною програмою «Технології захисту навколишнього середовища» спеціальності 183 «Технології захисту навколишнього середовища» денної та заочно форм навчання. [Електронне видання] / Борщевська І. М. – Рівне : НУВГП, 2021 – 65 с.

Укладач: Борщевська І. М., к.с.г.н., доцент кафедри екології, технології захисту навколишнього середовища та лісового господарства.

Відповідальний за випуск: Клименко М. О., доктор с.-г. наук, професор, завідувач кафедри екології.

Керівник групи забезпечення спеціальності 183 «Технології захисту навколишнього середовища» - Статник І. І., к.с.г.н., доцент кафедри екології, технології захисту навколишнього середовища та лісового господарства.

© І. М. Борщевська, 2024
© НУВГП, 2024

Зміст

Тема №1.	Вступ. Предмет, проблеми і завдання мікробіології	4
Тема №2.	Морфологія і ультраструктура прокариотів	10
Тема №3.	Систематика бактерій	24
Тема №4.	Генетика бактерій	29
Тема №5.	Фізіологія мікроорганізмів	37
Тема №6.	Екологія мікроорганізмів. Мікроорганізми як компоненти екосистем.	43
Тема №7.	Перетворення азотистих сполук в ґрунті з участю мікроорганізмів	50
Тема №8.	Коротко про мікрофлору організму людини	57
	Список літератури	65

Тема 1. Вступ. Предмет, проблеми і завдання мікробіології

План.

1. Мікробіологія – наука про життєдіяльність мікробів.
2. Основні напрямки розвитку і проблеми які стоять перед мікробіологією.
3. Роль мікроорганізмів у природі і житті людського суспільства.
4. Специфіка сучасних методів дослідження в мікробіології.
5. Розвиток мікробіології і вірусології в Україні.

1. Мікробіологія – наука про життєдіяльність мікробів.

Мікробіологія – це наука про дуже малі за розмірами, невидимі неозброєним оком організми (походить від грецького мікрос – малий, біос – життя, логос – наука). Ці організми отримали назву мікроорганізми або мікроби.

Першим побачив і описав мікроби ще у 17 столітті Голландський вчений Антоні ван Левенгук.

Мікробіологія вивчає будову, систематику, фізіологію, генетику, екологію мікроорганізмів, їхнє значення в кругообігу речовин, патології людини, тварин і рослин, досліджує загальні умови їхньої життєдіяльності і способи спрямування цієї життєдіяльності на користь людини.

Мікроорганізми таксономічно представлені бактеріями, грибами, водоростями, найпростішими і вірусами. Об'єктом вивчення мікробіології є в основному бактерії. У зв'язку з тим, що чисельність бактерій велика і важливе їх значення в природі і житті людини, то виникла наука бактеріологія, яка вивчає ці мікроорганізми і є складовою частиною мікробіології.

Мікроскопічні гриби вивчає *мікологія*, мікроскопічні водорості – *альгологія*, вивчення мікроскопічних найпростіших є предметом *протоозології*. Особливу групу ультрамікроскопічних структур, які не мають клітинної будови і відрізняються за хімічним складом від всіх мікроорганізмів, представляють віруси. Вони є збудниками різних хвороб

рослин, людини і тварин. Особливість будови вірусів і їх велике значення зумовили виникнення спеціальної науки *вірусології*, ще однієї галузі мікробіології.

2. Основні напрямки розвитку і проблеми, які стоять перед мікробіологією

Основні напрямки розвитку науки:

- 1) класифікаційно-систематичний;
- 2) еколого-фізіологічний;
- 3) біохімічний.

У сучасній мікробіології утворилися напрямки: загальна, сільськогосподарська, медична і ветеринарна, технічна або промислова, водна, геологічна, космічна мікробіологія. Бурхливо розвивається загальна і спеціальна вірусологія

Загальна мікробіологія вивчає хімічний склад структуру і біохімічні властивості мікробів, специфіку організації і реплікації генетичного апарату, екологію і систематику бактерій.

Сільськогосподарська мікробіологія вивчає участь мікроорганізмів у кругообігу речовин в природі, використання мікробів для боротьби з комахами – збудниками сільськогосподарських рослин.

Медична і ветеринарна мікробіологія вивчає патогенних для людини і тварин мікробів, способи лікування і профілактики інфекційних захворювань.

Водна мікробіологія вивчає мікробне населення прісних і солоних водойм, досліджує значення мікробів в природі, виявляє еколого-географічні закономірності розподілу мікроорганізмів, розробляє мікробіологічні способи очистки промислових і стічних вод.

Геологічна мікробіологія вивчає значення мікроорганізмів у геологічних процесах, в кругообігу абіогенних елементів, в утворенні корисних копалин, розробляє мікробіологічні способи отримання металів із руд.

Космічна мікробіологія – вивчає вплив на мікроорганізми космічних умов, наявність мікробів на других планетах і в метеоритах, способи попередження занесення зелених мікроорганізмів на другі планети і занесення мікробів із космосу

на Землю. Важливим її напрямком є вирішення проблеми кругообігу речовин у космічних кораблях, для забезпечення життєдіяльності людини при тривалих космічних польотах.

Технічна мікробіологія розробляє і впроваджує у виробництво способи отримання мікробіологічним синтезом амінокислот, кормового білка, мікробних добрив і біологічно активних речовин.

Основні завдання мікробіології – це вивчення процесів, що відбуваються в живій клітині, дослідження генетики і селекції мікроорганізмів, розкриття механізму біосинтезу фізіологічно активних речовин, необхідних для проблем промисловості, медицини, ветеринарії та інших галузей народного господарства. Проблеми і задачі мікробіології впливають з основних напрямків її розвитку.

3. Значення мікроорганізмів у природі і житті людського суспільства.

В епоху протерозою мікроорганізми були єдиними організмами на Землі. Було доведено, що саме мікроорганізмам належить провідна роль у процесах кругообігу біогенних елементів (вуглецю, азоту, фосфору, сірки) в природі, який забезпечує можливість життя на Землі. Мікроорганізми забезпечують мінералізацію вуглецю, який зелені рослини в процесі фотосинтезу перевели в органічні сполуки і цим самим забезпечують рівновагу між процесами фіксації вуглекислого газу і мінералізації органічних сполук.

У процесі мінералізації мікроорганізми ґрунту і води не тільки переводять вуглець у CO_2 , але повертають в кругообіг речовин і інші біоеlementи. Азот і фосфор ще в більшій мірі, ніж CO_2 , лімітують ріст рослин, а відповідно й утворення біомаси на суші і в океані. Азот може засвоюватися вищими рослинами у вигляді водних розчинів нітратних та амонійних солей. Найбільша кількість азоту у непридатній для засвоєння вищими рослинами формі міститься у повітрі – над кожним гектаром землі є понад 80 тис. т. молекулярного азоту. Значна кількість його є також у ґрунті у вигляді теж непридатних для засвоєння вищими рослинами органічних азотистих сполук. Численні мікроорганізми беруть участь у процесах розкладу і

перетворенню органічного та мінерального азоту ґрунту. Одні розкладають білки до поліпептидів та амінокислот, інші розкладають амінокислоти до аміаку, або засвоюють аміак (процеси гниття білкових сполук, або амоніфікація). Утворені при мікробіологічному розкладі білків аміак та його солі можуть далі окислюватися до нітратів (процес нітрифікації).

Важливе значення у забезпеченні вищих рослин придатними для засвоєння формами азоту належить ґрунтовим бактеріям, які здатні засвоювати азот з повітря (вільноживучі і симбіотичні азотфіксатори). Стало можливим штучне збільшення кількості азотфіксуючих мікроорганізмів у ґрунті шляхом внесення виготовленого з них добрива (Азотобактерин – азотобактер; нітрагін, ризоторгін, ризолігнін – бульбочкові бактерії; ризоаргін – для підвищення врожаю і якості зерна пшениці і рису – бактерії роду агробактеріум).

Фосфор, який міститься в органічних речовинах ґрунту, не засвоюється вищими рослинами. Мікроорганізми перетворюють складні органічні сполуки фосфору на придатні для засвоєння вищими рослинами солі фосфорної кислоти та сприяють розчиненню важкорозчинних мінеральних фосфорних сполук у ґрунті.

Поряд з корисними для вищих рослин мікроорганізмами існують і такі, які можуть перехопити для власного живлення мінеральні сполуки, що засвоюються вищими рослинами. Діяльність таких мікроорганізмів приводить до збіднення ґрунту джерелами мінерального живлення вищих рослин. Прикладом можуть бути денітрифікуючі бактерії, які перетворюють азот нітратів у вільний, газоподібний. Корисне значення мікроорганізмів ґрунту полягає також в їх участі у процесах утворення перегною, наявність якого зумовлює структуру та родючість ґрунту.

Людство з давніх давен використовує мікроорганізми: в пивоварінні, виноробстві, хлібопеченні – дріжджі, за допомогою молочнокислих бактерій виготовляють різні молочнокислі продукти, квасять овочі і фрукти, силосують корми; столовий оцет отримують за допомогою оцтовокислих бактерій; Молочну і лимонну кислоту отримують за допомогою молочно-кислих

бактерій і пліснявого гриба аспергілу (*Aspergillus niger*). Із дешевих, багатих на вуглеводи відходів можна в результаті бродіння, викликаного кластридіями і бацилами, отримувати ацетон, ізопропанол, бутадіол і інші хімічні речовини.

Нова епоха в медицині і фармакології почалася з появою антибіотиків. Відкриття пеніциліну і інших продуктів життєдіяльності грибів, актиноміцетів і бактерій озброїло медицину високоефективними засобами для боротьби з бактеріальними інфекціями.

Біфідобактерії використовуються для лікування лупи оскільки вони конфліктують з грибками, що викликають лупу. Із культур мікроорганізмів отримують ферменти: амілази для гідролізу крохмалю, протеїнази для обробки шкір, пектинази для освітлення фруктових соків і інших ферментів.

За допомогою мікроорганізмів виготовляють кормовий білок, амінокислоти, вітаміни, біологічні засоби захисту рослин, органічні кислоти і розчинники, стимулятори росту рослин.

Важливе значення мають анаеробні бактерії, які беруть участь у розкладі пектинових речовин. Руйнування цих речовин дуже потрібне, наприклад, при обробці волокнистих рослин (вимочування льону).

4. Специфіка сучасних методів дослідження в мікробіології.

У зв'язку з тим, що об'єктами мікробіології є живі істоти, які невидимі для неозброєного ока, то в мікробіології існують звичайні і спеціальні методи дослідження.

Велику групу складають лабораторні методи дослідження мікробів. Серед них метод розведення, посів і пересів мікробів на тверді поживні середовища (для одержання чистих культур досліджував Р. Кох).

Виноградський розробив мікроекологічний метод для виділення культур, створюючи їм специфічні умови - метод культур нагромадження. У сучасних мікробіологічних лабораторіях широко використовуються нові прилади і апаратура. Але все ж, важливу роль відіграють мікроскопи. Вітчизняна промисловість випускає багато різних моделей світлових мікроскопів. Для навчальних цілей використовуються

світлові мікроскопи серії “Біолам”. Для наукових цілей використовуються: інтерференційний, поляризаційний, люменісцентний. Всі вони працюють за принципом використання світла. До найбільш відомих методів в мікробіології належать:

- електронна мікроскопія;
- рентгеноструктурний аналіз;
- флуоресцентна мікроскопія (люмінісцентна);
- методи диференціального центрифугування;
- метод радіоактивних ізотопів;
- біохімічні методи, зокрема хроматографія і електрофорез;
- потенціометричні, електрометричні, полярографічні, спектроскопічні методи.

5. Розвиток мікробіології і вірусології в Україні

Інтенсивний розвиток мікробіологічних досліджень на Україні пов'язаний з іменем Д. К. Заболотного, який у складі ВУАН в 1928 р. організував інститут мікробіології, що тепер носить його ім'я. Тоді в інститут об'єдналися три школи мікробіологів України: Київська (засновник В. К. Високович), Одеська – В. В. Підвисоцький і Харківська – Л. С. Ценковський).

В Інституті У 1930 році існувало лише два відділи: медичної мікробіології та епідеміології, загальної і ґрунтової мікробіології. В 1966 році у ньому вже функціонувало 16 відділів, організаторами і керівниками яких були відомі вчені В. Г. Дроботько, М. М. Підоплічко, Л. Й. Рубенчик, М. М. Сиротинін, Б. Ю. Азенман, та інші. В наш час Інститут мікробіології і вірусології ім. Д. К. Заболотного НАН України є провідним науковим і координаційним центром мікробіологічних наук в Україні. На даний час найбільш відомі заклади: НДІ епідеміології та інфекційних хвороб (Київ), НДІ мікробіології вакцин і сироваток ім. І. І. Мечникова (Харків), Інститут молекулярної біології і генетики НАН України (Київ), Інститут сільськогосподарської мікробіології (Чернігів).

Українські мікробіологи успішно вивчають біологію, біохімію, фізіологію й генетику мікроорганізмів і вірусів,

закономірності їх мінливості та спадковості з метою одержання продуцентів біологічно активних речовин (антибіотиків, білків, ферментів, вітамінів, гормонів, стимуляторів, інгібіторів, токсинів тощо) та розробки теоретичних основ боротьби з бактеріальними, грибовими і вірусними інфекціями.

Тема 2. Морфологія і ультраструктура прокариотів

План

1. Форми і розміри бактерій.
2. Поверхневі структури бактеріальної клітини.
3. Ультраструктура, хімічний склад і функції цитоплазматичних мембран прокариотів.
4. Внутрішньоклітинні структури.
5. Включення.
6. Ріст бактеріальної клітини.
7. Ріст бактерій у бактеріальній популяції.
8. Розмноження бактерій, рух.
9. Спороутворення у бактерій та його біологічний зміст.

1. Форми і розміри бактерій

Бактерії і синьо-зелені водорості відносяться до прокариот (Prokaryote - доядерні). Переважна більшість мікроорганізмів перебуває за межею видимості неозброєного ока (70 – 80 мкм). Кулясті мікроорганізми мають діаметр приблизно 0,5 - 1,5 мкм. Ширина паличкоподібних форм бактерій в більшості випадків коливається від 0,5 до 1 мкм, а довжина - 2 - 10 мкм.

Отже, середні розміри прокариот лежать в межах 0,5 - 3 мкм. Але в природі є й дуже малі бактерії. Вони представлені групою мікоплазм, розмір їх клітин - 0,12 - 0,15 мкм. Серед бактерій є також і великих розмірів. Наприклад, *Achromatium oxaliferum* досягає довжини 125 мкм, довжина нитчастої сіркобактерії *Beggiatoa gigantea* досягає декілька міліметрів. Спірохети можуть бути довжиною від 1 - 3 до 100 - 500 мкм.

Бактерії, як правило, є одноклітинними організмами, їх клітина має досить просту форму. За формою бактерії поділяються на декілька груп: кулясті (коки), циліндричні або

паличкоподібні, звивисті або спіралевидні, нитчасті і незвичайної форми.

Сферичні бактерії, або коки (гр. *kokkus* - зерно), мають округлу форму. В залежності від розміщення клітин після їх поділу діляться на групи: мікрококи (гр. *micros* - малий) - коки, які діляться в одній площині і після поділу клітини розміщуються поодинокі (*Micrococcus luteus*, *M. rospus*, *M. albus*, *M. Asva*); диплококи (гр. *micros* - малий) - коки, які діляться в одній площині і після поділу клітини розміщуються попарно

(*Azotobacter chroococcum* - азотобактер, *Neisseria meningitidis*, *Neisseria gonorrhoeae*); стрептококи (гр. *streptos* - ланцюжок) - коки, які діляться в одній площині, і після поділу вони утворюють ланцюжки (*Streptococcus lactis* - паличкокоислий стрептокок, *St. Faecalis* - житель кишок людини). Ланцюжки коків можуть бути короткими, із 3-4 клітин, або довшими, із декількох десятків. Тетракоки (гр. *tetra* - чотири) - коки, які діляться у двох взаємо перпендикулярних площинах і після поділу утворюють тетради. Ця форма бактерій зустрічається дуже рідко (*Aerococcus*, *Gaffkya tetragena*); сарцини (лат. *sarcio* - зв'язую) - коки, розміщуються у формі пакетів по 8, 16, 32, 64 клітини, внаслідок поділу у трьох взаємно перпендикулярних площинах (*Sarana flava*, *S. lutea*, *S. Ventriculi*).

