



# Підготовка до НМТ/ЗНО з біології

## Бактерії



**Бактерії** — одна з основних груп живих організмів.

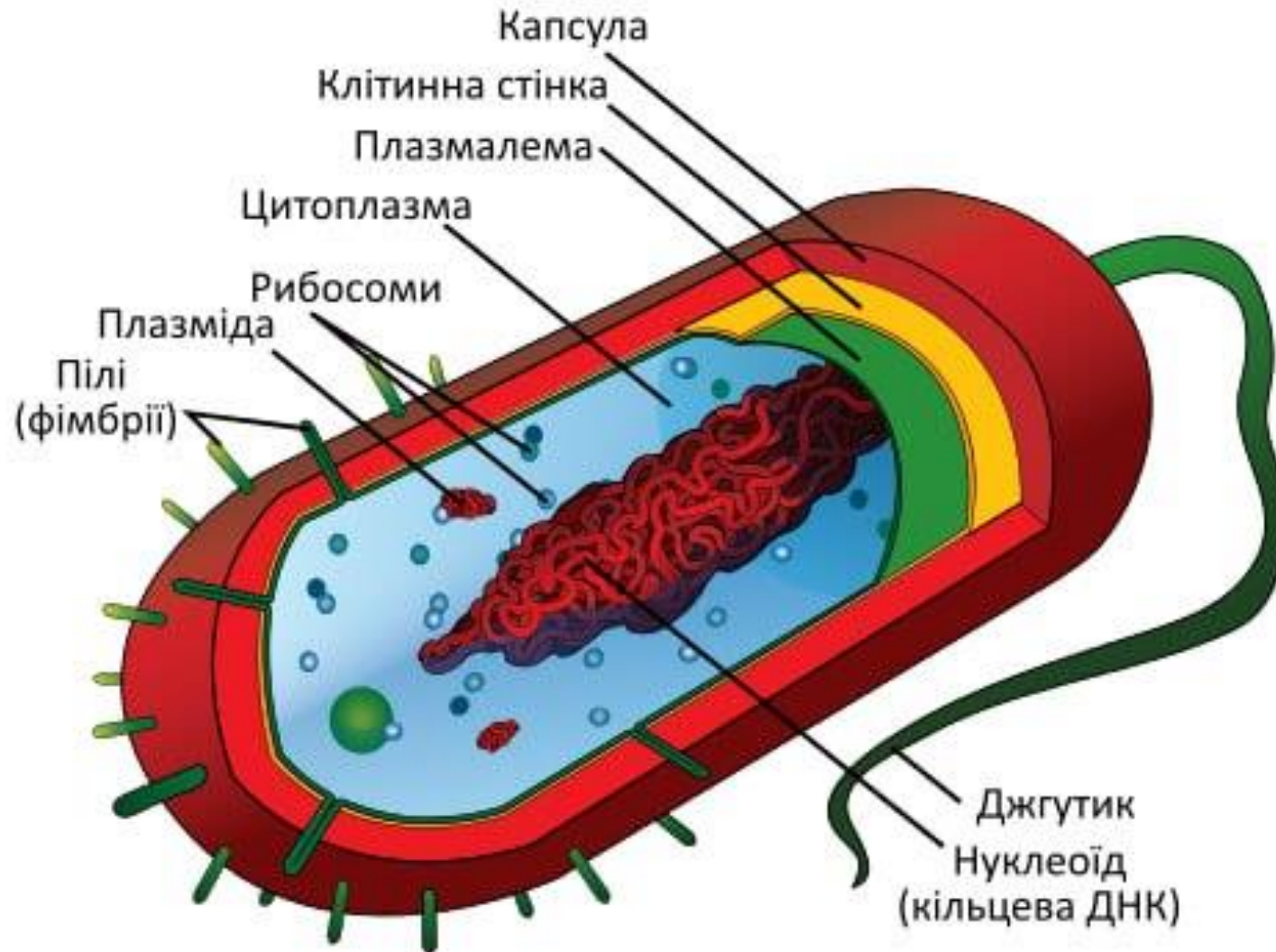
До кінця 1970-х років термін «бактерії» був синонімом прокаріотів, але в 1977 році на підставі даних молекулярної систематики прокаріоти були розділені на царства Археобактерій (Archeobacteria) і Еубактерій (Eubacteria). Згодом, щоб підкреслити відмінності між ними, вони були перекласифіковані на домени Архей і Бактерій відповідно.

**Наука, що вивчає бактерій** — бактеріологія, є підрозділом мікробіології.

**Бактерії** — мікроскопічні, переважно одноклітинні, організми, для яких характерна наявність клітинної стінки, цитоплазми, різних включень, відсутність ядра, мітохондрій, пластид та інших органел.



