

## Загальна характеристика дроб'янок, їх класифікація. Ціанобактерії. Будова та форми клітин справжніх бактерій. Способи живлення і розмноження бактерій

До найпростіше побудованих організмів, які можна бачити лише за великого збільшення під мікроскопом, належать **бактерії**. Традиційно їх вивчає ботаніка, однак це до-ядерні організми (прокаріоти), які разом із синьо-зеленими водоростями становлять царство

**Дроб'янки.** Розміри бактерій значною мірою залежать від зовнішніх умов і коливаються в межах від часток мікрметра до кількох мікрметрів. Довжина їх становить 1-10 мкм (рідко більше), ширина - 0,2-1 мкм. Більшість з них одноклітинні, але є й нитчасті багатоклітинні види.

**За формою одноклітинні бактерії** поділяють на:

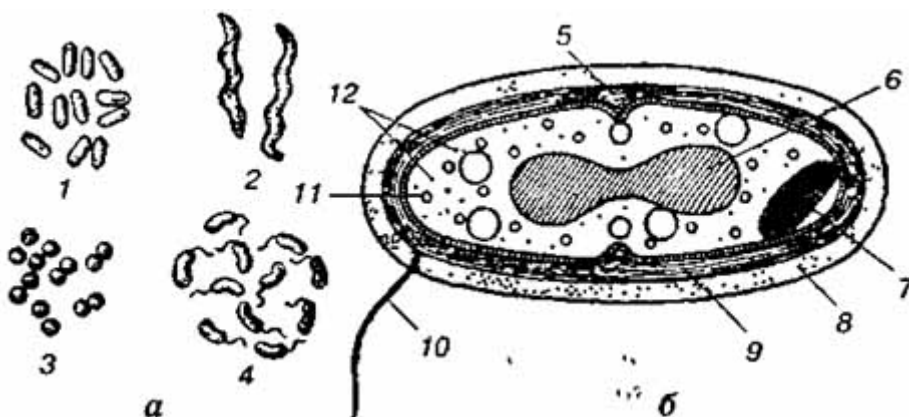
- коки, або кулясті;
- палички (бацили), що мають форму циліндра;
- вібріони, що мають форму коми;
- спірили - спіральне вигнуті палички.

Деякі бактерії мають здатність рухатись за допомогою джгутиків, які бувають більшими за саму клітину і є тоненькими виростами цитоплазми. Кількість джгутиків у різних видів неоднорівна (один, два і більше). Частина бактерій (міксобактерії) рухаються завдяки виділенню слизу ("реактивний" рух). Спірилам властиві поступальні, маятнико-, штопоро- і хвилеподібні рухи.

**Бактеріальна клітина оточена щільною оболонкою**, яка складається з геміцелюлози і пектину, а іноді з білкових речовин. Здебільшого оболонка вкрита слизовою капсулою, яка захищає бактерію від несприятливих умов навколишнього середовища. Під оболонкою знаходиться цитоплазматична мембрана, яка оточує цитоплазму клітини.

Цитоплазма бактерій містить вуглеводи - глікоген і крохмаль, жири, білки, мінеральні речовини, рибосомы, велику кількість мембран і мембранних структур тощо. ДНК бактерій знаходиться в особливій ядерній зоні клітини, яку називають нуклеоїдом. Навколо нуклеоїду не утворюється ядерної мембрани. Коки мають по одному такому "ядру", а бацили - по два і більше. **Всі бактерії не мають ядерця.**

Більшість бактерій безбарвні, деякі з них мають червоне, зелене і пурпурове забарвлення, що пов'язано з наявністю в них специфічного бактеріохлорофілу і бактеріопурпуруну.



Мал. 1. Форми бактерій (а) і схема будови бактеріальної клітини (б):

1 — бацили; 2 — спірили; 3 — коки; 4 — вібріони; 5 — оболонка; 6 — нуклеоїд; 7 — спора; 8 — шар слизу; 9 — цитоплазматична мембрана; 10 — джгутик; 11 — включення; 12 — частинки РНК (більшість), у свою чергу, поділяють на сапрофітів і симбіонтів.

**Бактерії-сапрофіти** живляться органічними рештками відмерлих рослин і тварин, продуктами харчування людини. Вони спричиняють гниття і бродіння (ферментацію) органічних речовин.