Коки не завжди бувають правильної круглої форми, вони можуть бути ланцетовидними, овальними, видовженими. Циліндрична форма бактерій характерна для більшості бактерій. Паличковидні бактерії поділяються на дві групи: 1) ті, що утворюють ендоспори - бацили; 2) ті, що ендоспор не утворюють.

Паличковидні бактерії бувають короткі та довгі, тонкі і товсті. До довгих відносяться гнилісна паличка (*Bacillus megaterium*), збудник бугулізму (*Clostridium botulinum*), збудник правця (*Cl.tetani*) - мають довжину більше 3 мкм. До коротких - 1 мкм належать бактерії кишкової групи. До тонких відносяться: збудник туберкульозу (*Mycobacterium turbeculosis*), збудник прокази (*M. lepra*). До товстих бактерій належить сінна паличка (*Escherichia coli*), збудник газової гангрени (*Clostridium perfringens*). Кінці паличок бувають заокруглені (збудники

червоного тифу, дизентерії, чуми), з обрізаними краями (збудники сибірської язви), загострені у вигляді веретена - клостридій (*Clostridium pasteurianum*). Палички розміщуються поодинокі (*Serratia marcescens*), по дві клітини, диплобактерії, або диплобацили - *Pseudomonas*, ланцюжками, стрептобактерії, або стрептобацили - ґрунтова паличка (*Bacilium mycoides*).

2. Поверхневі структури бактеріальної клітини.

Не зважаючи на малі розміри, клітина прокаріот має всі структурні компоненти, які властиві будь якій клітині. Серед структур бактеріальної клітини розрізняють основні структури: клітинна стінка, цитоплазматична мембрана, цитоплазма із різними цитоплазматичними включеннями, нуклеоїд; тимчасові структури (клітина їх має на певних етапах життя) - капсули, джгутики, ворсинки, у деяких - ендоспори.

Клітинна стінка є обов'язковим структурним компонентом бактеріальної клітини. Лише мікоплазми і L - форми бактерій, а також деякі представники архебактерій (метаноутворюючі, і крайні галофіти) її не мають. L - бактерії вперше були вивчені в Клітинна стінка характеризується ригідністю (щільністю), високою міцністю. Вона витримує внутрішній тиск протопласта в гіпертонічному розчині. Але разом з тим, вона є еластичною і легко згинається.

Стінка виконує ряд функцій. Вона є зовнішнім бар'єром клітини, який встановлює контакт мікроорганізму із зовнішнім середовищем, захищає внутрішній вміст клітини від механічних і осмотичних сил зовнішнього середовища, надає клітині постійну форму, адсорбує на своїй поверхні фаги і бере участь в реакціях імунітету, регулює ріст і поділ клітини. Товщина клітинної стінки коливається від 10 до 80 нм і складає близько 5% - 20% сухої речовини бактеріальної клітини. Клітинна стінка відносно проникна для великих молекул. Вона з'єднана з цитоплазматичною мембраною з'єднувальними тяжами - «мостиками» - пори.

За хімічним складом оболонка прокаріот істотно відрізняється від оболонки еукаріот. Основним компонентом клітинної стінки є пептидоглікан муреїн. Муреїн є гетерополімером, який складається із N -ацетилглюкозаміну і N

- ацетилмурамової кислоти і з'єднаних між собою β -1-4 глікозидним зв'язком. N - ацетилмурамової кислота з'єднана з пептидом, до складу якого входить 4-6 різних амінокислот. У грампозитивних бактерій сьогодні виявлено близько 100 різних хімічних типів муреїну. До сітки пептидоглікану клітинної оболонки прокариотів входять також тейхоеві та тейхуронови кислоти.

За вмістом муреїну і специфіці додаткових компонентів, які входять у муреїнову сітку всі бактерії діляться на дві групи: *грампозитивні* і *грамнегативні*. З 1884 р. датський вчений Х. Грам запропонував метод диференціального фарбування бактерій. Суть методу полягає у тому, що при забарвленні бактерій генціанвіолетом і обробці препарату розчином Люголя, фарба із йодом утворює сполуку, яка утримується клітиною при обробці їх спиртом. Такі бактерії зафарбовані в синьо-фіолетовий колір і їх називають *грампозитивними* (Гр+). Бактерії, які після промивання спиртом знебарвлюються, дістали назву *грамнегативних* (Гр-). У грам негативних бактерій шар мурену тонкий і проникнення клітинної оболонки їх збільшується за рахунок розчинення і вимивання ліпідів спиртом. До складу оболонок бактеріальних клітин входить 7 груп речовин: пептидоглікан (глікопептид) муреїн, полісахариди, тейхоеві сполуки, білки, ліпіди, ліпополісахариди, ліпопротеїди.

Тейхоеві сполуки - це полімери триатомного спирту гліцерину (золотистий стафілокок), або п'ятиатомного спирту рибіту (сінна паличка) з'єднаних між собою фосфодиефірними зв'язками. Більша частини тейхоевих кислот з'єднана з мурамовою кислотою клітинної стінки, частина її зв'язана з клітинною мембраною і є мембранною тейхоевою кислотою. Тейхуронови кислоти утворюються із залишків уронових кислот та N-ацетилглюкозаміну. При дефіциті фосфору у середовищі вони змінюють тейхоеві, які ковалентне можуть з'єднуватися з N- ацетилмурамовою кислотою.

До складу стінки грампозитивних входить від 50% до 90% пептидоглікану муреїну. З муреїном зв'язані тейхоеві кислоти - вони є тільки у грампозитивних бактерій. В муреїновий каркас

вплетена незначна кількість білків і ліпідів. Клітинна стінка має гомогенну губчасту структуру, пронизану порами і щільно прилягає до цитоплазматичної мембрани.

Клітинна стінка грам негативних бактерій багатошарова, товщина її 14 - 17нм. Внутрішній шар клітинної оболонки представлений муреїном, на долю якого припадає від 1 до 10% її сухої маси. Зовнішній шар клітинної стінки (зовнішня мембрана), утворений фосфоліпідами, ліпополісахаридами, ліпопротеїдами і білками. Основною фракцією зовнішньої мембрани Гр- є ліпіди, які складають 22% сухої маси клітинної оболонки. Під пептидоглікановим шаром міститься внутрішня цитоплазматична мембрана, до складу якої також входять фосфоліпіди, білки. Структури клітинної стінки грам негативних бактерій відділені від цитоплазматичної мембрани і розділені між собою електронно - прозорим проміжком, який дістав назву периплазматичного простору.

Структурну диференціацію клітинної стінки грам негативних бактерій слід розглядати як більш високу ступінь еволюційного розвитку прокариот. Дія деяких антибіотиків, які пригнічують синтез клітинної оболонки бактерій, а також ферментів (лізоцим), які руйнують муреїн приводить до утворення протопластів, або сферопластів (клітинна оболонка зруйнована не повністю). Протопласти і сфероласти зберігають обмін речовин, здатність до росту, а іноді й до поділу.

3. Ультраструктура, хімічний склад і функції цитоплазматичних мембран прокариот

Мембрана оточує цитоплазму бактеріальної клітини і внаслідок тургору прилягає до клітинної оболонки. У мікоплазм і L - форм бактерій цитоплазматична мембрана є зовнішньою структурою клітини. Мембрани становлять 8 - 15% сухої маси клітини, їх товщина 7-10 нм.

За хімічною природою мембрани є ліпідно - білковими комплексами, в яких 50 - 75% білків і 15 - 45% ліпідів. У деяких бактерій у складі ЦПМ виявлено незначну кількість вуглеводів (до 6%).

Цитоплазматичні мембрани складаються із подвійного шару фосфоліпідів. Полярні гідрофільні головки фосфоліпідів розміщені назовні до білків, тоді як гідрофільні ланцюжки жирних кислот розміщуються в центральній частині мембрани. До складу мембран входять нейтральні ліпіди, а також виявлені гліколіпіди, каротиноїди і інші речовини. Основна функція ліпідів - підтримання механічної стабільності і надання мембранам гідрофобних властивостей. Мембранні ліпіди знаходяться в рідинно - кристалічному стані, здатні до обертання і переміщення. Подвійний шар ліпідів оточений шаром білків з кожного боку. Мембранні білки асиметрично включені у подвійний шар фосфоліпідів, частково або повністю занурені у нього, пронизують його наскрізь (група інтегральних білків), утворюють скупчення на його поверхні (група периферичних білків). Більшість білків є ферментами. За будовою мембрани бактеріальних, тваринних і рослинних клітин дуже подібні. Це дає змогу говорити про те, що існує універсальна елементарна мембрана, яка має рідинно - мозаїчну структуру.

Функції ЦПМ:

1) виконує роль внутрішнього осмотичного бар'єру, який регулює вибіркоче надходження і виділення назовні різних речовин, проникна для солей, іонів;

2) транспортна;

3) *біосинтетична активність*. В ній здійснюється синтез мембранних ліпідів, компонентів клітинної стінки і капсули, а також синтез білка на рибосомах;

4) *енергетична і дихальна функція*, володіє АТФ - азною активністю, в ній локалізовані окислювальні ферменти і ферменти транспорту електронів, весь фотосинтетичний апарат і пурпурних бактерій;

4. Внутрішньоклітинні структури.

Вміст клітини, оточений цитоплазматичною мембраною, називається цитоплазмою. Цитоплазма є складною колоїдною системою, яка пронизана мембранами. Вона складається з 70 - 80% води, білків, жирів, вуглеводів, мінеральних сполук та інших речовин, склад яких змінюється від віку, виду, умов

живлення. В цитоплазмі знаходиться ядерний апарат і інші цитоплазматичні структури.

Нуклеоїд - ядерний апарат.

На основі електронно-мікроскопічних і генетичних досліджень встановлено, що ядра бактерій не мають ядерної оболонки і ДНК знаходиться у безпосередньому контакті із цитоплазмою; немає поділу на хромосоми і нитка ДНК є аналогом хромосом вищих організмів, і називається бактеріальною хромосомою (в клітині може бути декілька її копій); відсутній мітоз і мейоз.

Бактеріальний ядерний апарат прийнято називати нуклеоїдом. Він розміщується всередині цитоплазми у вигляді переплетених ниток ДНК, які мають форму замкнутого кільця, і які у прокаріот називаються бактеріальною хромосомою. В клітинах прокаріот може бути декілька нуклеоїдів і декілька копій хромосоми (наприклад: у сінної палички -2-9 хромосом в декількох нуклеоїдах). Хромосома бактерій завжди зв'язана з мембраною безпосередньо із специфічними мембранними білками, або через рибосоми.

Рибосоми - це тільця розміром 16-18 нм, вони складаються із РНК (60 - 65%), і білка (35 - 40%). За амінокислотним складом білок рибосом прокаріот подібний до гістонів рибосом еукаріот, але в ньому відсутній триптофан і сірковмісні амінокислоти. Бактеріальна клітина містить від 1500 до 50000 рибосом, кількість яких змінюється протягом її розвитку. Швидкість росту клітини визначається швидкістю утворення рибосом, за кожну секунду утворюється приблизно 5-10 рибосом.

Рибосома побудована з двох рибонуклеопротеїдних субодиниць: малої 30 S і великої 50 S. Більша частина рибосом об'єднана в полісоми - агрегати, які складаються із рибосом, молекул і - РНК і т - РНК, які розміщуються в цитоплазмі, зв'язані із цитоплазматичною мембраною, або мембранними структурами. Рибосоми є місцем синтезу білка.

Мезосоми - це внутрішньоклітинні мембранні утворення. За морфологічними особливостями розрізняють ламелярні (пластинчаті), везикулярні (мають форму пухирців) і тубулярні

(трубчасті) мезосоми. Часто в бактеріальній клітині спостерігаються мезосоми змішаного типу. Мезосомний комплекс обмежений інвагінацією ЦПМ мішковидної форми, містить розгалужені внутрішні трубочки, пластинчасті мембранні елементи і тісно закручений в клубок трубчастий виріст. Трубчастий виріст і другі елементи мезосоми з'єднані із зовнішньою мембраною.

За розміщенням в клітині мезосоми можуть бути:

1) периферичними - збільшують поверхню ЦПМ і функціонально їй ідентичні;

2) ядерними - з'єднані із нуклеоїдом і визначають розходження дорічних хромосом після реплікації;

3) мезосоми, які формуються у бактерії під час поділу в зоні утворення поперечної перегородки і можливо, приймають участь в клітинному поділі.

Сьогодні немає єдиної думки, щодо функцій мезосом. Мезосоми беруть участь:

- в процесах реплікації ДНК, поділі клітини і синтезі речовин клітинної оболонки;

- можуть посилювати певні клітинні функції (енергетичні, синтетичні);

- виконують структурну функцію, забезпечуючи компартментизацію прокаріотної клітини (тобто, просторове розмежування внутрішнього вмісту на відсіки);

- служать ділянками для проникнення в клітину трансформуючої ДНК і прикріплення плазмід, як видільний апарат клітини; місце синтезу екзоферментів.

5. Включення.

В цитоплазмі є включення, які не мають мембрани. Включення бувають двох видів: включення, які виконують функцію запасних поживних речовин і продуктів клітинного метаболізму.

Запасні речовини утворюються у клітині в результаті обміну речовин і їх утворення залежить від умов культивування мікробів. За консистенцією запасні речовини поділяються на рідкі (поліоксидбутират), напіврідкі (сірка) і тверді (глікоген). З хімічної точки зору вони можуть бути хімічно чистими

речовинами або сумішами. Безазотисті органічні запасні речовини є внутріклітинними джерелами вуглецю і енергії. Кожен вид мікробів, як правило, утворює лише один тип запасної речовини. Гранульоза - специфічний запасний вуглевод бактерій роду *Clostridium*, при голодуванні зникає. Виявляється якісною реакцією із слабким розчином йоду.

Глікоген - (гр.glykys - солодкий, genus - рід) - гранули полісахариду ($C_6H_{12}O_6$)_n сферичної форми, діаметром 20 - 100 нм., виявляються розчином Люголя. За властивостями глікоген близький до крохмалю вищих рослин, його багато є у печінці та у м'язах, і тому його називають тваринним крохмалем.

Вуглеводневі гранули - діаметром 200 - 300 нм, оточені білковою оболонкою, містять вуглеводи такого типу, як і у середовищі. Полі-3-оксимаєляна кислота - гранули діаметром 100-1000 нм, оточені одношаровою білковою мембраною, містять 98 % полімеру ПОМ і 2 % білка. Поліфосфати (волютин, або метахроматинові гранули) широко поширені серед оцтовокислих, молочнокислих, азотофіксуючих. В незабарвлених клітинах бактерій - це тільки діаметром до 1 мкм. Ці включення називають метахроматином, тому що деякі барвники (метиленовий синій) при забарвленні гранул змінюють колір на фіолетово - червоний, а волюти від назви бактерій *Spirillum volutans*. В гранулах виділені РНК, ДНК і білку. Волютину у клітині може бути до 20 % її об'єму.

Волютин розглядають як внутрішньоклітинний резерв фосфору. Включення сірки - у пурпурних бактерій, які використовують H_2S як донор є при фотосинтезі і у нитковидних нефотосинтезуючих сіркобактерій, які окислюють H_2S , сірка є джерелом енергії. Сірка накопичується тоді, коли у середовищі є сірководень і окислюється до сульфату, коли весь сірководень сірки вичерпаний. Включення розміщуються в інвагінаціях ЦПМ.

Включення карбонату кальцію - виявлені в клітинах деяких сіркобактерій, фізіологічне значення не відоме. Допускають, що вони виконують функцію нейтралізаторів середовища, з'єднуючись із сірчаною кислотою, яка

утворюється при окисленні внутрішньоклітинної сірки і дифундує з клітини.