## Внутрішня структура





## Внутрішня структура

**Внутрішня частина бактерії — цитоплазма** — охоплюється однією або двома мембранами, що відділяють її від зовнішнього середовища.

Внутрішня з цих мембран називається **цитоплазматичною мембраною**.

У випадку двох мембран, друга мембрана називається **зовнішньою**, а простір між мембранами — **периплазмою**.

Гомогенна фракція цитоплазми, що містить набір розчинних РНК, білків, продуктів і субстратів метаболічних реакцій, називається **цитозолем** або **гіалоплазмою**.



## Внутрішня структура

Інша частина цитоплазми представлена різними структурними елементами, що включають **хромосому**, **рибосоми**, **цитоскелет** та інші, характерні для окремих видів, немембранні структури, наприклад, газові везикули.

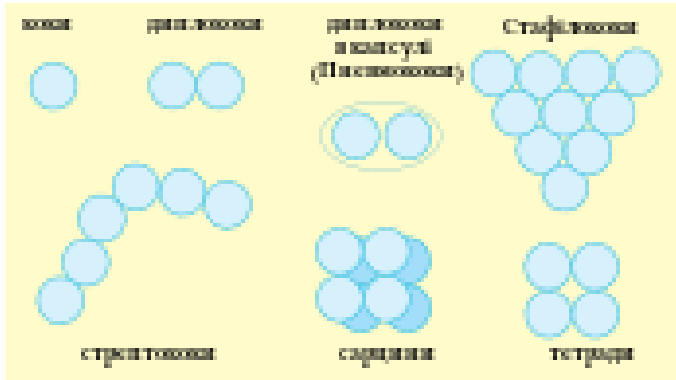
Деякі бактерії формують внутрішньоклітинні гранули для зберігання живильних речовин, як глікоген, поліфосфат, сірка або полігідроксиалканоати, що дають бактеріям можливість зберігати ці речовини для подальшого використання.

Однією з основних відмінностей клітини бактерій від клітини еукаріотів є відсутність ядерної мембрани і, найчастіше, відсутність взагалі мембран всередині цитоплазми.

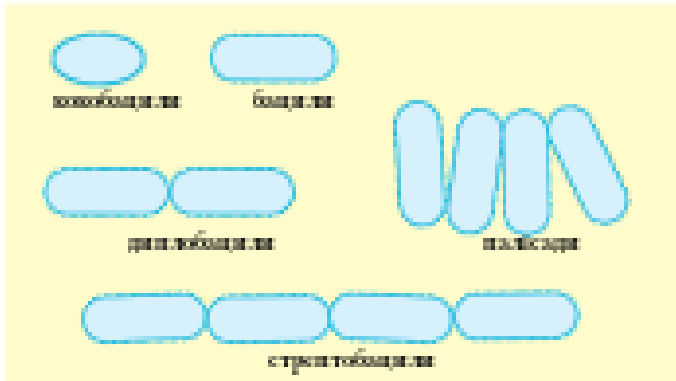
Вся генетична інформація, необхідна для життєдіяльності бактерій, міститься в одній молекулі ДНК, що має форму ковалентно замкнутого кільця (бактеріальна хромосома).

# Морфологія клітини

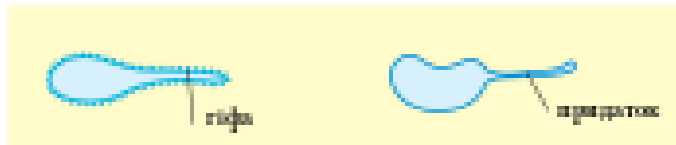
## Кокки



## Бацили



## Брунькування бактерії



## Ізгачі



Типові форми бактеріальних клітин



## Морфологія клітини

Більшість бактерій мають або сферичну форму — так звані **коки** (від грецького слова *kókkos* — зерно або ягода), або паличкоподібну — так звані **бацили** (від латинського слова *bacillus* — паличка).

Деякі паличкоподібні бактерії (вібріони) дещо зігнуті, а інші формують спіральні завитки (спірохети). Вся ця різноманітність форм бактерій визначається структурою їхньої клітинної стінки та цитоскелету. Ці форми важливі для функціонування бактерій, оскільки вони можуть впливати на здатність бактерій отримувати поживні речовини, прикріплюватися до поверхонь, рухатися і рятуватися від хижаків.