**Гниття** - це розщеплення білків, жирів та інших азотовмісних сполук під дією гнильних бактерій. В результаті гниття виділяються азото- і сірковмісні сполуки, які мають неприємний запах. Цей процес у природі відіграє величезну роль, оскільки очищає поверхню Землі від трупів тварин та рослинних решток. Утворювані під час гниття отруйні речовини можуть викликати отруєння або навіть смерть людей і тварин.

У зв'язку з цим заборонено використовувати в їжу або на корм тваринам продукти, в яких є ознаки гниття (специфічний запах, зокрема). Щоб запобігти гниттю продуктів і зеленої маси, їх стерилізують, сушать, маринують, коптять, солять, заморожують, силосують тощо. Ці методи обробки знищують гнильні бактерії та їхні спори і (або) створюють такі умови, за яких бактерії не розмножуються.

**Бродіння, або ферментація**, - це анаеробне розщеплення вуглеводів під дією ферментів бактерій. Цей процес давно був відомий людям. Упродовж тисячоліть люди виготовляли вино, використовуючи спиртове бродіння, квасили плоди і овочі за допомогою молочнокислого бродіння тощо.

**Бактерії-паразити** (одна з форм симбіозу) живуть за рахунок живих організмів. Одні з них - хвороботворні і можуть спричинити захворювання тварин і людини (чуму, тиф, туберкульоз, перитоніт, менінгіт, ангіну, ботулізм, газову гангрену та ін.), інші є причиною хвороб рослин. Ці бактерії утворюють спори, які можуть зберігати здатність до зараження тривалий час (десять років).

Деякі гетеротрофні бактерії в процесі еволюції виробили здатність до симбіозу (мутуалізму) з вищими рослинами. Це, наприклад, азот-фіксуючі бактерії, які живуть на коренях бобових рослин, - бульбочкові бактерії. Вони поглинають азот з ґрунту й повітря і перетворюють його на сполуки, доступні для використання бобовими рослинами, які, в свою чергу, постачають бактеріям вуглеводи та мінеральні солі. За один вегетаційний період бульбочкові бактерії накопичують до 100 кг азоту на 1 га. Це враховують під час складання планів сівозмін.

**Автотрофні бактерії** - це бактерії, що можуть синтезувати органічні речовини з неорганічних у результаті фотосинтезу (фототрофт) або хемосинтезу (хемогрофні). До фототрофних належать пурпурові й зелені сіркобактерії, які синтезують складові частини свого тіла з мінеральних речовин і вуглекислого газу, а енергію використовують світлову.

**Хемотрофні бактерії**, або хемосинтетики, живляться за допомогою хемосинтезу, оскільки органічні речовини синтезуються з неорганічних за рахунок енергії хімічних реакцій. До них належать нітрифікуючі, залізо і сіркобактерії. Явище хемосинтезу у бактерій відкрив у 1887 р. С. М. Виноградський.

Нітрифікуючі бактерії розщеплюють аміак і амонійні солі до нітратів, які засвоюються рослинами. Ці бактерії поширені у водоймах і ґрунтах. Діяльність залізобактерій полягає в перетворенні оксиду заліза (II) ( $Fe^{2+}$ ;  $FeCO_3$ ) на оксид заліза (III) ( $Fe^{3+}$ ;  $Fe(OH)_3$ ). Вони живуть у солоних і прісних водоймах, беручи участь у коло-обігу заліза в природі. Сіркобактерії також живуть у солоних і прісних водоймах. Вони окислюють сірководень та інші сполуки сірки.

**За відношенням до кисню бактерії поділяють на дві групи:** аероби і анаероби. Аероби використовують для дихання вільний кисень атмосфери. Анаероби ростуть і розмножуються в середовищі без кисню. Вони дістають енергію в процесі анаеробного розщеплення органічних речовин, накопичуючи різні проміжні продукти - спирт, молочну кислоту, гліцерин та інші речовини.

