

Національна академія педагогічних наук України
Львівський науково-практичний центр професійно-технічної освіти

Робак Володимир Євгенович

Б І О Л О Г І Я

для ПТНЗ кулінарного профілю

навчально-методичний посібник

Львів • 2012

УДК
ББК

Рекомендовано до друку рішенням вченої ради Львівського науково-практичного центру професійно-технічної освіти НАПН України, протокол № 10 від 21 листопада 2012 р.

Рецензенти:

Микитенко Н. О. – доктор педагогічних наук, доцент Львівського національного університету ім. І. Франка.

Руденко Л. А. – завідувач відділу практичної психології Львівського науково-практичного центру ПТО НАПН України, кандидат педагогічних наук, старший науковий співробітник

Робак В.Є.

Біологія (для ПТНЗ кулінарного профілю): навчально-методичний посібник / Володимир Євгенович Робак. – Київ : Педагогічна думка , 2012. — 207 с.

Навчально-методичний посібник «Біологія» призначений для учнів професійно-технічних навчальних закладів кулінарного профілю. Основний зміст посібника відображає матеріал 10 – 11 класів загальноосвітньої школи (на рівні стандарту). Окрім цього, у посібнику поглиблено і професійно спрямовано розглянуто питання, які стосуються майбутньої професійної діяльності кваліфікованого робітника кулінарного профілю.

ISBN

ББК

Зміст

Вступ	4
-------------	---

Частина I.

Розділ I. Молекулярний рівень організації життя	
Тема 1. Неорганічні речовини	13
Тема 2. Органічні речовини, їх будова і властивості.....	17
Розвивальний блок. Ферменти. Особливості енергетичного обміну у людини. Організація повноцінного харчування	28
Лабораторно-практичні роботи до розділу I	32

Розділ II. Клітинний рівень організації життя

Тема 1. Загальний план будови клітин. Поверхневий апарат. Ядро.....	34
Тема 2. Цитоплазма та її компоненти.....	50
Тема 3. Клітина як цілісна система.....	57
Практичні роботи до розділу II.....	67

Розділ III. Організмний рівень організації життя

Тема 1. Неклітинні форми життя.....	72
Тема 2. Одноклітинні організми.....	81
Тема 3. Багатоклітинні організми.....	84

Частина II.

Розділ I. Розмноження та індивідуальний розвиток організмів. Основи генетики

Тема 1. Розмноження організмів.....	101
Тема 2. Закономірності спадковості.....	110
Тема 3. Закономірності мінливості.....	119
Тема 4. Генотип як цілісна система.....	129
Тема 5. Індивідуальний розвиток організмів.....	148

Розділ II. Надорганізмні рівні організації життя.

Тема 1. Популяція. Екосистема.....	155
Тема 2. Біосфера.....	169
Практичні роботи до розділу II.....	176

Розділ III. Історичний розвиток органічного світу.

Тема 1. Основи еволюційного вчення.....	184
Тема 2. Історичний розвиток і різноманітність органічного світу.....	194

Вступ

Біологія (від грец. біос – життя, логос – наука, вчення) – наука про життя у всіх його проявах і різноманітності. Вивчає будову, функції, походження, розвиток, поширення живих організмів, їх взаємодію між собою та з неживою природою, поведінку. Термін вперше був запропонований німецьким ботаніком Л. Х. Тревіранусом, але визначення біології як самостійної науки було дано Ж. Б. Ламарком.

Перші відомості про живу природу люди почали нагромаджувати ще в доісторичні часи. Це допомогло людині з часом створити культурні форми різних рослин і одомашнити перших тварин. Пам'ятки стародавніх культур (ассірійської, вавилонської, єгипетської, грецької) свідчать про те, що ще задовго до початку нашої ери було нагромаджено багато інформації біологічного значення. Перші спроби систематизації і узагальнення знань про живу природу зробили античні філософи та лікарі (Гіппократ, Арістотель, Теофраст, Гален). Їхні праці, розвинуті і доповнені в епоху Відродження, поклали початок ботаніці і зоології, а також анатомії і фізіології людини (Везалій та ін.). У XVII – XVIII ст. в біології набувають поширення експериментальні дослідження. Зокрема У.Гарвей відкрив систему кровообігу.

З винайденням мікроскопа можливості пізнання живої природи значно зросли. Було відкрито мікроскопічні біологічні об'єкти, клітину та деякі її органели. Так, Р.Гук (1665) спостерігав клітини корку, А.Левенгук (1674 – 1677) – бактерії, найпростіших і сперматозоїди людини, К.Бер (1826) – яйцеклітину ссавців, Р.Броун (1828) відкрив клітинне ядро. Одним із головних досягнень біології XVIII ст. було створення К.Ліннеєм системи класифікації рослин і тварин (1735).

У 1839 р. Т.Шванн, узагальнюючи мікроскопічні дослідження попередників, свої власні, а також М.Шлейдена, сформулював клітинну теорію. Її положення стали вирішальним доказом єдності будови всіх живих організмів, спільності їх походження, підготувала підґрунтя для майбутньої

теорії еволюції. На основі клітинної теорії Р.Вірхов (1858) створив вчення про клітинну патологію, яке відіграло велику роль у медицині.

Револьюційним проривом у розвитку біології стало вчення Ч.Дарвіна (1859) про еволюцію та її рушійні сили. Згодом, завдяки роботам Г.Менделя, були з'ясовані головні закономірності успадкування ознак живих організмів, що поклало початок генетичним дослідженням.