## Багатоклітинні структури бактерій

Переважає більшість видів бактерій існує у вигляді окремих клітин, тоді як інші зв'язуються разом у характерні структури, наприклад, *Neisseria* формує диплококи (пари), стрептококи (*Streptococcus*) формують ланцюжки, а стафілококи (*Staphylococcus*) групуються у «виноградні кетяги». Бактерії можуть також формувати нитки, наприклад Actinobacteria. Волокнисті бактерії часто оточує футляр, який містить багато індивідуальних клітин, певні види, як-от представники роду *Nocardia*, формують комплексні, розгалужені нитки, подібні до міцеліїв грибів.

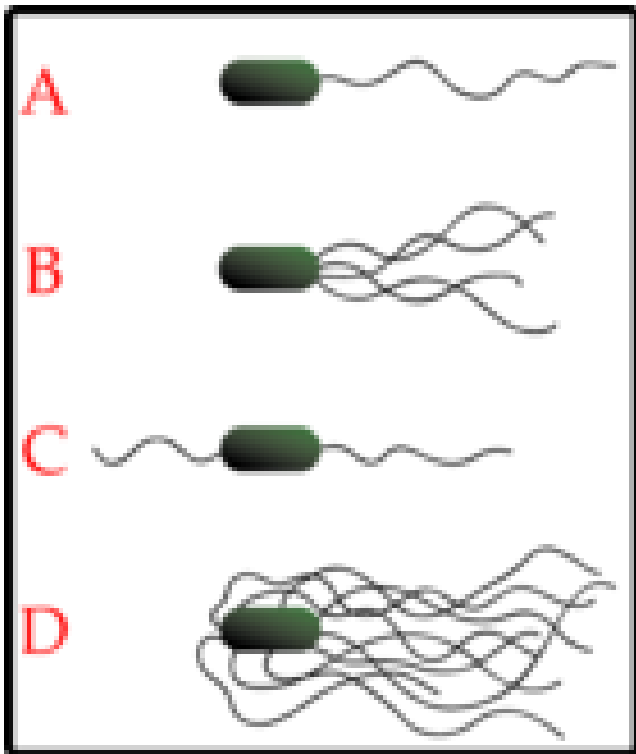
Бактерії часто прикріплюються до поверхонь і формують щільні рогожі, що називаються біофільмами, біоплівками або мікробними плівками. Ці плівки можуть мати від декількох мікрометрів до половини міліметра в товщину і часто містять багато видів бактерій, протист і архей.





## Механізми руху у рідині

Бактерії здатні пересуватися у рідині, використовуючи багато механізмів, як джгутики (flagella), зміни поверхневого натягу, зміни плавучості, полімеризацію актину, що оточує їх, та безліч ще невідомих механізмів.



Типи розташування джгутиків:

A-монотрихи;

B-лофотрихи;

C-амфитрихи;

D-перитрихи.



## Джгутики

Бактеріальні джгутики (*flagella*) — це інші структури, ніж в еукаріотів. Залежно від місця їхнього розташування на клітині, бактерії поділяють на *монотрихи* (з одним джгутиком на кінці), *лофотрихи* (із жмутком джгутиків на кінці) та *перитрихи* (з багатьма джгутиками по всій поверхні). Багато бактерій (наприклад *E.coli*) мають два різних режими роботи джгутиків: рух вперед та «танець» (*tumbling*). «Танець» дозволяє їм внести в свій рух необхідну «випадковість».



## Полімеризація актину

Декілька видів *Listeria* і *Shigella* рухаються усередині клітин-хазяїв, угрупуючи механізм полімеризації актину, який зазвичай використовується для руху самої еукаріотичної клітини або внутрішньоклітинного транспорту, хоча і іншим шляхом. Просуваючи полімеризацію актину на одному полюсі своєї клітини, вони можуть формувати свого роду хвіст, який штовхає їх крізь цитоплазму клітини-хазяїна.



## *Подовжні філаменти*

Деякі (спірохети) мають «*подовжні філаменти*», тобто джгутики, розташовані між двох мембран, та пересуваються за рахунок руху всього тіла.

## *Зміни плавучості*

Деякі планктонні бактерії містять газові везикули, немембранні органели, що містять деяку кількість газу. За рахунок регулювання їхнього відносного об'єму водні бактерії можуть виконувати вертикальні міграції.



## Пересування на поверхнях

Всі механізми пересування на поверхнях називаються разом бактеріальним ковзанням (*bacterial gliding*). Вони включають використання ворсинок та інші, ще невідомі механізми.