6. Ріст бактеріальної клітини.

Під ростом розуміють збільшення білкової маси клітин, яке супроводжується збільшення кількості всіх хімічних компонентів. Саме збільшення біомаси може не завжди характеризувати ростові процеси. Наприклад, у азотобактера збільшення біомаси часто проходить за рахунок ослизнення культури.

Існують прямі і побічні методи визначення розмірів бактеріальних клітин. До прямих методів відносять метод визначення розмірів клітин за допомогою окулярних мікрометрів, до побічних - вимірювання негативних зображень мікрофотографій. Швидкість росту бактерій залежить від умов і фізіологічного стану самої клітини. При постійних умовах ріст бактеріальної клітини здійснюється з постійною швидкістю.

Ріст паличковидних клітин відрізняється від росту коків. Паличковидні бактерії ростуть переважно в напрямку довгої осі, тому співвідношення між поверхнею клітини і її об'ємом при рості клітин істотно не змінюється. Це забезпечує сталість при забезпеченні кожної частинки клітини поживними речовинами і киснем. Коки ростуть рівномірно у всіх напрямках, збільшуючи розміри радіуса клітин. Таким чином, по мірі росту кулястої бактерії погіршуються умови постачання кожної її частини.

7. Ріст бактерій у бактеріальній популяції.

Популяція - (фр. population - населення) - це сукупність бактерій одного виду (чиста культура) або різних видів (змішані асоціації), які розвиваються в обмеженому просторі. Таким простором може бути поживне середовище. В бактеріальній популяції проходить постійно ріст бактерій, розмноження і відмирання клітин. Для спостереження за розвитком бактеріальної популяції необхідно знати чисельність клітин в популяції або їх біомасу.

При посіві бактерій в сприятливе поживне середовище і вирощуванні їх в оптимальних умовах, умовно виділяють фази росту бактеріальної популяції, які відображають загальну закономірність росту і розмноження бактеріальних клітин.

Перша фаза - лаг-фаза, або лаг-період, починається з моменту посіву бактерій в свіже поживне середовище. В цей період клітини адаптуються до певних умов культивування і досягають оптимальної швидкості росту, тривалість лаг - фази залежить від багатьох факторів: біологічних особливостей бактерій (кишкова паличка володіє коротким періодом, а корені і мікобактерії довшим) віком вихідної культури - якщо культура молодша, то її період коротший. На тривалість періоду істотно впливає склад поживного середовища. Якщо склад поживного середовища, на якому вирощують бактерії, подібний до поживного середовища з якого взяли бактерії для посіву, то лаг - фаза буде коротшою. На тривалість лаг - фази впливає температура і концентрація вуглекислого газу в середовищі.

Друга фаза - експоненціальна, логарифмічна. Вона характеризується максимальною швидкістю поділу бактерій. Наростання клітин проходить в геометричній прогресії, після n генерацій кількість клітин складає 2^n . В експоненціальній фазі процеси росту протікають збалансовано, тобто подвоєння біомаси супроводжується подвоєнням кількості білка, РНК, ДНК у відносно короткий проміжок часу. Ця фаза є багатостадійною. На початку цієї фази бактерії ростуть на середовищі з великою кількістю поживних речовин, потім концентрація їх знижується, змінюється активність ферментів, зростає вміст клітинних метаболітів. У цій фазі на ріст бактерій впливають також видові особливості, характер поживного середовища, концентрація окремих компонентів середовища (наприклад, концентрація пептону), температура культивування.

Третя фаза - лінійний ріст і фаза негативного прискореного росту. Не всі автори виділяють цю фазу. Лінійний ріст характеризується постійною швидкістю приросту біомаси. Лінійний ріст переходить у фазу негативного прискорення, чисельність клітин які діляться, зменшується. Наявність цієї фази пояснюється якісними змінами складу поживного середовища (використовуються поживні речовини, нагромаджуються продукти метаболізму, змінюється рН середовища, дефіцит O_2 . Під виснаженням середовища

розуміють не дефіцит загальноживаних для бактерій поживних речовин, а зменшення або зникнення специфічних речовин для даного виду бактерій.

Четверта фаза - стаціонарна фаза росту - характеризується рівновагою між відмерлими і новоутвореними клітинами. В стаціонарній фазі спостерігається максимальна величина біомаси і максимальна сумарна чисельність клітин (максимальна життєдіяльність мікробної популяції). Стаціонарна фаза у різних видів бактерій настає через різні проміжки часу. Клітини в даній фазі характеризуються незбалансованим ростом (клітинні компоненти синтезуються з різною швидкістю), зменшенням інтенсивності обмінних процесів, більш високою стійкістю до фізичних і хімічних подразників.

П'ята фаза - відмирання - характеризується зменшенням числа живих клітин, зростанням гетерогенності популяції, появляються клітини „тіні” (не забарвлюються барвниками), клітини з слабким розвитком муреїнового шару і інші. Такий стан мікробної популяції зумовлюється зміною фізико - хімічного середовища та іншими несприятливими для культури факторами.

Шоста фаза - фаза виживання (не всі автори також її виділяють) – характеризується наявністю окремих клітин, які збереглися протягом тривалого часу і проявляють життєдіяльність в умовах загибелі більшості клітин популяції. Якщо пересіяти такі клітини на нове поживне середовище, то вони після лаг - періоду починають активно рости і ділитися. Цикл росту бактеріальної популяції можна зобразити графічно - крива росту, яка описує залежність логарифмів числа клітин від часу досліду. Така крива росту має S – подібний характер для статичної або періодичної культури, яка розвивається в замкнутому життєвому просторі без додавання клітинного циклу. Як правило, при мономорфному клітинному циклі поділ проходить в площині, перпендикулярній довгій осі клітини.

8. Рух бактерій.

За здатністю пересуватися всі бактерії діляться на дві групи - *рухомі* і *нерухомі*. Рух бактерій видно у світловий

мікроскоп. Відомо два типи рухливих бактерій: повзаючі і плаваючі. До повзаючих належать міко - і сіркобактерії. Механізм повзаючого руху повністю не розкритий.

Вважають, що мікроорганізми можуть ковзати по поверхні в результаті хвилеподібних скорочень, які викликають періодичні зміни форми тіла. Повзаючі бактерії мають в клітинній стінці білковий шар, який складається із впорядковано розміщених фібрил, які аналогічні ниткам джгутиків, але розміщені в середині клітинної стінки. Більшість повзаючих бактерій виділяє слизь, необхідність якої для даного типу руху поки що повністю не в'яяснена.

Плаваючі паличковидні бактерії рухаються за допомогою джгутиків, їх рух може бути поступальний і обертальний.

Обертаючий тип руху характерний для звивистих форм бактерій (спірохет).

Швидкість руху бактерій відносно велика, а абсолютні величини переміщення бактерій дуже малі. За 1 секунду бактерія може пройти шлях, який вдвоє більший від величини самої бактерії. Якщо би людина могла переміщатися з такою ж відносною швидкістю, то рухалася приблизно з швидкістю 20 - 25 км/год. Рухомі бактерії можуть здійснювати направлені переміщення - таксиси, які зумовлюються різними зовнішніми факторами.

9. Спороутворення у бактерій та його біологічний зміст.

Для бактерій характерні клітини, які перебувають у стані спокою - ендоспори, цисти, екзоспори і інші. Вони характеризуються високою стійкістю до несприятливих умов зовнішнього середовища. Вони дрібніші від вегетативних клітин, погано зафарбовуються, стійкіші від вегетативних клітин до висушування, опромінення УФ, але менш стійкіші, ніж ендоспори.

Цисти (лат. *cista* - ящик) - це утворення, які містять цитоплазму з нуклеоїдом оточену цитоплазматичною мембраною і двома оболонками. Виникають в старих культурах, шляхом перетворення всієї бактеріальної клітини. Цисти допомагають бактеріям переносити несприятливі умови, мають

здатність проростати. Містять багато ліпідів. Стійкіші від вегетативних клітин до висушування, механічних факторів, лізоциму, слабо резистентні до температури. Зустрічаються в азобактера, спірохет, міксобактерій, рикетсій.

Акінгети (гр. - нерухомий) - утворюються в деяких нитчастих ціанобактерій - це великі, товстостінні клітини. Вони здатні переносити несприятливі умови. В одних бактерій вони є обов'язковою стадією їх розвитку, а в інших утворюються при несприятливих умовах.

Міксоспори - закономірна стадія розвитку міксобактерій, утворюються при дефіциті джерел живлення, разом із слизю утворюють плодові тіла. При руйнування плодового тіла, міксоспори поширюються в оточуюче середовище, при сприятливих умовах проростають, утворюючи популяції вегетативних клітин. У багатьох прокариот спори є утворами періоду спокою і одночасно репродуктивними системами. У більшості антиоміцет спори формуються екзогенне і вони дістали назву артроспор, конідій, спорангіоспор.

Артроспори - утворюються шляхом виникнення поперечних перегородок і гіф з відділенням елементів так, що утворюється ланцюжок спор (стрептоміцини). Вони мають потовщену оболонку, є стійкішими до висушування порівняно з вегетативними клітинами. В субстратному міцелії актиноміцетів розрізняють ще мікроартроспори - дрібні артроспори.

Конідіоспори, або конідії (гр. *Konia* - порошок, *sidos* - вид) утворюються на поверхні особливих гіф конідієносців, або конідіофорів. Іноді вони утворюють ланцюжки подібні до намиста, нанизаного на нитку. Форма, розміри, розміщення конідієносців, а також розміри, форма, розміщення ланцюжків і колір конідій є характерними ознаками різних родів і видів актиноміцет.

Спорангіоспори - дрібні, з товстою оболонкою спори, які формуються в спорангіях. Оскільки спорангіоспори утворюються в середині спорангіїв, то їх називають ендогенними, вони можуть бути нерухомими і рухомими. Спорангії утворюються на кінці гіф, які називаються

спорангіофорами. Спорангіоспори утворюють бактерії родин Actinoplasmaceae, Actinomycetaceae

Тема 3. Систематика бактерій

План.

1. Коротка характеристика відділів та груп царства прокаріотів.

2. Короткі відомості про систематику інших груп мікробів.

1. Коротка характеристика відділів та груп царства прокаріотів

У сучасних класифікаціях бактерій чітко простежується два основні напрями. В основу першого напрямку покладено ідею побудови єдиної системи, яка б об'єктивно відображала спорідненість між різними групами прокаріотів та їхньою еволюцією. Другий напрям висуває на перше місце практичні цілі, суть яких полягає в тому, щоб класифікація бактерій якнайкраще слугувала їхній ідентифікації, тобто віднесення мікроорганізму до певного таксона.

Систематика – це теорія різноманітності організмів, яка вивчає співвідношення між їхніми групами (таксонами); класифікація досліджує розподіл мікроорганізмів на групи (таксони); таксономія - встановлює назви груп організмів (таксонів).

Таксон - це група організмів, яка має задану ступінь однорідності. *Основною таксономічною категорією є вид*, який визначається на основі морфологічних, культуральних, фізіологічних, біохімічних, антигенних та інших ознак.

Вид - це група штамів бактерій, яка виявляє високий ступінь загальної фенотипової подібності і відрізняється за багатьма незалежними ознаками. Види можуть бути представлені кількома підвидами, які можна розглядати як етап їхнього формування. У мікробіології часто ще застосовують такі терміни, як штам і клон.

Штам - це різні культури мікроорганізмів того ж самого виду, які виділені з різних джерел (середовищ, організму, ґрунту, води тощо).

Клон - це культура мікробів, одержана з однієї клітини, а популяція мікроорганізмів, яка складається з особин одного виду, дістала назву чистої культури.

Відділ I. *Gracilicute (грацилікути)*. До даного відділу належать грамнегативні прокаріоти різних форм. Вони бувають рухомими й нерухомими, ендоспор не утворюють, розмножуються шляхом поділу, а деякі - брунькуванням. Серед них трапляються аероби і анаероби, фототрофи і хемотрофи, сапрофіти і паразити. Широко розповсюджені в ґрунтах, водоймах, в живих організмах. Відділ поділений на класи: скотобактерії (*Scotobacteria*), фотосинтезуючі організми (*Анохурphotobacteria* та *Охурphotobacteria*).

Відділ II. *Firmicutes (фірмікутні грампозитивні прокаріоти)*. В даному відділі об'єднані мікроби, які мають кулясту, паличкоподібну, нитчасту та інші форми. Серед них є рухомі і нерухомі, аеробні, анаеробні, спороносні і не спороносні організми. Більшість з них розмножуються бінарним поділом, деякі - спорами. Морфологічно ці прокаріоти діляться на два класи: фірмібактерії (*Firmibacteria*) і таллобактерії, розгалужені форми (*Tallobacteria*).

Відділ III. *Tenericutes (тенерікути)*. До цього відділу належать грамнегативні прокаріоти, які не мають клітинної оболонки і не синтезують пептидоглікану. Їхні клітини оточені цитоплазматичною мембраною, тому за формою вони є дуже плеоморфними. Тенерікути розмножуються бінарним поділом, брунькуванням та фрагментацією. До них належать сапрофіти, паразити, патогенні організми (збудники захворювань рослин, тварин і людини). Відділ включає один клас - мікоплазми (*Mollicutes*).

Відділ IV. *Mendosicutes (мендозікутні прокаріоти)*. В даному відділі об'єднано різної форми прокаріотів, які за походженням є старшими за представників I і II відділів. У більшості мендозікутів в клітинних стінках немає пептидоглікану. Вона складається тільки з білка або

гетерополісахаридів. Серед представників переважають облигатні анаероби, що не утворюють ендоспор, забарвлюються за Грамом негативно і позитивно, характеризуються різноманітністю метаболізму і здатністю існувати в різних екстремальних умовах. Об'єднано їх в один клас Archeobacteria. У визначнику бактерій Бержі наведено відомості про грамнегативні аеробні й анаеробні прокаріоти, у наступному виданні охарактеризовано грампозитивні бактерії, архебактерії, ціанобактерії і решту грамнегативних видів.

2. Короткі відомості про систематику інших груп мікробів

Група 1. Спірохети (*Spirochaeta*). Включає порядок (*Spirochaetales*). Це одноклітинні спіральновивисті бактерії завдовжки від 3 до 500 мкм. Тіло спірохет складається із протоплазматичного циліндра, переплетеного з однією або кількома осьовими фібрилами. Циліндр і фібрили оточені зовнішньою тоненькою еластичною оболонкою. Наявність осьових фібрил спричиняє швидкий обертальний рух спірохет. Вони не утворюють спор, розмножуються поперечним поділом; серед них є облигатні аероби та суворі анаероби. Спірохети грамнегативні хемоорганогетеротрофи, вільноживучі і коменсали.

Великі спірохети живуть у забруднених стічних водах, належать до не паразитарних сапрофітних форм, наприклад *Spirochaeta plicatilis*. *Treponema macrodentinum* часто трапляється у ротовій порожнині людини. Багато малих спірохет є патогенними для людей і тварин, можуть викликати такі важкі інфекційні захворювання, як сифіліс (*Treponema pallidum*), тиф (*Wegelia recurrentis*) і лептоспіроз (*Leptospira interrogans*).

Група 2. Аеробні рухомі спіралеподібні або зігнуті грамнегативні бактерії. Бактерії вкриті міцною оболонкою, рухаються за допомогою полярно розташованих джгутиків. Серед них трапляються аероби і мікроаерофіти, сапрофіти і паразити, хемоорганогетеротрофи. Представники цієї групи поширені переважно в стоячих забруднених водах. Так, велику спірилу *Spirillum volutans* завжди можна зустріти в стічних

водах тваринницьких ферм. До спіральних прокариотів належать роди: *Aquaspirillum*, *Vdeliovibrio*, *Azospirillum* і *Campylobacter*.