Подальше вдосконалення мікроскопічної техніки стимулювало дослідження в таких галузях як мікробіологія та ембріологія. У другій половині ХІХ ст. Л.Пастером, І.Мечніковим і Р.Кохом були вивчені деякі інфекційні та паразитарні захворювання і розроблені засоби боротьби з ними (сироватки і вакцини). Наш видатний співвітчизник І.Мечніков розробив основи вчення про клітинний імунітет (фагоцитоз), доповненого згодом теорією П.Ерліха про гуморальний імунітет (захисна функція сироваткових білків крові).

Поступово нагромаджувались відомості про тонку структуру клітини, будову окремих її органел, з'ясовані закономірності клітинного поділу, механізм запліднення й дозрівання статевих клітин, відкриті хромосоми. Все це поклало початок нової біологічної дисципліни – цитології. Посилений розвиток ця наука отримала у середині ХХ ст. у зв'язку із застосуванням нових приладів та методик дослідження: електронного мікроскопа, рентгеноструктурного аналізу, ультрацентрифугування, мічених атомів.

Сучасний етап розвитку біології характеризується тим, що об'єктами досліджень стають віруси, фаги, молекули нуклеїнових кислот і навіть окремі гени, молекули білків чи гормонів (нанотехнології).

Видатні вчені-біологи України

Гамалія Микола Федорович (1859 – 1949 рр.). Народився в Одесі. Видатний мікробіолог, імунолог, епідеміолог, засновник вчення про дезінфекцію. Відкрив бактеріофаг. В 1899 р. заснував в Одесі Інститут бактеріології і фізіології. Створив вакцини проти віспи та холери. Розробник

санітарно-профілактичних заходів боротьби з чумою, тифом, холерою та іншими гострими інфекційними захворюваннями.

Богомолець Олександр Олександрович (1881 – 1946 рр.). Народився в Києві. Видатний патофізіолог, талановитий організатор науки. У 1931 р. обраний президентом АН УРСР. Створив та очолював Інститут експериментальної біології і патології та Інститут клінічної фізіології АН УРСР. Автор численних наукових праць з проблем патофізіології, ендокринології, онкології, геронтології, переливання крові, підручників з патологічної фізіології. Його ім'я носить Інститут фізіології НАН України.

Мечніков Ілля Ілліч (1845 – 1916 рр.). Народився в с.Іванівці Харківської губернії. Видатний український та французький мікробіолог та імунолог. Професор Одеського університету та Інституту Пастера в Парижі. Відкрив явище фагоцитозу, за що був удостоєний Нобелівської премії (1908 р.).

Заболотний Данило Кирилович (1866 – 1929 рр.). Народився в с.Чоботарка на Вінничині. Видатний мікробіолог та епідеміолог. Працював ректором Одеського медичного інституту, директором Інституту мікробіології та епідеміології АН УРСР. Обирався президентом АН УРСР. Світове визнання отримали його праці з дослідження епідеміології чуми.

Шмальгаузен Іван Іванович (1884 – 1963 рр.). Народився в Києві. Видатний зоолог. Очолював Інститут зоології АН України, який зараз носить його ім'я. Його наукові праці присвячені проблемам еволюційної морфології, експериментальної зоології, закономірностям росту.

Липський Володимир Іполитович (1863 – 1937 рр.). Родом з Волині. Видатний вчений-ботанік. Дійсний член Української Академії наук, президент Всеукраїнської Академії наук. Наукові праці в галузі систематики рослин і флористики. Описав нові роди і види рослин України, Середньої Азії, Кавказу.

Палладін Олександр Володимирович (1885 – 1972 рр.). Народився в Москві. Видатний біохімік, один із засновників української біохімічної школи. Дійсний член Української Академії наук, з 1946 по 1962 р. – президент АН УРСР. Автор першого в СРСР підручника з біологічної хімії.

Холодний Микола Григорович (1882 – 1953 рр.). Народився в Тамбові. Видатний український ботанік, фізіолог і мікробіолог. Досліджував питання фізіології та анатомії рослин, фізіології і морфології залізобактерій, ґрунтознавства. Розробник вчення про гормони рослин (фітогормони). Дійсний член АН УРСР. Його ім'я присвоєно Інституту ботаніки НАНУ.

Гродзінський Андрій Михайлович (1926 – 1988 рр.). Народився у Білій Церкві на Київщині. Академік АН УРСР. Працював заступником директора Інституту ботаніки АН України, а згодом — директором Центрального республіканського ботанічного саду АН України. Досліджував проблеми алелопатії та інтродукції рослин.

Костюк Платон Григорович (1924 р.н.). Народився у Києві. Видатний український фізіолог. Праці з фізіології нервової системи, нейрофізіології. Створив українську школу дослідників у галузі нейрофізіології та біофізики. Академік НАН і АМН України.

Симиренко Левко Платонович (1855 – 1920 рр.). Народився у с.Млієві (Черкаська обл.). Видатний помолог і плодовод. Створив маточний колекційний сад і помологічний розсадник, які стали одними з найбагатших у Європі. Вивів багато сортів сільськогосподарських плодівих і ягідних культур (серед них сорт яблуні Ренет С).