### Ворсинки

Деякі бактерії, наприклад *Mycococcus*, *Pseudomonas* та *Neisseria*, рухаються за допомогою ворсинок IV типу (*type four pili* або *TFP*). При цьому методі руху ворсинки протягаються з одного полюса бактерії, зв'язуються з підкладкою та втягуються назад, створюючи значну силу у 80 пН (піконьютонів)



## Ріст та розмноження

На відміну від багатоклітинних організмів, в одноклітинних організмах ріст та розмноження (поділ клітини) тісно пов'язані. Бактерії доростають до певного розміру, після чого проводять процес поділу, форму безстатевого розмноження. За оптимальних умов бактерії можуть рости та ділитися надзвичайно швидко, до одного поділу кожні 9,8 хвилин для певних видів бактерій. При поділі клітини створюються дві генетично ідентичні дочірні клітини. Деякі бактерії, хоча теж розмножуються безстатево, формують складніші відтворюючі структури, які полегшують поширення нових дочірніх клітин. Приклади включають створення плодових тіл місобактеріями, створення повітряних гіф представниками роду *Streptomyces* та брунькування. Брунькування означає формування виступу, який пізніше відокремлюється, формуючи окрему клітину.



## Ріст та розмноження

Ріст бактерій звичайно включає три фази. Коли популяція бактерій потрапляє до багатого на поживні речовини оточення, яке дозволяє зростання, клітинам потрібний певний час, щоб пристосуватися до нового оточення.

Перша фаза росту, *фаза повільного росту*, є фазою такого пристосування. Ця фаза характеризується високою швидкістю біосинтезу ферментів і активного транспорту.

За нею слідує *фаза експоненціального росту*, що характеризується швидким експоненціальним зростанням кількості бактерій. Швидкістю зростання вважається час подвоєння бактерій протягом цієї фази.



## Ріст та розмноження

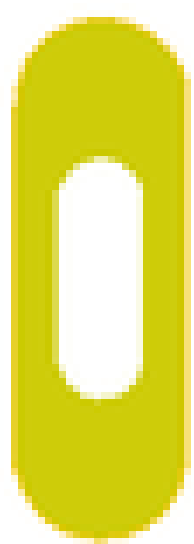
**Остання фаза росту** — стаціонарна фаза, що спричинена виснаженням поживних речовин. Клітини скорочують свою метаболічну діяльність і споживають неістотні клітинні білки.

**Стаціонарна фаза** — це перехід від швидкого зростання до стресового стану, що характеризується збільшенням експресії генів, що беруть участь у ремонті ДНК та антиоксидантному метаболізмі

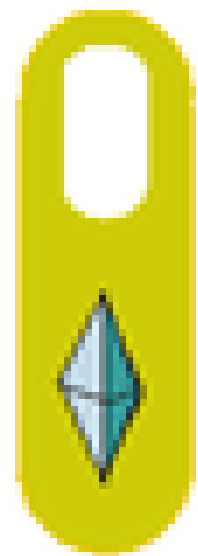




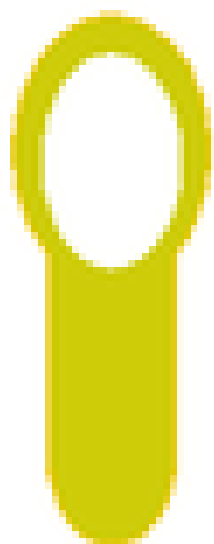
## Спори та неактивні форми бактерій



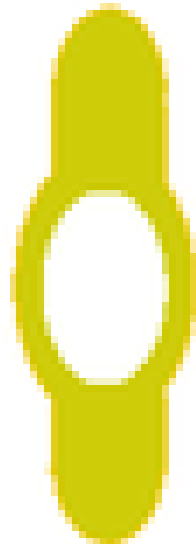
1



2



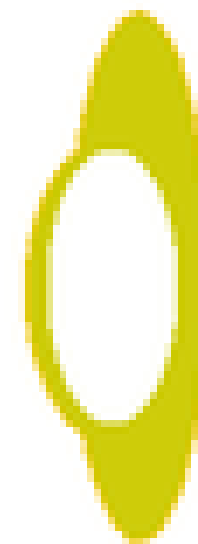
3



4



5



6

Типи морфології ендоспор:  
(1, 4) Центральна ендоспора,  
(2, 3, 5) термінальна ендоспора,  
(6) бічна ендоспора



## Спори та неактивні форми бактерій

Деякі бактерії типу Firmicutes здатні формувати ендоспори, що дозволяють їм витримати екстремальні екологічні і хімічні умови (наприклад, грам-позитивні *Bacillus*, *Anaerobacter*, *Heliobacterium* та *Clostridium*). Майже у всіх випадках формується одна ендоспора, тобто це не є процесом відтворення, хоча *Anaerobacter* може формувати до семи ендоспор на клітину.