Досить цікавим представників цієї групи є бактерія, що належить до роду *Vdeliovibrio* - *V. bacteriovorus*. Цю бактерію часто називають п'явко-вібріоном. Вона є облигатним внутрішньоклітинним паразитом різних бактерій. Зустрівши будь-яку бактерію, *V. bacteriovorus* міцно прикріплюється до неї, пробуравлює оболонку, проникає у простір між клітинною стінкою і цитоплазматичною мембраною і починає інтенсивно розмножуватися. За 4-5 годин паразити, що розмножилися, руйнують клітину бактерії-хазяїна і виходять назовні.

Бактерії цього роду живуть у ґрунтах, прісних і морських водах. Нещодавно вчені виявили серед них факультативних паразитів, які можуть жити також як сапрофіти. Важливими є відомості про те, що даних бактерій можна використовувати для боротьби зі збудниками епідемічних захворювань, зокрема таких, як холера.

Група 3. Нерухомі аеробні грамнегативні зігнуті бактерії.

В групу входить родина *Spiromonadaceae*, яка об'єднує сім родів. Представники цієї групи мають товстішу форму, деякі - спіральну і дугоподібну форми. Вони належать до роду *Brachyarcus*, часто утворюють скупчення на зразок листка конюшини. В клітинах *Runnela alithyiformis* добре виявляються аеросоми (газові вакуолі), а в інших видів - різноманітні пігменти. Переважна більшість бактерій цієї родини є аеробами, хемоорганогетеротрофами, які добувають енергію за рахунок дихання або бродиння. Живуть у ґрунтах, прісних і солоних водоймах тощо.

Група 4. Аеробні грамнегативні палички і коки. У групі об'єднано вісім родин: *Pseudomonadaceae*, *Rhizobiaceae*, *Azotobacteriaceae*, *Methyllococcaceae*, *Acetobacteriaceae*, *Halobacteriaceae*, *Lehionellaceae* і *Neisseriaceae*. Прямі або злегка зігнуті палички належать до родини псевдомонад. Вони є рухливими, не спороносними, аеробними хемоорганогетеротрофами; поширені у ґрунтах, прісних, солоних і стічних водах, у повітрі, на поверхні рослин тощо.

Псевдомонади розкладають органічні рештки, шкідливі (ксенобіотичні) речовини, які потрапляють у ґрунти і водойми внаслідок антропогенної діяльності людини.

Серед цих прокариотів є види, які мають здатність відновлювати нітрати, а також виробляти амінокислоти, різні органічні кислоти, ферменти та інші фізіологічне активні речовини. Серед них є також збудники захворювань людини і тварини (*P.aemginosa* - бактерія синьо-зеленого гною спричиняє нагноювання післяопераційних ран, отити, пневмонію та ін.).

Із представників роду *Xanthomonas* можна відзначити *Xanthomonas campestris* - бактерію, яка здійснює інтенсивний синтез полісахаридів за одержання їх промисловим способом. До фітопатогенних бактерій цієї групи належать *Pseudomonas lachrymans* і *Xanthomonas campestris*; можуть уражати овочеві культури, картоплю, помідори. До родини *Rhizobiaceae* належать види бактерій, які подібні до псевдомонад, але відрізняються від них своїм плеоморфізмом. Вони рухомі, не спороносні, аеробні хемоорганотрофи. Бактерії з родів *Rhizobium* і *Bradyrhizobium* мають назву бульбочкових бактерій. Вони здатні проникати в корені рослин і спричиняти там розростання тканин та утворення бульбочок. Ризобіальні бактерії у симбіозі з бобовими рослинами здатні фіксувати молекулярний азот атмосфери за участі фітоглобіну. Серед інших бактерій цієї групи слід назвати представників роду *Agrobacterium*, наприклад *Agrobacterium tumefaciens*. Це фітопатогенні мікроби, що викликають утворення галів (патологічних наростів) на різних органах рослин (спостерігаються у малини та ін. рослин).

Родина *Azotobacteriaceae* представляє види, що мають овальну або паличкоподібну форму, бувають рухливими і нерухомими, облігатні аероби. Хемоорганогетеротрофи. Представники роду *Azotobacter* здатні утворювати цисти і активно фіксувати молекулярний азот атмосфери. Широко розповсюджені у ґрунтах, воді, на поверхні рослин тощо. Прокариоти родини *Methylococcaceae* мають форму коків і паличок. Серед них трапляються рухливі і нерухомі форми. За типом живлення вони є хемоорганотрофами. Загальна їхня

властивість - здатність використовувати такі джерела вуглецю і енергії, як метан і метиловий спирт в аеробних або мікроаеробних умовах. Галофільні (солелюбні) бактерії належать до родини Halobacteriaceae, вони добре розвиваються за присутності високої концентрації NaCl (12-30 %). Вони дуже поширені в морях, солоних озерах, а також на солоних білкових продуктах. Переважно є хемоорганотрофами. Родина Acetobacteriaceae включає роди Acetobacter і Glucono-bacter. Серед бактерій цієї родини трапляються паличкоподібні, аероби, грамнегативні, не спороносні, хемоорганотрофи. Родина Legionellaceae об'єднує паличкоподібні, не спороносні, аеробні, хемоорганотрофні бактерії, для нормального розвитку потребують солей заліза. Вони живуть у воді, мулі, термальних забруднених стоках та інших середовищах. До родини Neisseriaceae віднесено чотири роди: Neisseria, Moraxella, Kingella і Acinetobacter. Представники перших трьох родів є внутрішньоклітинними паразитами, збудниками важких захворювань людини і тварин. Так, N.gonorrhoeae викликає гонорею, N.meningitidis - менінгіт. Бактерії, які належать до роду Acinetobacter є сапрофітами. Це грамнегативні, не спороносні, аеробні, хемоорганотрофні організми, що широко розповсюджені.

Тема 4. Генетика бактерій

План

1. Характеристика генетичного апарату бактерій. Генетична карта .
2. Фенотипова і генотипова мінливість прокаріот .
3. Генетичні рекомбінації у бактерій: трансформація, кон'югація, трансдукція.
4. Використання на практиці досягнень генетики мікроорганізмів.

1. Характеристика генетичного апарату бактерій. Генетична карта

У бактеріальних клітинах генетичний апарат знаходиться у нуклеоїді. Основною генетичною структурою бактерій є бактеріальна хромосома, яка представлена молекулою ДНК, замкнутою у кільце. Довжина кільця може досягати 1,0 – 1,4 мм. У бактерій, як правило, є одна хромосома. Бактерії, як і всі прокаріоти є гаплоїдні (тобто, їхній генетичний матеріал представлений одним набором генів). Хромосома має окремі ділянки – гени (фрагменти молекули ДНК), які розміщені дискретно і несуть генетичну інформацію відносно всіх ознак, притаманних клітині. Ген є основним фактором, який зумовлює спадкові властивості мікроорганізмів. Сукупність генів складає геном мікроорганізму.

Гени прокаріотної клітини складаються із безперервно кодуючої послідовності нуклеотидів. Прокаріотам властиве тісне зчеплення генів. Хромосоми бактерій володіють однією групою зчеплень генів. Гени бактерій складаються із промотора, білок-кодуючої ділянки і термінатора транскрипції.

На бактеріальній хромосомі послідовність розміщення генів може бути відображена на генетичній карті, яка є умовною схемою хромосоми бактерії. На цій карті зазначено послідовність окремих генів, відносну довжину самих генів і відстань між ними, виражену в умовних одиницях рекомбінації. За таку одиницю умовно прийнята частота рекомбінації, яка дорівнює 1%. Вченими було встановлено 460 генів на хромосомній карті кишкової палички. Генетичні карти складені для сінної палички та для інших мікроорганізмів.

Генетичний матеріал у мікробів може знаходитися не тільки в хромосомі, але і в позахромосомних структурах - плазмідах. Плазмідні знаходяться в цитоплазмі або можуть бути в інтегрованому стані з хромосомою, тоді їх називають епісомами. У деяких бактерій крім плазмід, виявлені помірні фаги і мігруючі елементи (транспозони і IS-елементи). Транспозони і IS-елементи входять, як правило до складу хромосом, але вони здатні переходити із хромосоми в плазмід.

Плазмідні за хімічною природою є лінійними, відкритими і закритими кільцевими молекулами ДНК довжиною від 2 до 6000 (т.п.н). У лінійних плазмід кінці їх ДНК захищені від дії

нуклеаз білками, або з'єднуються ковалентно. Коли молекули ДНК скручені, то вони не руйнуються нуклеазами клітини.

Основна властивість плазмід - їхня здатність до автономної реплікації, завдяки наявності всієї системи самовідтворення. Плазмід не є обов'язковим генетичним матеріалом бактерій, які є необхідними для прояву їх життєдіяльності. Проте плазмід можуть визначати дуже важливі властивості бактерій, наприклад здатність до передавання генетичного матеріалу від донорських F⁺-клітин до F⁻ - клітин-реципієнтів при кон'югації (F-плазмід); стійкість до антибіотиків, сульфаніламідних препаратів (R - плазмід), здатність до синтезу токсинів (Ent-плазмід); утворення фібріл, якими ентеробактерії прикріплюються до кишкового епітелію, здатність до синтезу бактерицидних речовин - *бактеріоциногенія*.

Всі відомі плазмід поділяють на кон'югативні і некон'югативні. При кон'югації кон'югативні плазмід переносять власну ДНК від клітини-донора до клітини-реципієнта. Некон'юговані плазмід не володіють здатністю до кон'югативного перенесення із однієї клітини в другу. Кон'югативні плазмід характерні для грамнегативних бактерій.

Одночасно в одній бактеріальній клітині може знаходитись декілька типів плазмід. Якщо плазмід не можуть існувати постійно в одній клітині, то їх називають несумісними. Плазмід, які мають подібну будову, є несумісними. Для кон'югативних плазмід характерне явище поверхневого виключення, коли плазмідна ДНК затруднено проходить через клітинну стінку, якщо в ній є плазмід з аналогічною детермінантою. Плазмід надають клітинам різні фенотипові ознаки: стійкість до антибіотиків, катіонів (ртуті), аніонів (арсену), мутагенів, бактеріоцинів. Вченими було доведено, що плазмід є факторами, які підвищують життєздатність бактерій в організмі господаря і в оточуючому середовищі.

2. Фенотипова і генотипова мінливість прокаріот

Закономірності спадковості і мінливості організмів вивчає генетика прокаріот. Спадковість прокаріот забезпечує збереження і точне відтворення ознак даного виду. Мінливість

визначає появу відмінностей в ознаках між особинами одного виду бактерій, що в процесі еволюції приводить до виникнення різноманітних форм життя. Як для прокаріот, так і для еукаріот характерні два типи мінливості: генотипова (спадкова) і фенотипова (модифікаційна).

Генотип - це повний набір генів, яким володіє клітина мікроорганізму. Прояв сукупності спадкових морфологічних ознак і фізіологічних процесів називається **фенотипом** (від гр. φαίνο - проявляти, показувати). Подібні мікроорганізми за генотипом можуть істотно відрізнятися за фенотипом. Фенотипові відмінності між мікроорганізмами, які мають однаковий генотип, називаються *модифікаціями*, або *фенотиповими адаптаціями*. Модифікації існують до того часу, поки діє фактор, який їх викликає, вони не передаються по спадковості. Фенотипова мінливість не призводить до змін генетичного апарату бактерій, вона носить адаптаційний характер. Так, бактерії роду *Azotobacter* активно фіксують молекулярний азот тоді, коли в ґрунті його не вистачає, коли в ґрунт внести мінеральні азотні добрива, то азотфіксація знижується.

Фенотипова мінливість сприяє виживанню мікробної популяції. Генотипова мінливість прокаріот проявляється у вигляді мутацій і рекомбінацій і є наслідком порушень структури генетичного апарату (мутація від лат. mutatio — зміна).

За походженням розрізняють спонтанні і індуковані мутації. Спонтанні мутації виникають в популяціях прокаріот без видимої зовнішньої дії. Вони носять випадковий, ненаправлений характер і виникають самовільно. Спонтанні мутації виникають в результаті помилок ДНК - полімерази під час реплікації ДНК під впливом природнього фону випромінювань, хімічних речовин. Основним джерелом природньої мінливості мікроорганізмів є спонтанні мутації, які лежать в основі їх еволюції.

Мутації, які виникають під впливом певного мутагенного фактора, називають індукованими. Вперше індуковані мутанти

дріжджів було одержано Г.А. Надсоном у 1925 році. Мутагенні фактори можуть бути біологічної, хімічної і фізичної природи.

Біологічні мутагенні фактори - це віруси бактерій. ДНК вірусів включається в геном бактерії і викликає дестабілізацію сусідніх генів. Біологічними мутагенними факторами можуть бути генетичні елементи, які здатні переміщатися - це сегменти ДНК, які здатні до внутрішніх і міжхромосомних переміщень.

Серед *хімічних* мутагенів можна виділити такі групи: інгібітори попередників нуклеїнових кислот, аналоги азотистих основ (5-хлор-, 5-бром-, 2-амінопурин), окислювачі (HNO_3), відновники і вільні радикали, ін.

Фізичні мутагенні фактори - іонізуюче випромінювання, температура, УФ-промені, рентгенівські промені, гама-промені, протони. За характером змін, які виникають в первинній структурі ДНК, виділяють генні і хромосомні мутації.

Генні мутації - зачіпають тільки один ген і найчастіше є точковими. Внаслідок точкових мутацій спостерігається випадання, вставка або заміна однієї пари нуклеотидів. *Хромосомні* мутації поширюються на декілька генів. Вони виникають внаслідок перебудов в окремих фрагментах ДНК. Вони проявляються у формі дилеції - випадання певного числа нуклеотидів; інверсії - обернення ділянки ДНК на 180° ; дуплікації - повторення якого-небудь фрагмента ДНК. Нерідко хромосомні мутації призводять до дезінтеграції всіх систем бактеріальної клітини, що супроводжується летальним ефектом.

За локалізацією генетичних структурах мутації поділяються на хромосомні і плазмідні. Перші виникають в хромосомах, другі - в плазмідах. Розрізняють умовно-летальні мутації, при яких клітина гине, вони стосуються життєво-важливих генів. За напрямом зміни ознаки мутації бувають прямі і зворотні. Протягом еволюції у прокаріотів виробились способи захисту генетичного матеріалу від пошкодження різними мутагенами.

3. Генетичні рекомбінації у бактерій: трансформація, кон'югація, трансдукція

У процесі еволюції природний добір діє не тільки на рівні мутацій в окремих генах, але і на рівні рекомбінації генів, в

результаті якої із ДНК двох різних клітин утворюється рекомбінантна хромосома. Даний процес називається **генетичною рекомбінацією**, а клітини, які утворюються в результаті цього процесу - рекомбінантами. При рекомбінації не проходить повне злиття клітин (не утворюються диплоїди), а частина генетичного матеріалу донорної клітини переноситься в реципієнтну клітину, яка стає частковим диплоїдом або мерозиготою. В рекомбінантній хромосомі основу складає хромосома клітини-реципієнта, яка включає частину клітини-донора, рекомбінанти формуються в реципієнти клітинах.

До рекомбінативної мінливості генетичного матеріалу, призводить трансформація, трансдукція і кон'югація. Рекомбінативна мінливість належить до другого типу спадкової мінливості (після мутаційної).

Тансформація (лат. *transformatio* - перетворення) - передача генетичного матеріалу від донора до реципієнта за допомогою ізольованої ДНК.

При трансформації не потрібен безпосередній контакт між клітиною-донором і клітиною-реципієнтом. Джерелом трансформуючої ДНК може служити вбита культура бактерій, або чисті препарати ДНК, які з неї екстраговані. Процес трансформації проходить у декілька етапів: 1) адсорбція трансформуючої ДНК на поверхні клітини реципієнта; 2) проникнення ДНК в клітину; 3) з'єднання трансформуючої ДНК з відповідним фрагментом хромосоми реципієнта.