Методи біологічних досліджень

Основними методами біології є *спостереження* (дозволяє описати біологічні явища), *порівняння* (дає змогу виявити загальні закономірності в будові й життєдіяльності різних організмів), *експеримент-дослід* (допомагає вивчати властивості біологічних об'єктів), *моделювання* (з його допомогою імітується багато процесів, недоступних для безпосереднього спостереження або експериментального відтворення), *історичний метод* (допомагає на основі даних про сучасний органічний світ та його минуле пізнати процеси змін та розвитку живої природи).

Поряд з цими класичними методами, сучасна біологія широко використовує методи інших природничих наук фізики, хімії, математики). Це сприяло появі таких наук як біохімія, біофізика, біометрія, молекулярна біологія.

Основні властивості живого. Сучасне визначення поняття «життя»

Будь-який живий організм складається з тих самих хімічних елементів, що й оточуюча його нежива природа. Незважаючи на це, біологічні об'єкти володіють цілим набором ознак, які дозволяють безпомилково визначити їх саме як живі. Що ж це за ознаки? Першою з них є обмін речовин та енергії.

Цей обмін відбувається постійно як всередині живої клітини, так і між нею та оточуючим її середовищем. Всередині клітини одночасно відбуваються взаємно протилежні процеси – синтезу і розпаду специфічних хімічних сполук, накопичення і використання енергії. Тому живі організми – це завжди відкриті системи, які постійно обмінюються речовинами, або поглинають енергію з оточуючого середовища. Обмін речовин припиняється тільки з настанням смерті.

Не зважаючи на те, що всередині живих організмів постійно відбувається процес обміну речовин, вони здатні до підтримання сталості найважливіших параметрів свого внутрішнього середовища (явище гомеостазу). Явище гомеостазу тісно пов'язане зі ще однією властивістю живого – здатністю до регуляції процесів всередині окремої клітини, або й організму в цілому.

Наступною ознакою живого організму є його складна внутрішня структура і характерний хімічний склад. Будь-який біологічний об'єкт, навіть якщо він складається з однієї єдиної клітини, містить цілий набір органел, кожна з яких виконує певні функції. Саме узгоджена робота окремих органел клітини робить можливим її існування, а значить і процес життя. Простір всередині клітини поділений на окремі відсіки (компарменти). За співвідношенням окремих хімічних елементів та наявністю певних сполук живі організми різко відрізняються від оточуючого їх середовища (грунту, повітря чи води) і обов'язково містять білки та нуклеїнові кислоти.

Живі об'єкти здатні до розмноження і відтворення подібних до себе. Однак нові організми, які утворюються в процесі розмноження, не обов'язково є точною копією своїх батьків. Живі об'єкти здатні до прогресивних змін в процесі свого розвитку. Це явище обумовлене зміною певних параметрів оточуючого середовища і намаганням живого якнайкраще пристосуватися до цих змін. Завдяки наявності у них біологічної пам'яті, ці новоутворені ознаки можуть передаватися нащадкам.

Дуже важливою здатністю живих систем є їх здатність реагувати на зовнішні подразники. Насамкінець всі живі об'єкти ростуть і розвиваються.

Важливо, що у живому об'єкті всі названі процеси повинні відбуватися одночасно. Тільки за цієї умови об'єкт можна вважати живим. Наприклад, ріст кристалу є процесом відтворення подібного об'єкту, але це не є життя. Зважаючи на всі вищенаведені суттєві ознаки живого стає зрозумілим, що життя – це завжди процес, воно не може існувати само по собі, а притаманне певним об'єктам.

На сьогодні існує багато визначень поняття «життя». Переважно вони акцентують на окремих властивостях живих об'єктів. Наприклад:

Життя – це процес розмноження та еволюції, що відбувається завдяки здатності запам'ятовувати набуті корисні ознаки.

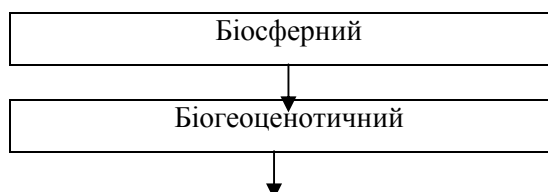
Життя – це особливий вид матеріальної взаємодії генетичних об'єктів, які здійснюють синтез (відтворення) подібних на себе генетичних об'єктів.

Життя – це форма руху матерії, в процесі якого відбувається розвиток живих істот, що включає: обмін речовин (внутрішній та із зовнішнім середовищем); комунікацію (обмін сигналами); відтворення.

Якщо спробувати узагальнити всі ці визначення, то можна сказати, що життя – це сукупність явищ, що відбуваються в живих організмах; це особлива форма існування та руху матерії.

Рівні організації живої матерії.

Всі організми мають подібні риси будови та життєдіяльності: у них єдиний хімічний склад, будова молекул, генетичний код, однотипна будова тіла на однакових рівнях організації. Ця єдність живих організмів дає можливість побудувати загальну систему рівнів організації живого від молекулярного до біосферного.