Ендоспори мають центральне ядро, складене з цитоплазми, що містить ДНК та рибосоми, оточене кірковим шаром і захищене непроникною і жорсткою оболонкою. Ендоспори не виказують ніякого метаболізму і можуть витримати екстремальний фізико-хімічний тиск, наприклад, високі рівні ультрафіолетового випромінювання, гамма-випромінювання, детергентів, дезінфекційних засобів, нагрівання, тиску і висушування.



## Спори та неактивні форми бактерій

У такому неактивному стані ці організми у деяких випадках можуть залишатися життєздатними протягом мільйонів років та виживати навіть у космічному просторі. Ендоспори, які потрапили всередину організму, здатні перетворитися на вегетативні форми бактерій і спричинити захворювання, як це, зокрема, відбувається при легеневій формі сибірки (антраксу), коли інгаляційно в легеневу систему потрапляють ендоспори *Bacillus anthracis*.



## Спори та неактивні форми бактерій

Метан-окислюючі бактерії у роду *Methylosinus* також формують стійкі до висушування спори, так звані *екзоспори*, названі так тому, що вони формуються брунькуванням на кінці клітини. Екзоспори не містять діамінопіколінової кислоти, характерного компоненту ендоспор. Іншими неактивними, оточеними товстою стінкою структури, які утворюються представниками родів *Azotobacter*, *Vdellovibrio* (*бделоцисти*), і *Mухососсус* (*міксоспори*) є цисти. Вони стійкі до висушування та інших шкідливих умов, але меншою мірою, ніж ендоспори.



## Спори та неактивні форми бактерій

При утворенні цист представниками *Azotobacter* поділ клітини завершується з утворенням товстої багат шарової стінки і оболонки, що оточує клітину. Нитчасті Actinobacteria формують відтворюючі спори двох категорій: *кондіціоспори*, які є ланцюжками спор, сформованих з міцелієподібних ниток, та *спорангієспори*, які формуються в спеціалізованих мішечках, *спорангіях*.



## Генетика

Більшість бактерій мають одну кругову хромосому, розмір якої може бути від лише 580 000 пар нуклеотидів у патогену людини *Mycoplasma genitalium* до 12 200 000 пар основ у бактерії *Sorangium cellulosum*, що живе у ґрунті.

**Спірохети** — відомий виняток, деякі з цих бактерій, наприклад, *Borrelia burgdorferi*, причина хвороби Лайма, містять єдину лінійну хромосому.

Бактерії також можуть містити плазмідни, які є маленькими позахромосомними молекулами ДНК, що інколи містять гени стійкості до антибіотиків або фактори вірулентності.



## Генетика

Інший вид бактеріальної ДНК — інтегровані віруси (бактеріофаги). Існують багато видів бактеріофагів, деякі просто заражають і руйнують бактерію-господаря, коли інші вставляють свою ДНК в бактеріальну хромосому. Бактеріофаг може містити гени, які змінюють фенотип господаря: наприклад, при еволюції *Escherichia coli* O157:H7 і *Clostridium botulinum* гени токсину бактеріофагу перетворили безневинних спадкових бактерій на смертельних патогенних.



## Генетика

Бактерії, як безстатеві організми, успадковують ідентичні копії генів своїх батьків (тобто, вони є клонами). Проте, всі бактерії можуть еволюціонувати шляхом змін їхнього генетичного матеріалу (ДНК) при мутаціях. Частоти мутацій сильно залежать від виду бактерії і навіть від штаму одного виду бактерій. Мутації у бактерій є наслідком як випадкових мутацій — помилок при зчитуванні протягом копіювання та впливу радіації — так і «стресових мутацій», де бактерія навмисно збільшує частоту мутацій у стресових умовах.

Деякі бактерії також можуть переносити генетичний матеріал між клітинами.





## Генетика

Є три основні шляхи, як це може відбуватися.

По-перше, бактерії можуть прийняти екзогенну ДНК із свого оточення у процесі, що називається трансформацією.

Частіше переносяться не хромосомні гени, а плазміди. Гени можуть також бути перенесені за допомогою процесу трансдукції, коли бактеріофаг, вбудовуючись у бактерію привносить чужорідну ДНК до хромосоми.



## Генетика

Третій метод передачі гена — бактеріальна кон'югація, коли ДНК переноситься прямим контактом між клітинами, для чого можуть використовуватися деякі типи ворсинок. Загалом всі ці шляхи переносу генетичного матеріалу називаються горизонтальним переносом генів, і часто відбуваються за природних умов. Горизонтальний перенос генів грає у бактерій роль, дещо подібну до статевого розмноження у еукаріотів. Цей процес особливо важливий у придбанні бактеріями Резистентність (стійкість) до антибіотиків, оскільки він дозволяє швидку передачу генів резистентності між бактеріальними клітинами.