Не всі клітини бактерій здатні сприймати ДНК. Клітини, які сприймають трансформуючу ДНК, називаються компетентними. Явище трансформації виявлено у стафілококів, бацил, бульбочкових бактерій, агробактерій, бруцел та ін. Найкраще вона вивчена у сінної палички і стрептококу пневмонії. Гомотрансформація - це перенесення генетичної інформації від одного штаму бактерій до другого (в межах одного виду). Відкриття явища трансформації дало змогу встановити роль нуклеїнових кислот як носіїв спадкової інформації. За характером розміщення перенесених ознак розрізняють зчеплену трансформацію - перенесення двох і більше генів, які розміщені поруч, одним фрагментом ДНК.

Незчеплена трансформація – перенесення генів різними фрагментами ДНК, або одним, але гени не розміщені поруч. В результаті трансформації утворюються трансформанти, які мають ознаки донора і реципієнта. Рекомбінантна ДНК далі реплікується як єдина структура. Трансформація може здійснюватися як в лабораторних умовах так і в природі. Трансформацію в бактерій використовують для проведення гібридологічного аналізу різних мутацій, для встановлення філогенетичної подібності донора і реципієнта.

Кон'югація (лат. conjugatio спряження бактерій) - це передача генетичного матеріалу від однієї клітини до другої шляхом безпосереднього контакту між ними. Вперше була вивчена в 1946 р. Дж. Ледербергом і Е. Татумом при культивуванні кишкової палички.

Трохи пізніше вченими було доведено, що між кон'югуючими клітинами утворюється цитоплазматичний мостик і встановлено наявність статевої диференціації. При кон'югації одна бактерія є донором - чоловіча клітина F+ (анг. fertility - плодючість), друга – реципієнтом - жіноча клітина F-. Статева диференціація зумовлена статевим фактором (F фактор), який є лише в чоловічих клітинах. Статевий фактор - це дволанцюгова ДНК, яка має форму кільця. Вона зумовлює ряд властивостей чоловічих клітин - наявність статевих ворсинок F-пілі, специфічну чутливість клітин-донорів до “чоловічих” дрібних РНК і ДНК-вмісних фагів. За допомогою статевих ворсинок чоловіча клітина прикріплюється до жіночої і через їх каналці відбувається перенесення генетичного матеріалу. Статевий фактор може існувати в клітині автономно (поза хромосоною). Його відносять до групи бактеріальних плазмід. Але поряд з цим, існують клітини, в яких статевий фактор інтегрований з хромосоною.

Під час кон'югації при передачі ДНК від донора до реципієнта зберігається цілісність генома донорної клітини. В клітину реципієнта переноситься одностанцюгова ДНК донора, під впливом якої в клітині синтезується комплементарний ланцюг і відновлюється дволанцюгова ДНК. Завершується кон'югація утворенням рекомбінантної бактеріальної

хромосоми. Кон'югація може відбуватися між штамми одного виду, між представниками різних видів. Це приводить до утворення так званих міжвидових рекомбінантів.

Трансдукція – це процес перенесення генетичного матеріалу від однієї бактеріальної клітини до другої за допомогою бактеріофага. Явище було відкрито в 1952 р. Н. Ціндер і Дж. Ледерберг на прикладі двох штамів сальмонел. Трансдукцію здійснюють помірні фаги та їх вірулентні мутанти. Суть трансдукції полягає в тому, що деякі помірні фаги в процесі репродукції включають у свій геном невеликі фрагменти ДНК бактерії-донора і переносять їх до бактерій-реципієнтів.

Фаги діляться на вірулентні і помірні. Вірулентні фаги, проникають в клітину, зумовлюють формування нових фагів і лізис бактерій. Зараження клітин помірними фагами не завжди супроводжується лізисом бактерій, частина їх виживає і стає лізогенними. В лізогенних бактеріях ДНК фага включається в ДНК клітини і помірний фаг перетворюється в профаг, який втрачає здатність руйнувати бактеріальну клітину. Профаг поводить себе так, як частина бактеріальної хромосоми і відтворюється в її складі протягом декількох поколінь.

У бактерій розрізняють 3 типи трансдукції: загальну, специфічну і абортивну. При загальній трансдукції проходить передача різних фрагментів ДНК від бактерій-донорів до бактерій-реципієнтів за допомогою помірних трансдукуючих фагів. Специфічна трансдукція характеризується здатністю фага переносити від бактерій донорів до бактерій реципієнтів тільки певні гени. Це зумовлено тим, що утворення трансдукуючого фага проходить в результаті з'єднання його ДНК із строго визначеними бактеріальними генами, розміщеними на хромосомі клітини донора.

При абортивній трансдукції перенесений фагом фрагмент хромосоми клітини-донора не включається в хромосому клітини-реципієнта, а розміщується в її цитоплазмі автономно. В процесі поділу клітини-реципієнта трансдукований фрагмент ДНК-донора може передаватися тільки одній із двох дочірніх

клітин, тобто успадковується однолінійно, в зв'язку з чим втрачається в потомстві.

4. Використання на практиці досягнень генетики мікроорганізмів

Досягнення генетики мікроорганізмів використовують в сільському господарстві, промисловому виробництві і в медицині. Внаслідок утворення індукованих мутантів можна отримати в десятки і сотні разів більше цінних продуктів (антибіотиків, ферментів, вітамінів, амінокислот) в порівнянні з природними формами мікроорганізмів.

Перебудова спадкової природи організмів шляхом генної інженерії відкриває широкі перспективи. Очевидно, методом генної інженерії можна буде створити такі бактерії, які втратять хвороботворність, допоможуть виробити імунітет проти багатьох інфекційних захворювань людини і тварин. Високопродуктивні мікроорганізми, які з'являться в промисловості, будуть створювати білки, ферменти, вітаміни, антибіотики та інші продукти.

Методом генної інженерії будуть створені високопродуктивні штами, які можна буде широко застосовувати у різних галузях народного господарства. Останні знайшли широке застосування в мікробіологічній промисловості для виробництва кормового білка, амінокислот, ферментів, вітамінів, антибіотиків, бактеріальних добрив, засобів захисту рослин, медичних препаратів – вакцин, інтерферонів, гормонів, та ін. За допомогою клонованих штамів E. coli одержують препарати інтерферону, інсуліну і соматотропіну.

Тема 5. Фізіологія мікроорганізмів

План

1. Поняття про метаболізм мікроорганізмів.
2. Процеси конструктивного метаболізму.
3. Типи живлення мікробів.
4. Процеси енергетичного обміну.

1. Поняття про метаболізм мікроорганізмів

Сукупність процесів, які гармонійно поєднані і перебігають у клітині в певній послідовності, забезпечуючи відтворення її біомаси, називають *обміном речовин, або метаболізмом*.

Існують два напрями метаболізму: *анаболізм, або конструктивний обмін*, який об'єднує процеси синтезу складових частин тіла організму за рахунок надходження поживних речовин із довкілля, і *катаболізм, або енергетичний обмін*, що включає процеси розпаду органічних речовин із одночасним вивільненням енергії та акумуляцією її в АТФ та інші високо енергетичні сполуки. У мікроорганізмів розрізняють дві форми катаболізму - дихання і бродіння.

Конструктивний і енергетичний процеси перебігають у клітині водночас. У більшості прокаріотів вони тісно пов'язані між собою і їх важко розділити. Слід відзначити, що анаболізм і катаболізм мікробів характеризуються надзвичайною різноманітністю, яка є результатом здатності цих форм життя використовувати - як джерела енергії і як вихідні субстрати для побудови речовин тіла - найширший набір органічних і неорганічних сполук. В основі метаболічної різноманітності також лежать властиві мікроорганізмам різні шляхи метаболізування вихідних субстратів, тобто один вихідний субстрат може перетворюватися, залежно від умов, різними шляхами.

2. Процеси конструктивного метаболізму

Хімічний склад мікроорганізмів, у тому числі й бактерій, подібний до хімічного складу тіла рослин і тварин. Бактеріальна клітина складається із органогенів: вуглецю, азоту, кисню, водню і зольних елементів. На частку вуглецю припадає 45-55%, азоту - 8-15%, кисню - 30%, водню - 6- 8 %. Вміст зольних, або мінеральних, елементів становить від 2 до 14 % сухої речовини тіла бактерій. Із різних елементів та їхніх сполук мікроби синтезують білки, вуглеводи, ліпіди, гліюцидоліпідні, гліюцидоліпнопротеїдні комплекси, нуклеїнові кислоти, ферменти, вітаміни тощо.

Вода. Бактеріальна клітина містить 75-85 % води й 15-20 % сухої речовини. Спори бактерій містять значно менше води,

ніж вегетативні клітини - 40-50 %. Кількісно вода є основною складовою частиною тіла бактерій. Вона перебуває в тілі бактерій як у зв'язаному, так і вільному стані. Зв'язана вода є структурним елементом цитоплазми і не може бути розчинником. Вільна вода слугує за дисперсне середовище для колоїдів і за розчинник для кристалічних речовин, джерело водневих і гідроксильних іонів і бере участь у різних хімічних реакціях. Вона відіграє також важливу роль у процесах дихання.

Сухий залишок. Суха речовина бактеріальної клітини (її органічна частина) складається із білків, вуглеводів, жирів і жироподібних речовин, нуклеїнових кислот та багатьох інших сполук.

Білки є основними компонентами органічних речовин бактеріальної клітини. Вони входять до складу цитоплазми, мембран та інших структур клітини. Вміст їх складає 50-80 % сухої речовини бактерій. Розрізняють два основних види білків: прості і складні білки. Протеїни, або прості білки, під час гідролізу розпадаються на амінокислоти; складні білки є сполуками протеїнів і небілкових груп. Такими групами у складних білках можуть бути нуклеїнові кислоти, внаслідок чого ці білки назвали нуклеопроїнами. Якщо протетичною групою білка буде жир або жироподібна речовина, такий білок називається ліпопротеїном. Сполуки білків з цукрами називаються глікопротеїнами. До групи білків належать також ферменти, які відіграють надзвичайно важливу роль у життєдіяльності мікроорганізмів.

Нуклеїнові кислоти. Це високомолекулярні поліконденсати мононуклеотидів, сполучених між собою у вигляді ланцюжка. Основним структурним елементом нуклеїнових кислот є нуклеотид, який складається з азотистої основи, п'ятивуглецевого цукру і залишку фосфорної кислоти. Крім ДНК, відомо три типи РНК: мРНК, рРНК і тРНК. ДНК складається з аденіну, гуаніну, цитозину, тиміну, дезоксирибози і залишку фосфорної кислоти; до складу РНК входять аденін, гуанін, цитозин, урацил, рибоза і залишок фосфорної кислоти. Різниця між цими двома нуклеїновими кислотами полягає в тому, що в ДНК є азотна основа тимін і дезоксирибоза, а в РНК -

урацил і рибоза. Однак виявилось, що існують істотні відхилення від цього правила. Наприклад, у сінної палички виявлено нову азотисту основу - 5- оксиметилурацил, а в складі ДНК фага - *Bacillus subtilis* - дезоксиуридинову кислоту.

Вміст *вуглеводів і багатоатомних спиртів* у бактеріальній клітині становить у середньому 12-18 % сухої речовини. До них належать: багатоатомні спирти, олігозиди, поліозиди, кислі поліозиди, нейтральні олігополіозиди, які містять ацетиламіногрупи, оліго- і поліозиди, що містять сіалову кислоту. Основна маса вуглеводів - це полісахаридний комплекс, який перебуває у вільному або зв'язаному стані з білками і ліпідами в оболонках і капсулах клітин. У клітинах деяких видів бактерій міститься також багато вуглеводів, подібних за хімічним складом до крохмалю і глікогену, декстринів і клітковини.

Ліпіди. У бактерій, які відкладають жир у вигляді особливих включень, кількість ліпідів може сягати 40 % (мікобактерії туберкульозу, деякі дріжджі). У більшості бактерій вміст ліпідів коливається від 3 до 10 % (на суху речовину). Бактеріальні ліпіди складаються із вільних жирних кислот, нейтральних жирів, восків і фосfolіпідів. Нейтральні ліпіди бактерій містять ефіри жирних кислот і вуглеводи. Ліпіди перебувають у клітинах мікробів як у вільному, так і в зв'язаному стані. Вони використовуються як будівельний (мембрани), енергетичний матеріал і як запасні поживні речовини. Крім білків, вуглеводів, жирів та жироподібних речовин, тіло мікробів містить і низку інших органічних сполук: органічні кислоти, спирти, пігменти, вітаміни, антибіотики тощо.

У тілі мікроорганізмів містяться також *мінеральні речовини*: фосфор, сірка, натрій, магній, калій, кальцій, силіцій, хлор, а також мікроелементи: марганець, бор, молібден, кобальт, мідь, цинк та ін. Загальний вміст мінеральних речовин у бактерій становить у середньому від 2 до 14 % на масу сухої речовини. На кількісний і якісний склад мінеральних речовин великий вплив має середовище, на якому вирощують мікроби, їх вид і вік. Мінеральні речовини відіграють велику роль у регуляції внутрішньоклітинного осмотичного тиску і колоїдного

стану цитоплазми, швидкості і напряму багатьох біохімічних реакцій. Низка мінеральних речовин є активаторами ферментів, стимуляторами росту тощо.

Для мікроорганізмів, як і всіх інших живих істот, живлення є необхідним. Поживні речовини надходять із зовнішнього середовища в живий організм і використовуються ним або як будівельний матеріал, або як джерело енергії для процесів життєдіяльності. Вивчення хімічного складу мікробів показало, що для біосинтезу основних макромолекул їхнього тіла, з яких формується оболонка, мембрана, цитоплазма, нуклеоїд та інші компоненти, вони повинні одержувати для живлення вуглець, азот, фосфор, сірку, кисень, залізо, калій, кальцій, магній, натрій, хлориди, мікроелементи тощо.

Крім поживних елементів, що використовуються на побудову структурних компонентів клітини, мікроби також потребують постійного джерела енергії, яка використовується для біосинтезу різних сполук та інших життєвих процесів у клітині.

3. Способи живлення мікроорганізмів

Є два способи живлення живих організмів - *голозойний* і *голофітний*. При голозойному способі живлення частинки їжі захоплюються тваринним організмом, потрапляють в органи травлення і перетравлюються. Цей спосіб живлення властивий представникам тваринного світу від Protozoa до вищих тварин. Голофітний спосіб живлення характерний для організмів, які не мають спеціальних органів для захоплення і перетравлення їжі. Вони вбирають поживні речовини у вигляді відносно невеликих молекул із водного розчину, а також виділяють продукти кінцевого обміну всією поверхнею тіла. Такий спосіб живлення властивий усім рослинам і мікроорганізмам.

Слід зазначити, що більшість органічних сполук є полімерами (білки, полісахариди тощо) і не можуть у такому стані поглинатися і безпосередньо використовуватися в обміні речовин клітини. Такі речовини мусять спочатку бути розщепленими на прості сполуки, які б могли проникати крізь мембрану. Перетворення таких полімерних сполук відбувається завдяки дії екзоферментів, що виділяються мікроорганізмами в

середовище. Цей процес називають зовнішнім перетравлюванням. Він властивий тільки мікроорганізмам. Вважається, що між голозойним і голофітним способами живлення істотної різниці немає, оскільки добре відомо, що і найпростіші, і рослинні організми використовують розчинені у воді речовини, а багато бактерій і грибів можуть засвоювати тверді речовини за допомогою так званого зовнішнього перетравлювання.

Типи живлення.

За джерелом вуглецю, необхідним для конструктивного метаболізму, всі мікроорганізми можна поділити на дві великі групи: **автотрофи** - мікроорганізми, які використовують як єдине джерело вуглецю для синтезу речовин свого тіла CO_2 , і **гетеротрофи** - мікроорганізми, що використовують для конструктивного обміну вуглець із складних відновлених органічних сполук. Якщо автотрофні мікроорганізми самі забезпечують себе вуглецем, то гетеротрофи, що потребують певних форм вуглецевих сполук, повинні житися продуктами життєдіяльності інших організмів. Серед гетеротрофних мікроорганізмів виділяють сапрофітів, які живуть за рахунок органічних речовин мертвих решток рослинних і тваринних організмів, і паразитів, що пристосувалися в ході еволюції до життя в тканинах живих організмів.