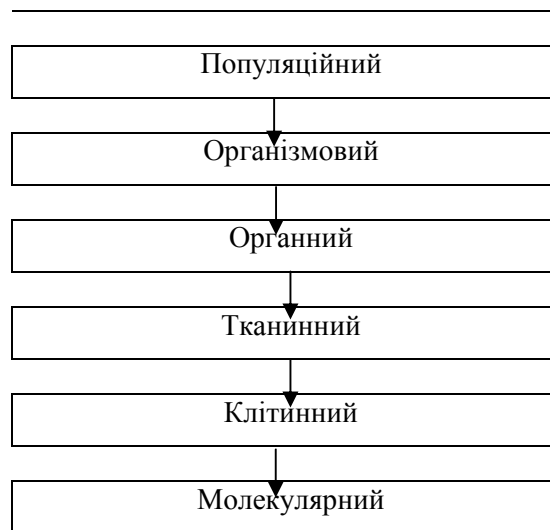


Рис. 1.1 Рівні організації живих систем на Землі.

На кожному з цих рівнів відбуваються певні процеси. Так, на *молекулярному рівні* протікають хімічні реакції перетворення речовин та енергії. Накопичується і зберігається енергія, зберігається спадкова інформація, закодована в молекулах нуклеїнових кислот.

На *клітинному рівні* здійснюються процеси обміну речовин між клітиною і середовищем, а також всередині клітини, перетворення енергії, розмноження та передачі спадкової інформації.

На *тканинному та органному рівнях* забезпечується виконання однієї або кількох специфічних функцій цілого організму.

На *організмному рівні*, організм, як цілісна система взаємодіє з навколишнім середовищем, обмінюючись з ним речовинами та енергією. На цьому рівні реалізуються такі властивості організму, як ріст, розвиток, розмноження, спадковість, мінливість, подразливість.

Організми одного виду мають спільні риси будови і життєві функції. Вони об'єднані у групи – популяції, які займають певні території, де поширений вид. Особливістю *популяційного рівня* організації є вільний обмін спадковою інформацією та передача її потомству у межах одного виду.

Популяції різних видів, які взаємодіють між собою, входять до складу багатовидових систем (біоценозів). До *біогеоценологічного рівня* характерно

те, що тут відбувається потік енергії між популяціями, а також кругообіг речовин між біотичною (живою) та абіотичною (неживою) частинами.

Окремі біогеоценози складають єдину біосферу. *Біосферний рівень* організації характеризується біологічним кругообігом речовин та єдиним потоком енергії, які забезпечують функціонування біосфери, як єдиної цілісної системи.

Значення біологічної науки в житті людини і суспільства.

З давніх-давен людина навчилась використовувати біологічні процеси для задоволення власних потреб, ще навіть не розуміючи їх суті (наприклад, процес виготовлення вина, або приготування тіста). На сьогоднішній день біологія перетворилася в потужну виробничу силу, що є важливою складовою науково-технічного прогресу. Значення біології в житті сучасної людини визначається тим, що об'єктом її вивчення є всі живі істоти на планеті включно із самою людиною, тобто їх походження, будова, розвиток, функціонування, взаємодія між собою, розмноження, захворювання та лікування, класифікація. Біологія є теоретичною основою охорони природи і раціонального природокористування. Важко віднайти іншу сферу знань, дослідження якої були б настільки важливими і перспективними для людства. На сьогодні вчені-біологи вирішують такі надважливі завдання як створення ліків від раку, СНІДу, забезпечення людства продовольством, створення альтернативних джерел енергії, очищення побутових і промислових відходів та багато інших. Нові технології, створені на основі біологічних знань, створюють передумови для чергової індустріальної революції. Наприклад, методами генної інженерії створені організми з новими комбінаціями ознак і властивостей: підвищеною стійкістю до захворювань, посиленою здатністю до продукції певних речовин. Разом з тим, дослідження в галузі біології породжують і немало проблем морального, етичного і технологічного характеру. Наприклад, клонування людини, дозвіл на евтаназію або аборти, проблема біологічного забруднення навколишнього

середовища трансгенними організмами і т.п. Тому на сьогодні все з більшою гостротою постає проблема виховання біологічної культури людства, яка має стати частиною загальної культури.

Частина I. Розділ I. Молекулярний рівень організації життя

Тема 1. Неорганічні речовини

В складі живих організмів зустрічаються ті самі хімічні елементи, які присутні і в неживій природі. Однак якщо ми порівняємо їх поширення у живій та неживій природі, то переконаємось, що ніякого взаємозв'язку тут немає. Наприклад, кремній, алюміній і залізо в сумі складають 39% маси земної кори, однак в тілі людини вони зафіксовані у слідових кількостях (менше 0,01%). Натомість вуглець займає 18,5% маси нашого тіла, однак тільки 0,03% земної кори. Чому для побудови живої матерії підходять тільки певні елементи? Для відповіді на це запитання слід проаналізувати властивості елементів, що входять до складу організмів.

З 92 хімічних елементів, які зустрічаються в природних умовах на Землі, в живих організмах ідентифіковано близько 60. Загалом, всіх їх можна поділити на чотири групи. Першу групу складають макроелементи, вміст яких від 1% і вище. Це кисень, вуглець, водень, азот, кальцій і фосфор. Друга група – це олігоелементи (від 0,1 до 1%): калій, натрій, хлор, сірка, магній, залізо. Третя група – мікроелементи (менше 0,01%): мідь, бром, йод, фтор. Четверта група – ультрамікроелементи. Їх частка у клітині дуже мала (від 10^{-4} до 10^{-6} %), однак вони також важливі для нормального перебігу процесів життєдіяльності у живих організмах. До цієї групи належать селен, бор, алюміній, кадмій, арсен, титан, хром, кремній та ін.