# Метаболізм



Нитки фотосинтезуючих ціанобактерій



## Метаболізм

На відміну від еукаріотів, бактерії проявляють надзвичайно широку різноманітність типів метаболізму. Метаболізм бактерій розрізняють за видом енергії, донора і акцептора електрона та джерела вуглецю, які використовуються для росту.



## Конструктивний метаболізм

За винятком деяких специфічних моментів, біохімічні шляхи, за якими здійснюється синтез білків, жирів, вуглеводів і нуклеїнових кислот у бактерій, схожі з такими ж шляхами в еукаріотів, проте за кількістю можливих шляхів і, відповідно, за ступенем залежності від надходження органічних речовин, бактерії значно переважають еукаріотів.

Частина з них може синтезувати всі необхідні їм органічні молекули з неорганічних речовин (автотрофи), інші ж вимагають готових органічних сполук, які вони здатні лише трансформувати (гетеротрофи).

Найбільшим ступенем гетеротрофності вирізняються внутрішньоклітинні паразити, якщо при цьому вони здатні існувати на багатих штучних середовищах, їх називають факультативними.



## Конструктивний метаболізм

Велика частина бактерій належить до сапротрофів, які незалежні від інших організмів, але використовують синтезовані ними органічні речовини.

Існує також ряд бактерій, що вимагають наявності в середовищі невеликого числа певних органічних речовин (деяких амінокислот, вітамінів), які вони не можуть синтезувати самотійно (ауксотрофи).

Деякі з них вирізняються високою спеціалізацією (*Bacillus fastidiosus* може використовувати тільки сечову кислоту), інші як єдине джерело вуглецю і енергії можуть використовувати сотні різних сполук (*Pseudomonas*).



## Конструктивний метаболізм

Повними автотрофами з точки зору вуглецевого метаболізму можуть бути деякі фотосинтезуючі бактерії, наприклад, деякі ціанобактерії і пурпурні бактерії, які отримують вуглець з атмосферної вуглекислоти.

На додаток до фіксування вуглекислоти при фотосинтезі, деякі бактерії також фіксують азот із атмосфери (фіксація азоту), використовуючи фермент нітрогеназу. Ця екологічно важлива риса властива бактеріям багатьох типів.



## Енергетичний метаболізм

Енергетичний метаболізм бактерій засновується на фототрофії, використанні світла через фотосинтез, або на хемотрофії, використанні хімічних речовин для отримання енергії. Хемотрофи у свою чергу діляться на літотрофів, які використовують неорганічні донори електронів для дихання, і органотрофів, які використовують органічні сполуки як донорів електронів. Щоб використовувати хімічні сполуки як джерело енергії, електрони беруться з відновлювальних речовин і переміщуються до акцепторів електронів у процесі окислювально-відновлювальної реакції. Ця реакція вивільнює енергію, яка може використовуватися для проведення метаболічних реакцій