Існують **облігатні** (обов'язкові, строгі) і **факультативні** (необов'язкові) паразитні мікроби. Найвища ступінь гетеротрофності властива прокаріотам, які належать до облігатних внутрішньоклітинних паразитів, тобто організмів, що можуть жити тільки у середині живих клітин (рикетсії, хламідії та інші). Паразитичний спосіб життя призвів до редукції деяких метаболічних шляхів у цих організмів, що й зумовило їхню повну залежність від обміну речовин клітини-хазяїна.

До автотрофного типу живлення належать фотолітотрофи і хемолітотрофи, а до гетеротрофного - хемоорганотрофи. Чимало мікроорганізмів є міксотрофами, тобто вони здатні переходити від одного типу живлення до іншого.

4. Процеси енергетичного обміну

За способом використання різних джерел енергії серед мікроорганізмів вирізняються такі групи: а) *фототрофи*, які використовують як джерело енергії сонячне світло; б) *хемотрофи*, джерелом енергії для яких є різноманітні неорганічні і органічні сполуки. Кожна з цих груп, своєю чергою, залежно від природи речовини, яка окислюється і використовується в метаболізмі, поділяється на літотрофів, які одержують енергію внаслідок окислення неорганічних речовин, і органотрофів, джерелом енергії для яких є органічні речовини. Отже, за способом добування енергії серед мікроорганізмів можна виділити чотири групи: фотолітотрофи, фотоорганотрофи, хемолітотрофи і хемотрганотрофи.

Фототрофи. Мікроорганізми, які використовують сонячну енергію для синтезу речовин свого тіла із CO_2 і неорганічних сполук типу H_2O , H_2S , S , тобто здійснюють процес фотосинтезу, є фотолітотрофами. До них належать зелені рослини, синьо-зелені водорості (ціанобактерії), зелені сіркобактерії, пурпурні сіркобактерії тощо.

Зелені рослини, які містять хлорофіли і каротиноїдні пігменти, здійснюють процес фотосинтезу в аеробних умовах за таким сумарним рівнянням: $6\text{CO}_2 + 12\text{H}_2\text{O} + h\nu \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6\text{O}_2 + 6\text{H}_2\text{O}$.

Пурпурні сіркобактерії з родини Chromatiaceae містять бактеріохлорофіл і каротиноїди, за допомогою яких здійснюється бактеріальний фотосинтез в анаеробних умовах за таким сумарним рівнянням: $2\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{S} + 2\text{H}_2\text{O} + h\nu \rightarrow 2\text{CH}_2\text{O} + \text{H}_2\text{SO}_4$. При бактеріальному фотосинтезі асиміляція CO_2 проходить за циклом Кальвіна, а утворення АТФ забезпечується циклічним фосфорилуванням. Відновник утворюється за рахунок H_2S , що окислюється в анаеробних умовах до сульфату. Деякі пурпурні сіркобактерії можуть використовувати замість H_2S в ролі екзогенного донора електронів й інші неорганічні сполуки сірки (S , тіосульфат, сульфід).

Тема 6. Екологія мікроорганізмів. Мікроорганізми як компоненти екосистем

План

1. Мікрофлора повітря та методи її дослідження.
2. Мікрофлора води, очистка питних та стічних вод.
3. Мікрофлора ґрунту та її роль в утворенні гумусу.
4. Мікроорганізми і вищі рослини (ризосфера, мікориза, епіфітні мікроорганізми).

1. Мікрофлора повітря та методи її дослідження

Мікроорганізми в повітрі уперше були виявлені Л. Пастером ще у другій половині XIX ст. Потрапляють вони туди із ґрунту разом з пилом, а також з дрібними крапельками води, які здуваються з водної поверхні, та іншими шляхами. Чим більше забруднюватиметься повітря пилом, димом, кіптявою, тим більше в ньому мікроорганізмів.

Найчастіше в повітря потрапляють спори *Bacillus* (*B. subtilis*, *B. cereus*) і *Clostridium*, конідії грибів, шматки міцелію, цисти найпростіших і одноклітинних водоростей, пилок рослин, різні мікрококи і сарцини, актиноміцети, цвілеві та дріжджові гриби тощо.

Найбільша кількість мікроорганізмів у повітрі спостерігається над великими промисловими містами, менша - над сільською місцевістю і найменша - над морями, льодовими полями, горами і лісами. У лісах, особливо хвойних, мікробів дуже мало, оскільки на них згубно впливають леткі речовини - фітонциди.

Для зменшення кількості мікробів у повітрі велике значення мають зелені насадження, оскільки рослини не тільки виділяють фітонциди, а й завдяки своїм листкам мають значну пилозатримуючу здатність. Вчені наводять дані, що у центрі Львова, наприклад, в 1 м³ повітря містилось близько 3000 бактерій, у повітрі міського парку - 1000, а в замському парку - 500. Найбільше мікроорганізмів у повітрі закритих приміщень, особливо там, де скупчується багато людей.

Цікаві дані наводять французькі вчені щодо кількості мікроорганізмів повітря в різних місцях Парижа. Наприклад, у районі Люксембурзького парку, який вважається найздоровішим місцем у Парижі, в 1 м³ повітря виявлено 130 мікробів. У житлових приміщеннях кількість мікроорганізмів коливалась від 4000 до 8000 в 1 м³ повітря. В приміщенні вокзалу Сент-Луар - 50 000, а в магазинах - від 300 тисяч до 2 млн. Особливо багато мікробів у повітрі було виявлено у вихідний день в автомобільному салоні - 9 млн. у 1 м³.

Мікроби й віруси потрапляють у повітря не тільки з пилом, а й з крапельками слини і слизу, які виділяє людина при кашлі, чханні, під час сміху й розмови. Так, при чханні та кашлі викидається в повітря близько 60 000 крапельок, в яких міститься велика кількість різних мікробів. Відомо, що людина в середньому за добу вдихає до 14 тис. л повітря, при цьому 99,5 % мікроорганізмів, які містились у повітрі, затримуються в дихальних шляхах. Саме через повітря можуть передаватися збудники грипу, кору, дифтерії, ангін, стафілококових, стрептококових і менінгококових захворювань, туберкульозу тощо.

Для закритих приміщень санітарними показниками повітря є наявність у ньому стафілококів, зеленуватих стрептококів, а показником прямої епідеміологічної небезпеки — гемолітичних стрептококів і стафілококів. Орієнтовним критерієм чистоти повітря жилих приміщень вважають такий стан, коли в 1 м³ міститься не більше як 1500 бактерій і 16 стрептококів.

Щоденне вологе прибирання, своєчасне побілення приміщень, систематична вентиляція зменшують кількість мікробів у повітрі. В окремих випадках для очищення повітря застосовують дезінфекцію такими антисептиками, як технічна молочна кислота і триетилен-гліколь.

2. Мікрофлора води, очистка питних та стічних вод

Природні води на відміну від повітря, є середовищем, в якому мікроорганізми можуть розмножуватися, оскільки у воді завжди міститься певна кількість органічних і мінеральних речовин, що можуть використовуватися для живлення мікробів.

Кількісний і якісний склад мікрофлори різних природних джерел води різноманітний. Він залежить, насамперед, від забруднення води. Особливо різноманітний і багатий склад мікробів у стічних водах. У 1 мл активного мулу стічних вод за прямим підрахунком загальна кількість мікробів становить 10-20 млрд. У зв'язку з бурхливим розвитком промисловості та збільшенням чисельності населення міст різко збільшилась кількість стічних вод, які часто неочищеними спускають у відкриті водоймища і ріки. У чистій воді річок, озер та інших відкритих водойм мікробів набагато менше.

В середньому в 1 мл чистої води міститься від кількох десятків до кількох сотень мікроорганізмів. Набагато більше мікробів завжди у воді прибережної зони водоймищ, ніж далі від берега. Значні коливання кількості бактерій спостерігаються і за вертикаллю відкритих водоймищ (рік, озер, водосховищ, ставків). Найбільша кількість їх у верхньому шарі води (5-20 см). З глибиною кількість бактерій різко зменшується. Всі водні мікроорганізми поділяються на **автохтонні** (корінні жителі), адаптовані до екологічних умов даного водоймища, і **алохтонні**, які надходять у водоймище ззовні. Залежно від ступеня забруднення водойми, кількість алохтонних мікробів збільшується, а при поступовому самоочищенні - зменшується.

Склад і кількість мікробів відкритого водоймища залежить від заселеності прибережних районів, хімічного складу води, пори року та інших причин. Переважну більшість мікрофлори річок, озер, ставків, каналів становить група кокоподібних сапрофітних бактерій (до 80 %), найпоширенішими представниками яких є *Micrococcus agilis*, *M. roseus*, *M. candidus*, *Staphylococcus aureus*, решту становлять переважно не спороносні паличкоподібні бактерії *Pseudomonas fluorescens*, *Bacterium violaceum*, *Clostridium perfringens*, ціанобактерії та інші.

У водоймах залежно від ступеня забрудненості можуть траплятися і певний час зберігати свою життєдіяльність патогенні мікроби, наприклад, у відкритих водоймах і у водогонах збудник дизентерії може зберігатися від кількох днів до кількох місяців, а холерний вібріон - до 3 місяців.

Склад мікрофлори підземних вод (артезіанська, джерельна та інші) залежить в основному від глибини залягання водоносного шару, характеру ґрунту тощо. Води, які залягають на великих глибинах, містять дуже мало мікроорганізмів. Підземні води, що їх добувають з невеликих глибин через звичайні колодязі, куди можуть просочуватися поверхневі води, містять багато бактерій, серед яких часто трапляються і патогенні. Ступінь забруднення води мікробами прийнято виражати *сапробністю* - сукупністю організмів, що живуть у водах, які містять велику кількість тваринних або рослинних решток. За кількістю мікроорганізмів, що живуть у воді, водоїми поділяються на такі зони.

1. Олігосапробна зона. Кількість мікробів незначна - у 1 мл від кількох десятків до кількох сотень мікробів. Кишкової палички тут немає. Зона характерна для чистої води. Колі-титр - від 1 і не більше 10.

2. Мезосапробна зона. Кількість бактерій у 1 мл - сотні тисяч, кількість кишкової палички незначна. Це зона помірного забруднення, в ній відбувається дальша мінералізація органічних речовин. Колі-титр - від 0,05 до 1.

3. Полісапробна зона. Вода у цій зоні дуже забруднена, бідна на кисень і багата на органічні сполуки. Кількість бактерій в 1 мл сягає 1 млн. і більше, багато кишкової палички і анаеробних бактерій, які зумовлюють процеси гниття і бродіння. Колі-титр - від 0,005 до 0,001.

Виділяють ще так звану *катаробну зону*, або зону дуже чистої води. Такі водоїми, розміщені далеко від населених пунктів. Колі-титр цієї води становить 10-100.

За своїм складом і властивостями питна вода має бути бездоганною в епідемічному відношенні, нешкідливою за хімічним складом і мати хороші органолептичні властивості. Якість питної води оцінюється комплексом хімічних, органолептичних і бактеріологічних показників.

Ступінь бактеріологічної забрудненості води оцінюють за колі-титром і колі-індексом. *Найменша кількість води (мл), в якій виявляють хоча б одну клітину E. coli, називається колі-*

титром. Кількість клітин *E. coli*, виявлених у 1 л води, позначається **колі-індексом**.

Питна вода є безпечною тоді, коли полі-титр дорівнює 300-330 мл, а полі-індекс - 2-3. Іншими словами, питна вода вважається чистою, якщо мікробів у 1 мл до 100, сумнівною - при наявності 100—150, забрудненою - при 500 і більше. Вода джерел централізованого господарсько-питного водозабезпечення не повинна містити збудників кишкових захворювань і мати полі-індекс не більше як 10 000 (колі-титр - не нижче 0,1). Вода колодязів, яка використовується для пиття, повинна мати полі-індекс не більше 10. Погіршення таких показників говорить про необхідність проведення профілактичної дезінфекції. Оскільки *S. faecalis* постійно живе тільки в кишках людини і теплокровних тварин, її кількість також обчислюють, поряд з полі-титром і полі-індексом, для визначення ступеня біологічного забруднення питної води, стічних вод, ґрунту та інших об'єктів.

Очистка питних вод.

На комунальних водогінних станціях при використанні поверхневих вод першим етапом є механічна очистка від грубих домішок, іноді з попереднім хлоруванням. Далі для освітлення застосовують коагуляцію води солями алюмінію і заліза з наступним відстоюванням. Після цього воду фільтрують крізь кварцовий пісок або подрібнений антрацит. Але ж і після фільтрування у воді залишається незначна кількість мікробів, серед яких можуть бути і патогенні, а тому профільтовану воду знезаражують - *дезінфікують хлоруванням*. До нових методів дезінфекції води належать озонування та опромінення.

Очистка стічних вод.

Для господарсько-побутових потреб людина використовує приблизно від 120 до 430 л на добу. Стічні води очищають фізичним, хімічним і біологічним методами. В природних умовах очистка здійснюється шляхом фільтрації стічних вод через ґрунт на спеціальних полях фільтрації і полях зрошення.

3. Мікрофлора ґрунту

Вчені довели, що мікроорганізмам належить винятково важлива роль у процесах ґрунтоутворення. Адже під впливом

біологічного фактора проявляється основна властивість ґрунту, яка відрізняє його від материнської породи - родючість.

При безпосередній участі живих організмів відбувається процес руйнування мінералів і перетворення гірських порід на ґрунт. Ґрунт є продуктом їхньої життєдіяльності. У ґрунті мікроби знаходять усі умови для розвитку: вологу, поживні речовини, захист від згубної дії прямої і сонячної радіації тощо. Завдяки цим сприятливим умовам кількість мікроорганізмів у ґрунтах дуже велика - від 200 млн. мікробів на 1 г глинистого ґрунту до п'яти і більше мільярдів на 1 г чорнозему. Ґрунт - основне джерело, звідки мікроорганізми надходять у повітря і воду.

Мікрофлора ґрунту дуже різноманітна. До її складу входять нітрифікуючі, азотфіксуючі, денітрифікуючі бактерії, сірко- і залізобактерії, целюлозорозкладачі, бацили, мікоплазми, актиноміцети, гриби, водорості, найпростіші тощо.

Кількісний і якісний склад мікрофлори ґрунтів змінюється залежно від хімічного складу ґрунту, його фізичних властивостей, реакції середовища (рН), вологи й поживних речовин. Найбільша кількість мікроорганізмів міститься у багатих на органічні речовини чорноземних і червоноземних ґрунтах. Неоднаково поширені мікроорганізми і за ґрунтовими горизонтами. Найбільша їх кількість міститься у верхньому шарі ґрунту на глибині 5-20 см. На глибині понад 25 см кількість бактерій у 10- 20 разів менша, ніж на глибині 2 см. У глибоких шарах ґрунту (2-5 м) трапляються лише поодинокі мікроби.

Наявність у 1 г ґрунту (наприклад, верхній шар чорнозему) кількох мільярдів бактерій, актиноміцетів, до мільйона спор грибів і багатьох інших мікроорганізмів свідчить про велику біогенність ґрунту. В орному шарі окультуреного ґрунту на площі 1 га міститься 5-6 т мікробної маси.

Серед різноманітної мікрофлори в ґрунті трапляються й патогенні бактерії, хоча ґрунт у цілому є несприятливим середовищем для життя більшості патогенних бактерій, вірусів, грибів і найпростіших. Водночас із мінералізацією органічних речовин у ґрунті відбуваються і процеси бактеріального

самоочищення - відмирання не характерних для ґрунту сапрофітних і патогенних бактерій.

Якщо ґрунти містять патогенні мікроби, то вони завжди становлять потенційну загрозу в епідеміологічному відношенні. Велику роль у зараженні ґрунту патогенними мікробами відіграють стічні води. Тому необхідно систематично проводити санітарно-бактеріологічні дослідження ґрунтів для характеристики санітарного стану і процесів самоочищення при вирішенні питань, які пов'язані з плануванням і будівництвом населених пунктів, санітарної оцінки ґрунтового і біотермічного методів знешкодження відходів у різних умовах їхнього застосування.