Для побудови різноманітних біологічних структур в основному використовуються чотири елементи: кисень, вуглець, водень, азот. В сумі вони складають 96% сирової маси клітини. Чому саме ці чотири елементи так добре підходять до виконання біологічних функцій? По-перше, всі вони розташовані у верхній частині періодичної системи, тобто відносяться до легких. По-друге, всі вони легко утворюють ковалентні зв'язки. Оскільки міцність ковалентного зв'язку обернено пропорційна атомній масі зв'язаних з

його допомогою атомів, то ці елементи утворюють найміцніші зв'язки. Таким чином, структури, утворені з цих елементів, вирізняються, з одного боку, легкістю, а з іншого – міцністю.

По-третє, вони легко реагують один з одним. При цьому вуглець, азот і кисень утворюють і одинарні, і подвійні зв'язки, завдяки чому вони можуть утворювати різноманітні хімічні сполуки. Насамкінець, дуже важливою є здатність атомів вуглецю взаємодіяти один з одним, утворюючи стабільні вуглець – вуглецеві ланцюги. При цьому вони здатні утворювати каркаси різноманітних органічних молекул.

Окрім цих чотирьох елементів важливу структурну роль в організмі виконує також сірка. Утворюючи дисульфідні зв'язки (S - S) вона стабілізує структуру багатьох білків, зокрема кератину, надаючи міцності волоссю та нігтям.

Що стосується інших хімічних елементів, що входять до складу другої, третьої та четвертої груп, то вони виконують різноманітні функції і їх присутність є необхідною умовою існування живих організмах. Кальцій і фосфор необхідні для росту кісток і окостеніння хрящів. Окрім цього, кальцій впливає на збудливість нервової системи, скоротність м'язів, процеси зсідання крові, білковий та жировий обмін в організмі. Фосфор потрібний для нормального функціонування нервової системи. Залізо входить до складу гемоглобіну (білок крові, за допомогою якого здійснюється газообмін), а хлор – соляної кислоти шлункового соку. Йод входить до складу гормону щитовидної залози – тироксину.

Всі хімічні реакції, що відбуваються в живому організмі і в сукупності утворюють обмін речовин, є каталітичними. Каталізатори (а це білки-ферменти) для переходу в активний стан потребують присутності певних хімічних елементів – активаторів. В якості активаторів найчастіше виступають залізо, мідь, цинк, марганець, кобальт, молібден. Таким чином ці елементи відіграють важливу роль у процесі регуляції обміну речовин.

Проблему біологічної ролі мікроелементів вперше почав розробляти видатний український вчений В.І.Вернадський.

Неорганічні сполуки: вода і мінеральні солі

Вода та мінеральні солі надходять в організм з їжею та питтям. Всмоктавшись з шлунково-кишкового тракту, вода розноситься з током крові та лімфи. На добу дорослій людині при нормальному режимі життєдіяльності і температурі навколишнього середовища потрібно 2 – 2,5 л води. Ця кількість складається з таких джерел: 1) вода спожита з питтям (≈ 1 л); 2) вода спожита з їжею (≈ 1 л); 3) вода, що утворилася в організмі в процесі обміну речовин ($\approx 300 - 350$ мл). Надлишок води може затримуватися в організмі (найважливішими депо води в організмі є м'язи та шкіра). Виводиться вода з організму нирками, через органи дихання, шкіру (потові залози) і травну систему. На затримку води в організмі впливають солі.

Мінеральні речовини, що надходять в організм, засвоюються переважно у вигляді іонів. Деякі елементи (калій, натрій) легко та швидко всмоктуються з шлунково-кишкового тракту; інші (кальцій, залізо) – частково. Іони, що всмокталися, як правило, зв'язуються зі специфічними транспортними білками і розносяться з плином крові та лімфи по організму. Багато елементів здатні нагромаджуватися в певних органах-депо (наприклад, залізо – у печінці; фосфор, кальцій, магній – в кістках). В середньому з їжею і водою щодоби людина повинна одержувати 4 – 6 г натрію, 2 – 3 г калію, 1,2 – 2 г фосфору, 0,8 – 1,5 г кальцію, 0,5 – 0,6 г магнію, близько 15 мг заліза. Концентрація мінеральних речовин в організмі регулюється гормональними і ферментативними системами. Надлишок солей виводиться нирками, кишечником та шкірою.

Серед неорганічних сполук найважливішою для живих організмів є вода. В середньому вона займає 80% маси організмів (в молодих клітинах – близько 90%, а в старих – близько 60%) і відіграє величезне значення у процесах життєдіяльності. Вода є основою внутрішнього середовища

організму. Вона є розчинником і бере участь в більшості біохімічних реакцій, адже більшість речовин надходять в організм і виводяться з нього у вигляді водних розчинів. Дуже важливою є транспортна роль води, зокрема перенесення поживних речовин по всьому організму, а також біологічно активних речовин, що забезпечує процеси гуморальної регуляції. Вода є складовим елементом багатьох клітинних структур; завдяки високій теплопровідності вода сприяє вирівнюванню температури в організмі теплокровних, а велика теплота пароутворення дозволяє реалізовувати функцію терморегуляції. Вода практично не стискується, завдяки чому вона створює об'єм та пружність клітин, тканин і органів.