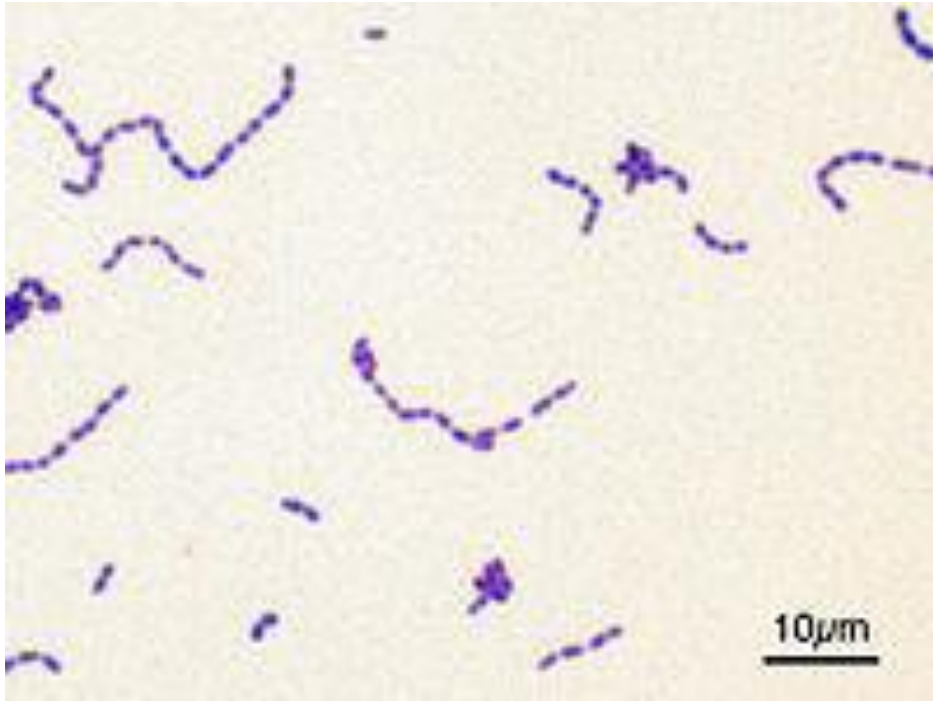
## Походження

Предки сучасних бактерій були одноклітинними мікроорганізмами, які були одними з перших форм життя, що розвинулися на Землі близько 4 млрд років тому. Протягом близько 3 млрд років всі організми були мікроскопічними і бактерії та археї були домінуючими формами життя. Хоча й існують бактеріальні скам'янілості, наприклад, строматоліти,

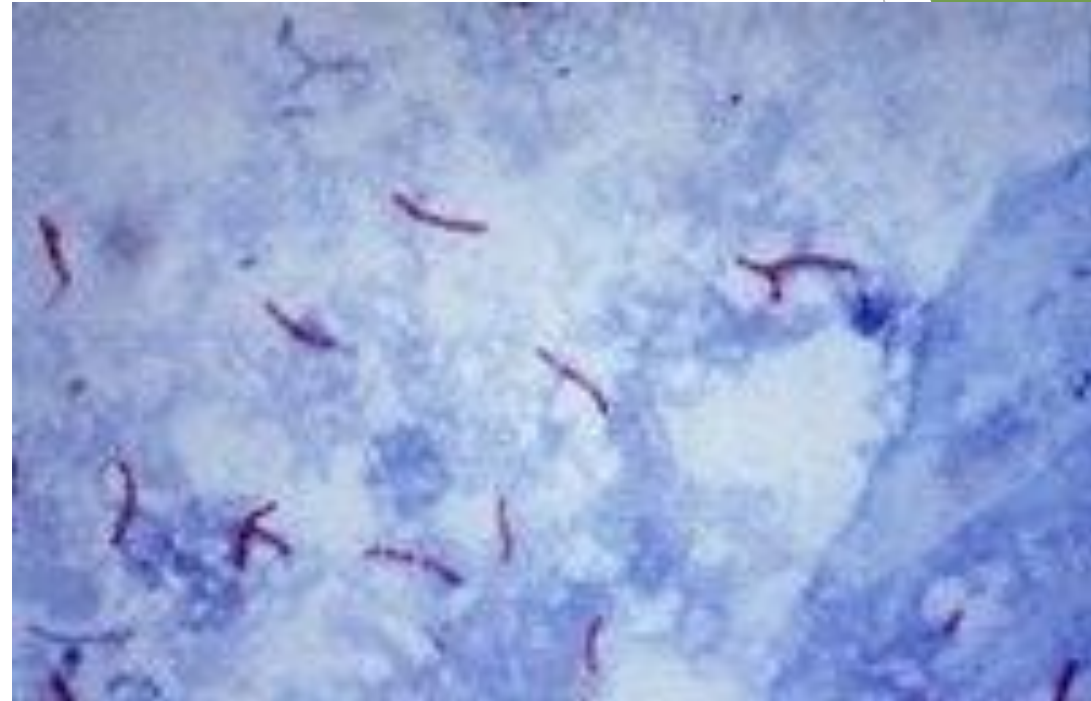
Бактерії також узяли участь у другому великому еволюційному розколі між археями та еукаріотами. Еукаріоти з'явилися, коли стародавні бактерії вступили в ендосимбіотичні асоціації з предками еукаріотів. Цей процес включав захоплення стародавніх альфа-протеобактерій, формуючи мітохондрій, і стародавніх ціанобактерій, формуючи хлоропласти



## Класифікація



*Streptococcus mutans* при  
фарбуванні за Грамом



*Mycobacterium tuberculosis*  
при фарбуванні  
за Зіль-Нельсеном



## Класифікація

Історично бактерії поділяли за формою на кулясті бактерії (коки, диплококи, сарцини, стрептококи), нитчасті, звивисті (спірили — форми зі спіральними завитками; вібріони, спірохети) та паличкоподібні. Останні об'єднували бактерії, що не утворюють ендоспори (власне бактерії), та спороутворюючі бактерії (бацили). Але тому, що бактерії дуже дрібні та мають відносно схожі форми, класифікація, заснована на формі, не була успішною. Перша формальна класифікація з'явилася після розробки Гансом Крістіаном Грамом методики фарбування за Грамом, що розділяє бактерії за структурними характеристиками клітинної стінки.