4. Мікроорганізми і вищі рослини.

Між мікрофлорою і рослинами ще в середині минулого століття був виявлений тісний взаємозв'язок, коли вчені спостерігали присутність специфічних бактерій на коренях бобових рослин. Незабаром Б.Ф. Каменський установив факт співжиття деяких деревних рослин і мікоризних грибів. На початку ХХ ст. німецькі і чеські дослідники майже водночас зробили важливе відкриття про взаємовідносини різних мікробів і рослин у ризосфері (зона ґрунту довкола коренів, збагачена мікробами). У її складі переважають не спороносні бактерії - *P.herbicola*, *P.fluorescens*, інколи спороносні - *V.mesentericus*, *V.megaterium*, мікобактерії, азотобактер та інші. Значну частку мікроорганізмів ризосфери становлять також гриби, зокрема представники родів *Penicillium*, *Trichoderma*. В ризосфері трапляються також дріжджі, водорості та інші мікроорганізми. Відомо, що коренева система і надземні органи рослин виділяють різні речовини. У корневих виділеннях виявлено органічні кислоти (яблучну, винну, лимонну, щавелеву та інші), цукри, амінокислоти, фізіологічне активні речовини (вітаміни, алкалоїди, ростові речовини тощо). У зв'язку з цим на коренях рослин розмножується численна сапрофітна мікрофлора, яка живиться цими поживними речовинами.

Рослини, своєю чергою, одержують від мікроорганізмів продукти мінералізації органічних решток. Встановлено, що ризосферні мікроорганізми можуть також виробляти тіамін,

ціанкобаламін, рибофлавін, піридоксин, пантотенову кислоту та інші вітаміни. Деякі мікроби синтезують також ростові речовини - гетероауксини і гіберилін. Рослини самостійно синтезують вітаміни і ростові речовини.

Тема 7. Перетворення азотистих сполук в ґрунті з участю мікроорганізмів

План

1. Кругообіг азоту в природі.
2. Амоніфікація органічних азотовмісних сполук і її збудники.
3. Процеси нітрифікації в природі.
4. Денітрифікація. Імобілізація азоту.
5. Біологічна фіксація молекулярного азоту. Вільноживучі і симбіотичні азотофіксатори.

1. Кругообіг азоту в природі

Всі хімічні елементи, які необхідні живим істотам циклічно перетворюються. В природі постійно відбувається перетворення елементів із мінеральної форми в органічну. Всім живим істотам на Землі необхідні одні і ті ж хімічні елементи: N, O, H, C, S, P і ін.

Азот - один із основних елементів у складі живої матерії. Він входить до складу багатьох речовин живої клітини: структурних білків, білків ферментів, нуклеїнових кислот, АТФ. Його перетворення в біосфері визначають роботу основної ланки біологічного циклу - утворення рослинної продукції.

Великі запаси азоту на нашій планеті представлені його відновленими і окисленими газоподібними формами (N_2 , NH_3 , N_2O , NO , NO_2), які входять до складу атмосфери Землі і знаходяться в повітрі. Найбільшу частину атмосферних газів складає молекулярний азот – 78,09% по об'єму.

В ґрунті іммобілізованого азоту в гумусі і біомасі мікроорганізмів в три рази більше, ніж в рослинах і тваринах разом узятих. Азоту в ґрунті дуже часто не вистачає для живлення рослин, так як основна кількість ґрунтового азоту

зосереджена в складних органічних сполуках, які є недоступними для рослин і які мінералізуються дуже повільно. Із ґрунту азот постійно виноситься рослинами разом з урожаєм. Згідно даних деяких вчених за рік рослини виносять разом з урожаєм 100 млн.т. азоту.

В природі проходить постійний кругообіг азоту, в якому беруть участь рослини, тварини і мікроорганізми. Але мікроорганізми в цьому кругообігу відіграють істотну роль.

Цикл трансформації азотовмісних речовин представлений взаємозв'язаними процесами.

Деяку частину атмосферного азоту зв'язують вільноживучі і симбіотичні азотфіксуючі мікроорганізми. Цей процес збагачує азотом ґрунт, і рослини.

2. Амоніфікація органічних азотовмісних сполук

Валовий вміст азоту в ґрунті може бути дуже великий, а в чорноземах він досягає 10 т/га. Близько 99% цього азоту акумульовано в органічних сполуках, в тому числі в гумусі, тому він є недоступним для рослин. На долю білків припадає 50% від органічних азотовмісних сполук.

Процес мінералізації азотовмісних органічних сполук з виділенням аміаку дістав назву **амоніфікація**. Процесу амоніфікації піддаються білки, продукти їх розщеплення пептиди і амінокислоти, нуклеїнові кислоти, пуринові і пірамідинові основи, сечовина і сечова кислота, азотовмісний полісахарид хітин і гумусові кислоти. Було доведено, що процес амоніфікації здійснюється багатьма мікроорганізмами в широкому діапазоні умов, за виключенням місць з дуже жарким і сухим кліматом, де проходить муміфікація мертвих залишків. Процес амоніфікації білків проходить таким чином. Амоніфікуючі бактерії виділяють протези, які розщеплюють білки спочатку до пептонів, пептидів, а потім до амінокислот. Амінокислоти можуть надходити в клітини мікробів у розчиненому стані, або адсорбуватися на частинках ґрунту чи вступати в хімічні реакції в ґрунті. В середині бактеріальної клітини амінокислоти можуть перетворюватися: 1) з них можуть синтезуватися білки; 2) утворюватися інші амінокислоти, шляхом переамінування; 3) декарбоксилуватися з утворенням

вуглекислого газу і первинних амінів. Серед амінів можуть утворюватися високотоксичні сполуки кадаверин, путресин, агматин, які відомі під назвою “трупних отрут”; 4) дезимінування, в процесі якого виділяється вільний аміак. В аеробних умовах крім аміаку утворюються CO₂, окиси сірки, а в анаеробних – жирні і ароматичні кислоти (бензойна, ферулінова), спирти, неприємні на запах речовини (індол, скотол, метил меркаптан).

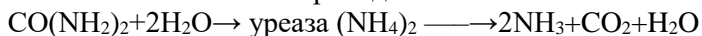
Розрізняють декілька типів дезомінування: гідролітичне, відновне, окислююче.

Найбільш активними серед амоніфікаторів є бактерії родів *Proteus*, *Bacillus*, а також *Mycobacterium* *Proteus vulqaris*, *Pseudomonas fluorescens*, *Clostridium tetani* – збудник правця, *Clostridium perfringens* – збудник газової гангрені, *Clostridium sporogenes*, актиноміцети і гриби - *Aspergillu*, *Penicillium*, *Mucor*, *Trichodervf* *Cladosporiuv*

Нуклеїнові кислоти входять до складу нуклеопротейдів. Рослинні і тваринні тканини містять два типи нуклеїнових кислот: ДНК і РНК. При їх гідролізі утворюються пуринові і пірамідинові основи, пентози – рибоза і дезоксирибоза і фосфорна кислота. Амоніфікація нуклеїнових кислот проходить з участю ферментів нуклеаз (рибонуклеаза і дезоксирибонуклеаза), які синтезуються деякими видами грибів і бактерій. Нуклеїнові кислоти розпадаються на мононуклеотиди, від яких спочатку відщеплюються фосфорна кислота, потім цукор, пуринові і пірамідинові основи. В залежності від типу обміну речовин мікроорганізмів вуглець може окислюватися киснем до CO₂ і H₂O, або піддаватися бродінню з утворенням органічних кислот і спиртів. Пуринові і пірамідинові основи розкладаються до сечовини і амінокислот і в кінці кінців до аміаку і органічних кислот.

Амоніфікація сечовини здійснюється мікроорганізмами, які продукують фермент уреазу. Сечовина містить 46% азоту і використовується як добриво.

Розчеплення сечовини проходить за схемою:



Мікроорганізми, які розщеплюють сечовину були відкриті в 1862р. Л. Пастером і названі уролітичними. Уробактерії живуть в ґрунті, в рубці жуйних тварин, в стічних водах. Серед них є коки - *Micrococcus urea*, бацили – *Bacillus probatus* (*Urobacillus pasteuru*), сарцини – *Planosarcina urea*. Одним із кінцевих продуктів білкового обміну птахів, комах, земноводних є сечова кислота. В пташиному посліді її міститься 25%, в екскрементах змій – 90%. В сечі ссавців концентрація її незначна. Сечова кислота спочатку перетворюється в сечовину, яка гідролізує до аміаку, CO_2 і H_2O .

3. Процеси нітрифікації в природі

В процесі нітрифікації окислення аміаку здійснюється до азотистої і азотної кислот. Вперше висловив думку про мікробіологічну природу процесу нітрифікації Л. Пастер, але не були виділені нітрифікуючі бактерії.

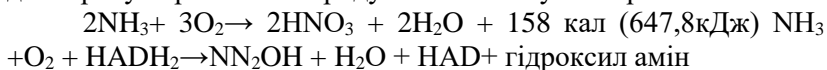
Пізніше в 1890 р. С. Н. Виноградський виділив нітрифікуючі бактерії в чисту культуру і показав на основі своїх досліджень, що процес нітрифікації протікає у дві фази. *Перша фаза* нітрифікації – окислення аміаку до нітритів проходить з участю нітрозних бактерій, які представлені 5 родами: *Nitrosomonas*, *Nitrosospira*, *Nitrosolobus*, *Nitrosovibrio*, (*Nitrosomonas europaea*).

Друга фаза – окислення нітритів у нітрати здійснюється під впливом нітратних бактерій родів *Nitrobacter*, *Nitrospina*, *Nitrococcus*. (*Nitrobacteres winogradskii*).

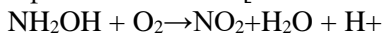
Назва родів свідчить про те, що нітрифікуючі мікроорганізми є морфологічно різноманітними – це коки, палички, спіральні зігнуті клітини. Всі вони є грамнегативні, більшість з них дрібні, часто рухомі з полярним або перетрихальними джгутиками. В метаболічному відношенні всі нітрифікуючі бактерії – хемолітоавтотрофи – тобто для синтезу органічних речовин свого тіла використовують CO_2 і енергію окислення аміаку або азотистої кислоти.

Нітрифікуючі бактерії є облигатними аеробами або мікроаерофілами, розмножуються в основному поділом, за виключенням представників роду *Nitrobacter*, які розмножуються брунькуванням.

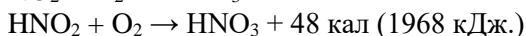
Доведено, що процес окислення аміаку і нітритів локалізується на цитоплазматичних мембранах. Окислення аміаку до нітрату проходить ступінчасто з втратою електрона. Спочатку утворюється гідроксиламін, який далі окислюється до нітриту. Проміжним продуктом може бути нітроксил:



I фаза: $\text{NH}_2\text{OH} \rightarrow [\text{HNO} + 2\text{e}^- + 2\text{H}^+ \text{ нітроксил}]$



II фаза: донором кисню при окисненні нітритів до нітратів служить вода.



Електрони, які утворюються в першій і другій фазі нітрифікації надходять в дихальний ланцюг на цитохроми.

В кислих ґрунтах автотрофна нітрифікація пригнічена, але тут проходить окислення аміаку і інших відновлених азотовмісних речовин до нітритів і нітратів гетеротрофними мікроорганізмами – бактеріями і грибами. При гетеротрофній нітрифікації утворення нітритів супроводжується окисленням органічних речовин.

В природі гетеротрофна нітрифікація спостерігається в компостних ямах, в скупченнях птишиного посліду – тут аміак утворюється в середовищі з великим вмістом органічних речовин.

Автотрофна нітрифікація проходить в ґрунтах, озерах, морях, океанах. Вона має позитивне значення, так як є етапом в кругообігу азоту в природі, так і негативне. Хоч нітрити добре засвоюються рослинами і сприяють розчиненню інших елементів, які необхідні для рослин (N – д фосфор, залізо) вони значно легше і швидше вимиваються з ґрунту, ніж амонійні солі. Щорічно у води морів і океанів разом з нітратами поступає мільйони тон азоту. Тому інтенсивна нітрифікація може призвести до збіднення ґрунту азотом. З метою регуляції даного процесу вносять препарати, які гальмують нітрифікацію (наприклад, нітропірин, піридин і його похідні). Ці препарати

пригнічують першу фазу автотрофної нітрифікації, але не впливають на гетеротрофну нітрифікацію.

Нітрати, які утворюються в ґрунті, в подальшому перетворюються: 1) вони можуть поглинатися вищими рослинами; 2) можуть надходити у водойми; 3) фіксуватися в клітинах мікроорганізмів, які використовують нітрати в якості джерела азоту; 4) відновлюватися мікроорганізмами до молекулярного азоту.

4. Денітрифікація. Іммобілізація азоту

Денітрифікація – це сума процесів, які ведуть до втрат азоту нітратів і нітритів в результаті їх відновлення до N_2 біологічним шляхом.

В залежності від того, які мікроорганізми приймають участь в процесі денітрифікації, розрізняють пряму і непряму денітрифікацію. *Пряма* денітрифікація здійснюється безпосередньо мікроорганізмами, які здатні відновлювати нітрати і використовувати їх в якості акцепторів водню при окисленні ними органічних речовин.

Непряма денітрифікація - це чисто хімічний процес, реакція відновлення, яка проходить при взаємодії нітритів з аміносполуками, які утворюються в результаті життєдіяльності різних мікроорганізмів. Непряма денітрифікація проходить в кислому середовищі і її значення невелике, так як окультурені ґрунти не кислі.

Мікроби-денітрифікатори мають дві ферментні системи денітрифікації: цитохромну (дисиміляційну) і флавопротеїдну (асиміляційну). Наявність цих двох систем забезпечує два шляхи відновлення нітратів: асиміляційний (неспецифічний) і дисиміляційний (специфічний).

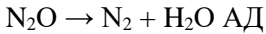
Асиміляційна денітрифікація призводить до утворення аміаку, який поглинається організмом і включається в біосинтетичні процеси. Нітрати тут використовуються як джерело азоту.

Дисиміляційна денітрифікація здійснюється мікроорганізмами для отримання енергії і її кінцевим продуктом є молекулярний азот. Тут нітрати використовуються в якості

окислювача органічних речовин замість молекулярного кисню. Ці енергетичні процеси дістали назву нітратного дихання.



нітрат нітрит оксид азоту II оксид азоту I



5. Біологічна фіксація молекулярного азоту. Вільноживучі і симбіотичні азотфіксатори.

Джерелом азоту для рослин є мінеральний азот ґрунту. Але в ґрунті його є незначна кількість – до 150 кг/га. Якщо врахувати, що світове сільське господарство щорічно виносить з урожаєм 110 млн.т. азоту, то ґрунтового азоту, навіть з урахуванням недоступних для рослин форм недостатньо. Для поповнення запасів азоту в ґрунті його постійно вносять у вигляді добрив (амонійна селітра, гній, торф).

Але виробництво мінеральних добрив є енергомістким і дорогим процесом, а внесені міндобрива створюють екологічну небезпеку.

Основним шляхом поповнення дефіциту азоту в ґрунті є процес азотфіксації. В природі азотфіксація проходить двома шляхами: біологічним і небіологічним. *Небіологічний* – це газові розряди, робота двигунів внутрішнього згоряння – дає 0,5% фіксованого азоту, в той час як загальна продукція біологічної фіксації азоту складає 300-330 млн.т. за рік.

Мікроорганізми фіксують азот ґрунтового і атмосферного повітря. В повітрі знаходиться 78,09% азоту. Стовп повітря над гектаром ґрунту містить до 80 тис.т. азоту. Таких запасів азоту вистачило б рослинам і тваринам на сотні років. Але молекулярний азот є недоступний вищим організмам. Його фіксують тільки прокаріоти.

Молекулярний азот є інертною сполукою. Два атоми в його молекулі утворюють міцний потрійний зв'язок. Для того, щоб розірвати перший зв'язок між атомами азоту, необхідно затратити 523 Дж на 1 грам-молекулу, другий – 263 Дж, третій – 15,5 Дж.