Мінеральні солі у водних розчинах дисоціюють на катіони та аніони, забезпечуючи організм необхідними хімічними елементами, а також підтримуючи в ньому певні фізико-хімічні умови (осмотичний тиск та кислотно-лужну рівновагу рідин). Серед катіонів найважливішими є K^+ , Na^+ , Mg^{++} , Ca^{++} . Концентрація окремих іонів в клітині і в міжклітинному середовищі неоднакова. Наприклад, в живій клітині переважають іони K^+ , Mg^{++} і сульфати, в той час як поза клітинами – Na^+ , Ca^{++} , Cl^- . Ця різниця підтримується завдяки діяльності клітинних мембран. Брак окремих елементів – заліза, фосфору, магнію, цинку, кобальту – може спричинити серйозні захворювання організму (анемія, рахіт, остеомаліяція, гормональні розлади, блокування утворення нуклеїнових кислот). Що стосується аніонів, то вони визначають рН клітинного середовища. Найважливішими є HPO_4^{2-} , $H_2PO_4^-$, Cl^- , HCO_3^- .

Водний обмін в організмі тісно пов'язаний з мінеральним, тому найчастіше говорять про водно-мінеральний обмін. Водно-мінеральний обмін регулюється нервово-гуморальним механізмом і забезпечує сталість внутрішнього середовища організму.

Тема 2. Органічні речовини, їх будова і властивості. Єдність хімічного складу організмів.

Найважливішими органічними речовинами, які входять до складу живих організмів, є білки, ліпіди, полісахариди та нуклеїнові кислоти. Макромолекули цих органічних речовин складаються, в свою чергу, з малих органічних молекул – білки з амінокислот, ліпіди з жирних кислот, полісахариди з моносахаридів, нуклеїнові кислоти з нуклеотидів. Розглянемо будову, властивості і значення органічних речовин живих організмів та їх складових.

А М І Н О К И С Л О Т И

Амінокислоти – безбарвні кристалічні сполуки, які здебільшого добре розчиняються у воді. У їх структурі є дві функціональні групи атомів: амінна – NH_2 і карбоксильна – COOH . Ця остання зумовлює кислотні властивості речовини. Група – NH_2 визначає основні властивості сполуки. Отже, амінокислоти водночас мають властивості і кислоти, і основи. Такі сполуки називаються амфотерними.

Кожна амінокислота має свою назву, будову і властивості. Загальну формулу амінокислот можна зобразити наступним чином:

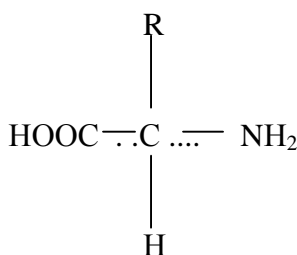


Рис. 1.2 Загальна формула амінокислот

Окрім карбоксильної групи – COOH (на рис. 1.2 зліва) та аміногрупи – NH_2 (на рис. 1.2 справа), які є спільним для всіх амінокислот, кожна амінокислота містить специфічну частину, позначена на рис.1.2 R (радикал). Вона є різною у різних амінокислот.

Деякі амінокислоти мають дві аміногрупи і відзначаються більш вираженими основними властивостями. В інших амінокислот сильніше

виражені кислотні властивості, бо до їх складу входять дві карбоксильні і одна амінна групи.

Амінокислоти є мономерами біологічних полімерів – білків. Всього в білках зустрічається 20 амінокислот.

Б І Л К И

Серед усіх біологічних макромолекул білки та нуклеїнові кислоти є найбільш специфічними і важливими для організму. Білки належать до неперіодичних полімерів. На відміну від інших полімерів, їх молекули складаються з подібних, але неоднакових мономерів – 20 різних амінокислот. Молекула білку – це ланцюг з декількох десятків або сотень амінокислот. Такі молекули мають величезні розміри і називаються макромолекулами.

Хімічні властивості. Амфотерні властивості амінокислот зумовлюють їх високу реакційну здатність, тобто легкість з якою вони вступають в різноманітні хімічні реакції. Саме завдяки наявності амінної ($\text{H}_2\text{N}-$) та карбоксильної ($-\text{COOH}$) груп відбувається сполучення амінокислот при утворенні полімеру – білка. При цьому з аміногрупи однієї амінокислоти і карбоксильної групи іншої виділяється молекула води і утворюється специфічний зв'язок, який отримав назву пептидного ($-\text{CO}-\text{NH}-$). Тому білки іноді ще називають поліпептидами.

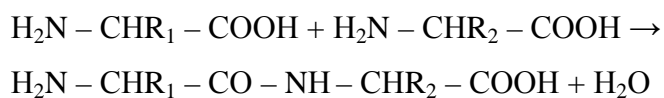


Рис. 1.3. Схема утворення пептидного зв'язку.

За допомогою пептидного зв'язку до ланцюга приєднуються все нові і нові молекули амінокислот доти, аж поки повністю не сформується молекула білка.

Білки, як і амінокислоти, володіють високою реактивністю і здатні реагувати з кислотами і лугами. Молекули білків відрізняються за кількістю і послідовністю розташування амінокислот в поліпептидному ланцюгу.

Оскільки число таких можливих комбінацій величезне, це пояснює різноманітність білків нашого тіла.

Будова білків. В будові молекули білка розрізняють чотири рівні організації (її структури).

Первинна структура – це оригінальна послідовність окремих амінокислот в поліпептидному ланцюгу. Первинна структура у кожного виду білка своя і не повторюється у білків інших видів.