**Розмноження бактерій.** Бактерії розмножуються, як правило, безстатевим шляхом - поділом материнської клітини на дві дочірні. Поділ відбувається дуже швидко і йому передують реплікація ДНК. За сприятливих умов деякі бактерії діляться кожні 20-30 хв. Іноді дві бактерії зливаються одна з одною. Під час такого злиття між ними утворюється цитоплазматичний місток, по якому речовини однієї клітини переходять в іншу. Такий процес нагадує статеве розмноження. За несприятливих умов (нестача їжі, погодні умови, отруєння середовища продуктами життєдіяльності бактерій) багато бактерій здатні стискатися, втрачати воду і переходити в стан спокою до настання сприятливих умов. Деякі види бактерій за несприятливих умов формують спори, які характеризуються значною стійкістю. Ці форми бактерій витримують тривале кип'ятіння, висушування, заморожування, дію різних хімічних речовин.

**Поширення бактерій у повітрі, ґрунті, воді, живих організмах.** Як аеробні, так і анаеробні бактерії надзвичайно поширені в природі. Вони трапляються в ґрунті, в живих і мертвих організмах. Число бактерій у навколишньому середовищі змінюється під впливом різних факторів (інсоляція, обробіток ґрунту тощо).

**Кількість бактерій в 1 г ґрунту** може досягати сотень мільйонів і навіть кількох мільярдів і залежить від типу ґрунту. Найменше їх міститься в підзолистих цілинних ґрунтах, найбільше - в окультуреному чорноземі. Бактерії проникають у ґрунт на глибину до 5 метрів. Мікрофлора є одним з факторів, що сприяють утворенню ґрунту.

**У воді різних водойм кількість бактерій буває дещо меншою, ніж у ґрунті.** Так, в 1 мл води міститься від 5 до 100 тис. бактеріальних клітин. Найменше бактерій у воді артезіанських свердловин і джерел, багато - у відкритих водоймах і річках. Найбільше бактерій спостерігається поблизу берега у верхніх шарах води.

Особливо забруднена вода відкритих водойм у тих місцях, куди потрапляють стічні води. Саме тут часто зустрічаються хвороботворні бактерії (збудники дизентерії, черевного тифу, паратифів, холери, бруцельозу тощо).

**У повітрі бактерій міститься ще менше, ніж у воді.** Забруднення повітря бактеріями залежить від багатьох причин (пори року, географічної зони, характеру рослинності, забрудненості пилом тощо). Найбільше бактерій налічують у закритих приміщеннях, де їх може скупчуватись до 300 тис. в 1 мм<sup>3</sup>. У сільській місцевості повітря чистіше, ніж у міській. Практично немає бактерій у соснових і кедрових лісах, оскільки виділювані хвойними деревами фітонциди вбивають або пригнічують ріст і розмноження всіх видів бактерій. На тілі здорових людей і тварин, а також у їхніх органах завжди зустрічається багато видів бактерій. Підраховано, що на шкірі людини може бути величезна кількість бактерій (від  $85 \cdot 10^6$  до  $1212 \cdot 10^6$  екземплярів). Особливо багато бактерій, у тому числі й хвороботворних, на шкірі людини, якщо вона не дотримується правил гігієни. Відкриті частини тіла людини забруднюються різними видами сапрофітних і патогенних (хвороботворних) бактерій значно частіше, ніж закриті.

Багато бактерій виявляється на руках, у ротовій порожнині й кишках людини. З організму однієї дорослої людини щодня з фекаліями виділяється близько 18 млрд. бактерій. Практично вільні від бактерій ті органи здорових людей і тварин, які не мають зв'язку із зовнішнім середовищем (м'язи, головний і спинний мозок, кров тощо).

**Роль бактерій у природі і народному господарстві.** Вище уже зазначалася важлива роль багатьох видів бактерій у процесах гниття та різних типів бродіння, тобто у виконанні санітарної ролі на Землі. Бактерії також мають велике значення у коло-обігу вуглецю, кисню, водню, азоту, фосфору, сірки, кальцію та інших елементів.

**Багато видів бактерій сприяють активній фіксації атмосферного азоту** і переводять його в органічну форму, що підвищує родючість ґрунтів. Особливо велике значення мають бактерії, що розкладають целюлозу й пектинові речовини, які є основним джерелом вуглецю для життєдіяльності мікроорганізмів ґрунту.