Фіксувати молекулярний азот здатні синьо-зелені водорості, різні аеробні і анаеробні бактерії і деякі

актиноміцети. Азот, який входить до складу біомаси рослин в результаті фіксації його бактеріями, називається біологічним, а самі бактерії, які зв'язують молекулярний азот - азотофіксаторами, або діазотрофами. Доля біологічного азоту в урожаї за різними оцінками складає від 60 до 90%.

Тема 8. Коротко про мікрофлору організму людини

План.

1. Поняття про мікрофлору організму людини.
2. Патогенні мікроорганізми, інфекція.
3. Види і механізм імунітету.

1. Поняття про мікрофлору організму людини.

Симбіоз між організмом людини та мікробами склався еволюційно. Він необхідний для нормального функціонування макроорганізму людини.

Нормальна мікрофлора тіла здорової людини (еумікробіоз) – це сукупність мікробіоценозів усіх її біотопів. Найбільш чисельні мікробіоценози утворились на шкірі, в ротовій і носовій порожнинах, товстому кишечнику. Але внутрішнє середовище макроорганізму (кров, лімфа, тканини) не містить мікробів. Порівняно мало їх у бронхах, легенях, жовчних і сечовивідних шляхах, на слизовій ока.

Кількість і видовий склад мікрофлори залежить від віку, статі, клімату, режиму харчування, індивідуальних санітарно-гігієнічних навичок тощо.

Організм людини населяють понад 500 видів бактерій, біля 50 видів вірусів і понад 20 видів найпростіших. Загальна кількість мікроорганізмів досягає 10^{14} , що в 10 разів більше, ніж всіх клітин макроорганізму.

Нормальна мікрофлора людського тіла поділяється на дві групи: 1) **постійна**, специфічна для даного біотопу (*автохтонна*); 2) **тимчасова**, занесена з інших біотопів хазяїна (*алохтонна*) або з інших біотопів довкілля (заносна).

Важливою особливістю нормальної мікрофлори є її індивідуальна й анатомічна стабільність. При контакті бактерії

можуть передаватись від однієї людини до іншої. Але, як правило, не приживаються. Вивчення індивідуальної автофлори має важливе значення при підборі екіпажів космічних кораблів, підводних човнів, полярних експедицій, які працюють у тісному контакті один із одним і повинні бути сумісними за характером мікрофлори. Обмін мікроорганізмами між індивідуумами відбувається також в яслах, дитячих садках, школах, лікарнях та ін. У ряді випадків такий обмін може бути небезпечним, так як багато видів індивідуальної мікрофлори однієї людини можуть бути умовно-патогенними для іншої.

Плід людини стерильний, поки знаходиться в утробі матері. Під час пологів організм дитини контамінується мікрофлорою пологових шляхів - лактобактеріями, стрептококами, кишковими паличками. Пізніше в організм новонародженого мікроби потрапляють з рук, дихальних шляхів матері та обслуговуючого персоналу, а також із навколишнього середовища. Індивідуальна постійна мікрофлора формується з 10 дня. На слизових оболонках дитини з'являються нитчасті мікроорганізми, які своєю сіткою покривають поверхню. На ній адсорбуються бактерії, які утворюють особливу біоплівку, що складається з муцину та полісахаридів мікробного походження. Величезна кількість мікроорганізмів у плівці розташовується не поодинокі, а у вигляді **мікроколоній**. Товщина біоплівки у різних біотопів неоднакова. Найбільшу товщину вона має на слизовій оболонці товстого кишечника, найменшу - на шкірі та в носовій порожнині.

Мікрофлора шкіри. Кількість мікроорганізмів, які населяють шкіру, досить велика (від 100/см² до 2,5 млн/см²). З поверхні всієї шкіри дорослої людини змивається біля 1,5 млрд. бактерій. Живлення мікробів здійснюється за рахунок виділень сальних і потових залоз, відмерлих клітин епітелію і продуктів їх розпаду.

Мікрофлору шкіри поділяють на власну (постійну) і заносну. Найбільш характерними постійними мікробами шкіри є коринебактерії, пропіонібактерії, стафілококи, мікрококи, сардини, актиноміцети, плісеневі й недосконалі гриби, мікобактерії. У окремих індивідуумів виявляють стрептококи,

дріжджеподібні гриби *Candida*, спори аеробних бактерій та анаеробних клостридій, 5-10 % людей є носіями на шкірі *S. aureus*. Заносні мікроорганізми швидко гинуть під впливом бактерицидних властивостей шкіри або антагонізму автохтонних видів.

У здорових людей мікрофлора шкіри не викликає будь-яких хвороботворних процесів. Навпаки, вона оберігає шкіру від проникнення "чужаків-мікробів". І тільки при імунодефіцитах, порушеннях санітарно-гігієнічного режиму, постійних подразненнях шкіри шкідливими речовинами (лаки, фарби, масла тощо) можуть виникати досить важкі ураження цього органа.

Досліджують кількісний і якісний склад мікроорганізмів у хворих перед операціями, в динаміці лікування антибіотиками й гормональними препаратами. Часто обстежують мікрофлору шкіри рук медичного персоналу лікарень, дитячих закладів, працівників підприємств громадського харчування.

Мікрофлора ротової порожнини. Порожнина рота є унікальною екологічною системою для існування багатьох видів мікроорганізмів. Постійна температура, вологість, оптимальне значення рН, залишки вуглеводневих продуктів створюють сприятливі умови для їх розмноження. У перші години після народження дитини бактерії колонізують слизову оболонку ротової порожнини, навіть починають розмножуватись. У перші дні в слині дитини можна виявити стрептококи, молочнокислі бактерії, актиноміцети. Постійні бактерії з'являються при переході на звичайне харчування. Характер ротової мікрофлори у дорослих людей залежить від віку, режиму харчування та санітарно-гігієнічних навичок догляду за зубами. Останнім часом описано кілька сотень видів мікроорганізмів, які представляють нормальну автохтонну мікрофлору цього біотопу. До її складу входять численні представники бактерій, грибів, найпростіших, вірусів. Найчастіше ротову порожнину населяють різні види стрептококів (особливо *Streptococcus salivarius*, *S. mitis*, *S. sanguis*, *S. mutans*), пептококів, вейлонел, бактероїдів, лактобактерій, лептотриксів, фузобактерій, актиноміцетів і спірохет. Рідше зустрічаються коринебактерії,

вібріони, борелії, мікоплазми. У половини людей виявляють гриби роду *Candida*.

При певних умовах мікроорганізми ротової порожнини можуть викликати різні захворювання - карієс зубів, стоматит, гнійні запалення м'яких тканин. При частому й нераціональному вживанні антибіотиків виникає кандидамікоз (молочниця).

Мікрофлора шлунку й кишок. Разом із водою та їжею у шлунок потрапляє багато мікроорганізмів, але більшість із них гине від дії соляної кислоти. У зв'язку з цим мікрофлора вмісту і слизової оболонки даного органа дуже бідна. Кількість бактерій не перевищує 10^3 в 1 мл. Це, в основному, спорові та лактобактерії, дріжджі, сарцини.

Проникнення в шлунок і далі в кишечник патогенних організмів можливе лише при ослабленні його захисної функції.

Мікрофлора тонкої кишки в різних її ділянках неоднакова. У верхньому відділі, 12-палій кишці виявляють біфідо- та лактобактерії, ентерококи, гриби. Загальна кількість їх не перевищує 10^4 - 10^5 в 1 мл. У нижніх відділах мікрофлора дещо змінюється, стає більш численною, з'являються види, характерні для товстого кишечника.

Найбільш багата і важлива для організму мікрофлора товстої кишки (до 25^{10} в 1 г). Серед постійних представників мікробіоценозу домінують анаероби - біфідобактерії, бактероїди, лактобактерії, вейлонели, клостридії і пептококи. Вони складають 96 % усієї мікрофлори даного біотопу. Досить численні види і тимчасових мікробних популяцій: ентеробактерії, спірили, гриби *Candida*, найпростіші, віруси. Мікрофлора товстого кишечника дуже важлива для людини. Вона підтримує її здоров'я.

Мікрофлора дихальних шляхів. Переважна більшість мікроорганізмів повітря, яке вдихає людина, затримується в порожнині носа й гине. Постійна мікрофлора носа представлена дифтероїдами, стафілококами, нейсеріями, стрептококами, пептококами. У частини людей, особливо медичного персоналу, на слизовій носа постійно знаходять золотисті стафілококи. На слизовій оболонці трахеї та бронхів дуже мало мікробів, а дрібні бронхи, альвеоли і тканина легенів стерильні. При ослабленні

імунного стану, авітамінозах, переохолодженні власна мікрофлора може викликати гострі респіраторні захворювання, ангіну, бронхіт, ларингіт тощо.

Мікрофлора кон'юнктиви. У половини людей бактерії з слизової оболонки очей не висіваються. Це зумовлено бактерицидною дією сліз, вмістом у них лізоциму і секреторного імуноглобуліну А. У решти осіб кон'юнктиву населяють коринебактерії, стафілококи, стрептококи, нейсерії, гемофільні бактерії. При пониженні неспецифічної резистентності організму вони можуть спричинити запальні процеси слизової оболонки очей (кон'юнктивіти, блефарити тощо).

Мікрофлора сечостатевих органів. Паренхіма нирок, сечоводи та сеча у здорових людей вільні від мікробів. У зовнішній частині уретри зустрічаються пептококи, бактероїди, коринебактерії, кишкові палички, мікобактерії смегми.

Значення нормальної мікрофлори. Нормальна мікрофлора людини сформувалась у процесі еволюції в мікробіоценози окремих біотопів і відіграє важливу роль у нормальному функціонуванні організму, формуванні природного імунітету. Майже всі автохтонні мікроорганізми мають сильні антагоністичні властивості проти патогенних бактерій. Окремі види нормальної мікрофлори синтезують і виділяють багато ферментів, гормонів, вітамінів. Численні ентеробактерії, на-самперед *E. coli*, синтезують практично всі вітаміни групи В, вітаміни К, Е, пантотенову і фолієву кислоти, яких так потребує організм людини. Мікрофлора кишечника здатна розкласти складні органічні речовини і тим самим сприяє нормальному травленню.

Порушення нормальних екологічних взаємозв'язків між мікробіоценозами і макроорганізмом, значні зміни у самих біоценозах призводять до розвитку дисбактеріозів. Дисбактеріоз - кількісні та якісні порушення екологічного балансу між мікробними популяціями в складі мікрофлори. Його причини різні - нераціональне тривале вживання антибіотиків, пригнічення імунітету, вплив радіації, хронічні захворювання, перебування людей в екстремальних умовах тощо.

2. Патогенні мікроорганізми. Інфекція

Інфекція - складний біологічний процес, що виникає в результаті проникнення патогенних мікробів в організм і порушення сталості його внутрішнього середовища.

Виникнення інфекції залежить від декількох факторів: ступеня патогенності (вірулентності) мікроба, стану макроорганізму й умов зовнішнього середовища.

Патогенність - це здатність мікроба певного виду при відповідних умовах викликати характерне для нього інфекційне захворювання. Отже, патогенність є видова ознака.

Вірулентність - це ступінь патогенності певного штаму мікроба, тобто індивідуальна ознака.

Місце проникнення патогенних мікробів в організм називається **вхідними воротами інфекції**.

У природних умовах зараження відбувається через травний тракт (аліментарний шлях), коли в їжу або у воду потрапляють патогенні мікроорганізми.

Для виникнення інфекційного процесу необхідне потрапляння в організм мікроба. Виключно важливе значення для виникнення інфекційного процесу має стан організму.

Інфекційний процес проявляється не відразу після проникнення патогенного мікроба в організм, а через деякий термін. Час від впровадження мікробів в організм до появи перших клінічних ознак захворювання називають прихованим, або **інкубаційним** періодом.

Інфекційні хвороби людей і тварин можуть спостерігатися у вигляді одиничних випадків. Коли інфекція швидко поширюється серед людей і охоплює населені пункти значній території, таке поширення інфекції прийнято називати **епідемія**.

Основне джерело і переносник заразного початку - **хворий організм**. Від хворого можуть заражатися люди, тварини. Забруднені патогенними мікробами ґрунт, вода також можуть бути джерелом зараження.

3. Види і механізм імунітету

У процесі еволюції в людини сформувалася спеціальна система захисту організму від чужорідних речовин і мікроорганізмів, що викликають захворювання. Ця система називається *імунною системою*. Вона представлена лімфоїдною тканиною і виконує функції спеціального нагляду, тобто розпізнає чужорідні речовини, генетично далекі макроорганізму. Чужорідні агенти, що потрапляють у наш організм, називаються "антигенами". До них відносяться речовини білкової природи; сполуки білків ліпідів і полісахаридів, мікроби і їхні токсини; віруси і т. д. А несприйнятливність організму до чужорідних речовин (антигенам) називається *імунітетом* (від лат. *immunitas* - звільнення, рятування від чого-небудь).

Імунологія як наука сформувалася лише наприкінці XIX ст. Основоположниками її можна вважати І. І. Мечникова, Л. Пастера і П. Ерліха. Головним завданням імунітету є знищення клітин, що генетично відрізняються від власних. Розрізняють низку стадій фагоцитарного процесу, яких тепер виділяють п'ять:

- наближення фагоцита до мікроба;
- поглинання мікроба;
- утворення фагосоми і злиття з лізосоною;
- внутрішньоклітинна інактивація мікроба;
- ферментативне перетравлення збудника і видалення його решток.

Було встановлено, що поряд з ендокринною, серцево-судинною, травною й іншою системами в організмі тварин і людини існує і самостійна імунна система.

Імунітет буває *природним* (спадковий і набутий) і *штучний*.

Природний імунітет - несприйнятливність до інфекційних захворювань, яка передалась у спадок дитині від матері (природжений) або виникла після перенесення хвороби (набутий).

Нині розроблені методи, що дають змогу створювати штучний імунітет. Активний штучний імунітет виробляється в

результаті введення в організм ослаблених або вбитих збудників інфекції. Це викликає легку форму хвороби, під час якої в організмі утворюються специфічні антитіла і людина стає несприйнятливою протягом тривалого часу до того захворювання, проти якого було зроблено щеплення. Таке щеплення використовують проти поліомієліту, туляремії, коклюшу та інших хвороб. Профілактичне щеплення відіграє важливу роль у боротьбі з інфекційними хворобами.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Люта В. А., Заговора Г. І. Основи мікробіології, вірусології та імунології : навч. посіб. Київ : Здоров'я, 2001. 280 с.
2. Климяк С. І., Ситник І. О. та ін. Практична мікробіологія : навч. посіб. Тернопіль: Укрмедкнига, 2004. 440 с.
3. Векірчик К. М. Мікробіологія з основами вірусології : підруч. Київ : Либідь, 2001. 312 с.
5. Рудацька Г. Б., Демкевич Л. І. Мікробіологія : навч. посіб. Київ : КНТЕУ, 2016 407 с.
6. Люта В. А., Кононов О. В. Мікробіологія з технікою мікробіологічних досліджень, вірусологія та імунологія. Київ : Здоров'я, 2018. 576 с.
7. Груздь С. П. Практикум з мікробіології : навч. посіб. Львів : Львів. нац. ун-т. І. Франка, 2003. 78 с.
8. Данилейченко В. В., Федечко Й. М., Корнійчук О. П. Мікробіологія з основами імунології : навч. підруч. / Вид. 2-ге, перероб. і доп. Київ : Медицина, 2019. 376с.
9. Пирог Т. П. Загальна мікробіологія : підруч. Київ : НУХТ, 2004. 471 с.
10. Гудзь С. П., Гнатуш С. О., Білінська І. С. Мікробіологія : підруч. Львів : Видавничий центр ЛНУ імені Івана Франка, 2009. 360 с.
11. Мікробіологія : практикум / Фурзікова Т. М. та ін. Київ : Фіосоціоцентр, 2006. 210 с.