Вторинна структура – це поліпептидний ланцюг закручений у вигляді спіралі. У цій спіралі між пептидними зв'язками сусідніх витків виникають слабкі водневі зв'язки. В сумі вони забезпечують доволі міцну конструкцію молекули.

Третинна структура – це специфічна для кожного виду білка конфігурація – глобула. Вона утримується слабкими гідрофобними зв'язками або силами зчеплення між неполярними радикалами, які зустрічаються у багатьох амінокислотах. Завдяки їх багаточисельності, забезпечується достатня стабільність білкової макромолекули. Третинна структура білків підтримується також ковалентними S – S – зв'язками, що виникають між радикалами сірковмісної амінокислоти – цистеїну.

Четвертинна структура існує не у всіх білків, а тільки у тих із них, молекула яких складається із декількох поліпептидних ланцюгів. Наприклад, молекула гемоглобіну людини утворена чотирма поліпептидними ланцюгами. Просторове розташування цих чотирьох ланцюгів і визначає четвертинну структуру.

Як бачите, для білкових макромолекул характерна доволі складна структура. Це пов'язано із різноманітністю функцій, які виконують ці біополімери в організмі.

Під впливом різних фізичних та хімічних факторів може відбуватися розкручування білкової молекули і втрата нею четвертинної, третинної або вторинної структури. Це призводить до втрати або змін її властивостей. Порушення специфічної структури білкової молекули має назву *денатурації*,

яка може бути зворотною (зворотній процес – *ренатурація*). Процес руйнування первинної структури білка завжди необоротний, він називається *деструкцією*.

Так побудовані в загальних рисах молекули простих білків. До деяких білків поряд з амінокислотними залишками входять як структурні одиниці залишки фосфорної кислоти, барвників, вуглеводів та інших сполук. Такі білки називаються складними або протеїдами. У їх молекулі розрізняють дві частини: білкову (поліпептидний ланцюг) і небілковий компонент, який називається *протетичною групою*. Таким чином, молекула складного білка-протеїду складається з простого білка і протетичної групи.

У поліпептидному ланцюгу є залишки різних амінокислот, але для кожного виду білка характерним є свій набір амінокислот і їх чергування. Цим визначається видова специфічність білків. Не тільки заміна, а й перестановка амінокислотних залишків у поліпептидному ланцюгу спричинює зміну будови і властивостей білка.

Значення білків. Значення білків в організмі величезне. Білки відіграють важливу структурну роль. Завдяки білкам відбувається рух нашого тіла, оскільки вони становлять основу м'язів (актин, міозин). Вони забезпечують захисні властивості організму в разі проникнення в нього збудників різноманітних захворювань, токсинів (імунітет). Завдяки білкам відбувається транспортування поживних речовин по кров'яному руслу, а також крізь мембрану всередину клітин. Багато гормонів мають пептидну природу, тому білки відіграють в організмі важливу регуляторну роль. За відсутності білків в організмі припинилися б процеси обміну речовин та енергії, оскільки всі хімічні реакції в організмі каталізуються ферментами, а всі ферменти мають білкову природу. Частково білки використовуються також як паливо. Розщеплюючись 1 г білку вивільняє 17 кДж енергії.

Всі амінокислоти, що входять до складу білків (їх є 20) поділяються на дві групи: замінні, які синтезуються в організмі людини і незамінні, які в організмі не синтезуються і повинні надходити в організм з їжею. У рослин і

у багатьох видів мікроорганізмів незамінних амінокислот немає: усі амінокислоти синтезуються в їх організмі.

Білки їжі, які містять весь необхідний для організму набір амінокислот називаються повноцінними. До них належать переважно білки тваринного походження. Білки їжі, які не містять всіх необхідних для організму амінокислот називаються неповноцінними (напр. білок кукурудзи, пшениці).

Найоптимальнішим є змішане харчування, коли в раціоні є продукти як тваринного, так і рослинного походження. В цьому випадку організм одержує весь набір необхідних амінокислот. Особливо вимогливі до якості раціону організми, які ростуть і розвиваються.

Добова потреба білку для організму дорослої людини становить приблизно 120 г. Чим менший вік дитини, тим більше вона потребує білку в перерахунку на 1 кг ваги її тіла. Наприклад, добова потреба білку на 1 кг маси тіла у дітей віком від 1 до 3 років становить 4 – 4,5 г; у віці від 6 до 10 років – 2,5 – 3 г; старше 12 років – 2,0 – 2,5 г; у дорослих – 1,5 – 1,8 г.

Білки в організмі людини не відкладаються про запас, тому якщо надходження білка в організм перевищує потребу в ньому, наростання процесів синтезу білків в організмі не буде. Навпаки, у людини погіршується апетит, посилюється виведення азоту з сечею і калом.

ЛІПІДИ

Ліпіди – це нерозчинні у воді жироподібні речовини, що входять до складу всіх живих організмів і відіграють важливу роль у їх будові та функціонуванні. За хімічною будовою ліпіди поділяють на декілька класів. До простих ліпідів відносять *жири* (складні ефіри трьохатомного спирту гліцерину й жирних кислот), *воски* (ефіри жирних кислот та жирних спиртів) і *діольні ліпіди* (ефіри жирних кислот і двохатомних спиртів, наприклад етиленгліколю). Складними ліпідами є *фосфоліпіди* (здебільшого похідні фосфогліцеринів) та *гліколіпіди* (ліпіди, що містять залишки цукрів). До

ліпідів відносять і деякі речовини, що не є похідними жирних кислот (стероїди, убіхінони, деякі терпени).