Сульфатредуючі бактерії беруть участь в утворенні нафти і сірководню в лікувальних грязях, ґрунтах і морях. Так, насичений сірководнем шар води в Чорному морі є результатом життєдіяльності сульфатредуючих бактерій. Діяльність цих бактерій у ґрунтах призводить до утворення соди і содового засолювання ґрунтів. Сульфатредуючі бактерії переводять поживні речовини в ґрунтах рисових плантацій у форму, доступну для коренів цієї культури. Ці бактерії можуть спричинювати корозію металевих підземних і підводних споруд.

Завдяки життєдіяльності бактерій ґрунт звільняється від багатьох шкідливих продуктів і насичується цінними поживними речовинами. Бактерійні препарати успішно використовують для боротьби з багатьма видами комах-шкідників (кукурудзяним метеликом та ін.).

**Багато видів бактерій використовують у різних галузях промисловості** для добування ацетону, етилового й бутилового спиртів, оцтової кислоти, ферментів, гормонів, вітамінів, антибіотиків, білково-вітамінних препаратів тощо.

Завдяки успіхам генної інженерії нині з'явилась можливість широко використовувати кишкову паличку для вироблення інсуліну, інтерферону, а водневі бактерії - для одержання кормового й харчового білків. Без бактерій неможливі процеси дублення шкіри, сушіння листків тютюну, виготовлення шовку, каучуку, оброблення какао, кави, мочіння конопель, льону та інших лубоволокнистих рослин, квашення капусти, очищення води, вилужування металів тощо.

**Синьо-зелені водорості, ціанобактерії (лат. Cyanobacteria, - синьо-зелений)** - значна група великих грам-негативних еубактерій, здатних до фотосинтезу, який супроводжується виділенням кисню.

**Ціанобактерії** найбільш близькі до найдавніших мікроорганізмів, залишки яких (строматоліти, вік більш 3,5 млрд. років) виявлені на Землі. Єдині, поряд із прохлорофітами, бактерії, здатні до оксигенного фотосинтезу, предки ціанобактерій розглядаються в теорії ендосимбіогенезі як найбільш ймовірні предки хроматофорів червоних водоростей (прохлорофити відповідно до цієї теорії мають загальних предків із хлоропластами інших водоростей і вищих рослин). Порівняно великі розміри кліток і фізіологічна подібність з водоростями було причиною їхнього розгляду раніше в складі водоростей ("синьо-зелені водорості", "ціанеї"). За цей час було альгологічно описано більше 1000 видів у майже 175 родах. Бактеріологічними методами в даний час підтверджено існування не більше 400 штамів. Біохімічна, молекулярно-генетична подібність ціанобактерій з іншими бактеріями в даний час підтверджено солідним корпусом доказів, однак дотепер деякі ботаніки, віддаючи данину традиції, схильні відносити ціанобактерії до водоростей.

**Ціанобактерії** - одноклітинні, нитчаті і колоніальні мікроорганізми. Середній розмір кліток 2 мкм. Відрізняються видатною здатністю адаптувати склад фотосинтетичних пігментів до спектрального складу світла, так що колір варіює від ясно-зеленого до темно-синього. Деякі вищі азотфіксуючі ціанобактерії (Nostocales) здатні до диференціювання - формування спеціалізованих кліток: гетероцист і гормоніїв.

**Морські і прісноводні, ґрунтові види, учасники симбіозів (наприклад, у лишайників).** Складають значну частку океанічного фітопланктону. Здатні до формування

товстих бактеріальних матів. Деякі види токсичні (найбільш вивчений токсин мікроцистин, продуцируємий, наприклад, *Microcystis aeruginosa*) і умовно-патогенні (*Anabaena* sp.). Головні учасники цвітіння води, викликають масові замори риби й отруєння тварин і людей, наприклад, при цвітінні води у водоймищах України. Унікальне екологічне положення обумовлене сполученням двох важко-поєднаних здібностей: до фотосинтетичної продукції кисню і фіксації атмосферного азоту (у 2/3 вивчених видів).

Розподіл бінарний в одній чи декількох площинах, множинний розподіл. Життєвий цикл в одноклітинних форм при оптимальних умовах росту - 6-12 годин.

**Ціанобактерії володіють повноцінним фотосинтетичним апаратом**, характерним для кисневиділяючих фото-синтетиків. Фотосинтетичний електрон-транспортний ланцюг включає фото-систему (ФС) II, b6f-цитохромний комплекс і ФС. Кінцевим акцептором електронів служить ферредоксин, донором електронів - вода, що розщеплюється в системі окислювання води, аналогічної так вищих рослин.