Ця схема включає:

- *Gracilicutes* — Грам-негативні бактерії з двома клітинними мембранами;
- *Firmicutes* — Грам-позитивні бактерії з товстою стінкою збудованою з пептидогліканів;
- *Mollicutes* — Грам-негативні бактерії без клітинної стінки чи другої мембрани;
- *Mendosicutes* — Нетипово фарбовані бактерії, тепер відомо, що вони належать до архей.



## Ідентифікація

Для початкової ідентифікації бактерій все, що широко використовується — фарбування за Грамом, яке одразу поділяє бактерії на дві великі групи та відрізняє їх від еукаріотів. Деякі організми найкраще ідентифікуються за допомогою інших методів фарбування, наприклад, кислотостійкі бактерії (*Mycobacteria*, *Nocardia*) найкраще ідентифікуються за допомогою фарбування за Зіль-Нельсеном або подібних методик. Інші організми може бути потрібно ідентифікувати за допомогою вирощування їх у спеціальному середовищі, або іншими, наприклад, серологічними методами.



## Взаємодія з іншими організмами

Незважаючи на їхню простоту, бактерії можуть формувати складні асоціації з іншими організмами. Ці симбіотичні асоціації можуть бути поділені на паразитизм, мутуалізм і коменсалізм. Завдяки їхньому дрібному розміру, бактерії-коменсали усюди суцї і ростуть на тваринах і рослинах, як і на будь-якій іншій поверхні



## Мутуалізм

Певні бактерії формують тісні просторові асоціації, істотні для свого виживання.

У ґрунті мікроорганізми ризосфери (зона, яка включає поверхню коренів і ґрунт, що торкається цього коріння) проводять фіксацію азоту, перетворюючи газоподібний азот на азотні сполуки. Таким чином, бактерії забезпечують рослини зручною для поглинання формою азоту, яку рослини не можуть виробляти самотійно, отримуючи від рослин необхідні для життєдіяльності бактерій органічні сполуки. Інші бактерії знаходяться як симбіонти в тілі людини та інших тварин. Наприклад, в здоровій людині постійно присутні понад 1 тис. видів бактерій



## Мутуалізм

Якщо бактерії формують паразитичну асоціацію з іншими організмами, то їх вони класифікують як патогени (збудники) або хвороботворні бактерії. Вони спричинюють такі інфекційні захворювання як: правець, черевний тиф, дифтерія, сифіліс, холера, лептоспіроз, проказа, чума, туберкульоз, тощо.

Бактеріальні інфекції часто можна лікувати антибіотиками, які називають бактерицидними, якщо вони вбивають бактерій, або бактериостатичними, якщо вони тільки запобігають росту бактерій. Існує багато типів антибіотиків, і кожен клас інгібує процес, відмінний у патогені порівняно з хазяїном





## Економічне та екологічне значення

Бактерії, зокрема *Lactobacillus* в комбінації з дріжджами і пліснявою, протягом тисяч років використовують для виробництва продуктів бродіння, наприклад сиру, солених овочів, соєвого соусу, оцту, вина і кефіру.

Здатність бактерій руйнувати різноманітні органічні сполуки використовують у переробці відходів і біоремедіації. Бактерії, здатні до травлення вуглеводнів, використовують для збирання розливої нафти

Через їхню здатність швидко рости і відносну легкість, з якою ними можна маніпулювати, бактерії широко використовуються у молекулярній біології, генетиці та біохімії.



## Бактерії в повсякденному житті

За даними південнокорейського Бюро захисту прав споживачів, кількість бактерій на ручках (без антибактеріального покриття) візків великих магазинів сягає 1100 колоній на 10 см<sup>2</sup>. Друге місце займають комп'ютерні «мишки» в інтернет-кафе (690 колоній на ту ж площу). Ручки кабінки громадських вбиралень містять лише 340 колоній шкідливих мікроорганізмів.

Для того, щоб уберегтися від всіх видів мікроорганізмів, які були виявлені на предметах громадського користування в ході дослідження, достатньо регулярно мити руки з милом.

# ХПІ підготовка

Онлайн сервіс НТУ "ХПІ" для вибору спеціальності, тренування до тестів та успішного вступу в університети.

<http://training.kpi.kharkov.ua/>



Національний технічний університет  
«Харківський політехнічний інститут»