Світлозбираючі комплекси представлені особливими пігментами - фікобілінами, зібраними (як і в червоних водоростей) у фікобілісоми. При відключенні ФСII здатні до використання інших, ніж вода, екзогенних донорів електронів: відновлених з'єднань сірки, органічних сполук у рамках циклічного переносу електронів за участю ФСI. Однак ефективність такого шляху фотосинтезу невелика, і він використовується переважно для переживання несприятливих умов.

Ціанобактерії відрізняються надзвичайно розвинутою системою внутрішньоклітинних втягнень цитоплазматичної мембрани (ЦПМ) -тілакоїдів; висловлені припущення про можливе існування в них системи тілакоїдів, не зв'язаних із ЦПМ, що дотепер вважалося неможливим у прокаріот. Накопичена в результаті фотосинтезу енергія використовується в темних процесах фотосинтезу для виробництва органічних речовин з атмосферного CO<sub>2</sub>. Більшість ціанобактерій - облигатні фототрофи, які, однак здатні до нетривалого існування за рахунок розщеплення накопиченого на світлі глікогену в окисному пентозофосфатному циклі й у процесі гліколізу (достатність одного гліколізу для підтримки життєдіяльності піддається сумніву).

Цикл трикарбонових кислот (ЦТК) не може брати участь в одержанні енергії через відсутність кетоглутаратдегідрогенази. "Розірваність" ЦТК, зокрема, приводить до того, що ціанобактерії відрізняються підвищеним рівнем експорту метаболітів у навколишнє середовище.

Азотфіксація забезпечується ферментом нітрогеназой, яких відрізняється високою чутливістю до молекулярного кисню. Оскільки кисень виділяється при фотосинтезі, в еволюції ціанобактерій реалізовані дві стратегії: просторового і тимчасового роз'єднання цих процесів. В одноклітинних ціанобактерій пік фотосинтетичної активності спостерігається у світле, а пік нітрогеназної активності - у темний час доби.

Процес регулюється генетично на рівні транскрипції; ціанобактерії є єдиними прокаріотами, у яких доведене існування циркадних ритмів (причому тривалість добового циклу може перевищувати тривалість життєвого циклу!). У нитчатих ціанобактерій процес азотфіксації локалізований у спеціалізованих термінально диференційованих клітках – гетероцистах, що відрізняються товстими покривами, що перешкоджають проникненню кисню.

При недоліку зв'язаного азоту в живильному у середовищі колонії нараховується 5-15% гетероцист. ФСII в гетероцистах скорочена. Гетероцисти одержують органічні речовини від фото-синтезуючих членів колонії. Накопичений зв'язаний азот накопичується в гранулах ціанофіцін чи експортується у виді глутамінової кислоти.

**Систематика ціанобактерій розроблена недостатньо.** Виділяють п'ять порядків: порядки Chroococcales і Pleurocapsales поєднують одиночні чи колоніальні порівняно прості форми, у порядки Oscillatoriales, Nostocales, Stigoneomatales входять нитчасті високоорганізовані форми.

Ціанобактерії, за загальноприйнятою версією, з'явилися "творцями" сучасної киснево-кисневої атмосфери на Землі (відповідно до іншої теорії, кисень атмосфери має геологічне походження), що привело до першої глобальної екологічної катастрофи в природній історії і драматичній зміні біосфери. В даний час, будучи значної складової океанічного планктону, ціанобактерії стоять на початку більшої частини харчових ланцюгів і виробляють більшу частину кисню (внесок визнається не всіма дослідниками).

Ціанобактерія *Synechocystis* стала першим фото-синтезуючим організмом, чий геном був цілком розшифрований.

В даний час ціанобактерії служать найважливішими об'єктами досліджень у біології. У Південній Америці і Китаї бактерії пологів *Spirulina* і *Nostoc* через недолік інших видів продовольства використовують у їжу, висушуючи і готуючи борошно. Їм приписують цілющі й оздоровлюючі властивості, що, однак, у даний час не знайшли підтвердження. Розглядається можливе застосування ціанобактерій у створенні замкнутих циклів чи життєзабезпечення як масової кормовою та харчової добавки.