Жири – природні продукти рослинного (олії) або тваринного походження. Найчастіше жири є похідними стеаринової, пальмітинової та олеїнової кислот, що мають нерозгалужену будову й парну кількість вуглецевих атомів. Жирні кислоти, що входять до складу жирів, поділяють на насичені та ненасичені. Найважливішими насиченими жирними кислотами є масляна, капронова пальмітинова і стеаринова. Серед ненасичених важлива роль належить олеїновій, лінолевій та ліноленовій.

Консистенція жирів залежить від жирних кислот, що входять до їх складу: якщо в жирах переважають насичені жирні кислоти і менше ненасичених, то жири будуть твердішими, тугоплавкішими і, навпаки, якщо в жирах буде більше ненасичених жирних кислот, то вони будуть рідкими, м'якими, легкоплавкими. У природних жирах температура плавлення коливається від -27°C (горіхова олія) до $+55^{\circ}\text{C}$ (бараняче сало). Усі жири легші за воду, практично у ній не розчиняються, але можуть утворювати стійкі емульсії (наприклад, молоко). Тваринні жири містяться в молоці, м'ясі, підшкірній клітковині. При кімнатній температурі, це, як правило, тверді речовини. У рослин жири знаходяться у насінні і плодах. Близькими до жирів є жироподібні речовини, що містяться, наприклад, в жовтку яєць, клітинах мозку.

Жири, які надходять з їжею, у травному тракті розщеплюються на гліцерин і жирні кислоти. Останні всмоктуються в основному в лімфу і лише частково в кров. Через лімфатичну і кровоносну системи жири надходять головним чином в жирову тканину (підшкірна клітковина, простір навколо нирок, печінки, м'язів).

Значення жирів в організмі визначається їх хімічними властивостями та структурою. Жири входять до складу клітин, де їх кількість стала. Вони також становлять основу клітинних мембран де внаслідок своєї гідрофобності перешкоджають змішуванню вмісту клітини з оточуючим

середовищем. Жири в організмі виконують енергетичну функцію. При розщепленні 1 г жиру виділяється 39 кДж енергії.

Добова норма споживання жирів дорослою людиною становить 60 - 70 г. Нестача жирів в раціоні призводить до порушень в діяльності центральної нервової системи, репродуктивної системи, зниження імунних реакцій. Жири можуть синтезуватися в організмі з продуктів обміну білків і вуглеводів, тому всі три види обміну в організмі тісно пов'язані. Однак деякі жирні кислоти в організмі людини синтезуватися не можуть (так звані незамінні жирні кислоти) і повинні надходити з їжею. Це, зокрема такі кислоти як лінолева, ліноленова, арахідонова. Містяться ці жирні кислоти в оліях (соняшниковій, оливковій, лляній). Цим пояснюється висока поживна цінність рослинних жирів. Окрім цього, з жирами в організм надходять розчинні в жирах вітаміни (А, D, Е), які мають для людини життєво важливе значення. Жири погано проводять тепло і накопичуючись в підшкірній клітковині виконують захисну функцію і роль запасних речовин.

МОНОСАХАРИДИ

Моносахариди мають загальну формулу $C_nH_{2n}O_n$ (де n – кількість атомів вуглецю). Це речовини без забарвлення з приємним солодким смаком, добре розчинні у воді. Моносахариди є одними з перших продуктів органічної матерії, що утворюються з неорганічних речовин у процесі фотосинтезу. Вони містять різну кількість атомів вуглецю. Назва моносахариду будується від кореня грецького слова, що визначає кількість атомів вуглецю в ланцюгу, з додаванням частинки – “оза”. Отже, моносахарид, у складі якого є три атоми вуглецю, називатиметься тріозою, чотири – тетрозою, п'ять – пентозою, шість – гексозою, сім – гептозою. В організмі відіграють структурну та енергетичну роль (вони містять велику кількість вуглецево-водневих зв'язків (С – Н), які при розпаді вивільняють енергію). Найчастіше зустрічаються моносахариди з п'ятьма і шістьма атомами вуглецю.

Гексози $C_6H_{12}O_6$ – моносахариди, дуже поширені в природі як у вільному стані, так і як складові частини різних полісахаридів. Серед сахарів цієї групи найбільше значення мають глюкоза, фруктоза (міститься у фруктах, меді) і галактоза (міститься в молоці).

Пентози $C_5H_{10}O_5$ досить поширені в природі. Ці сахари та їх похідні входять до складу різних біологічно важливих речовин тваринних і рослинних організмів – нуклеїнових кислот, складних білків – нуклеопротеїдів, ферментів, деяких вітамінів тощо. У багатьох рослинах з пентоз утворена опірня тканина. Найважливішими представниками пентоз є рибоза і дезоксирибоза, які входять до складу нуклеїнових кислот та АТФ.

ПОЛІСАХАРИДИ

Полісахариди – це полімери, тобто сполуки в яких багаторазово повторюється один і той же мономер. Дисахариди, які складаються з двох моносахаридів, розчиняються у воді, багато з них солодкі на смак. Представниками дисахаридів є сахароза що складається з глюкози і фруктози і молочний цукор лактоза утворена з глюкози та галактози.

При збільшенні кількості мономерів розчинність полісахаридів зменшується. З поміж високомолекулярних полісахаридів найбільш поширеним серед тваринних організмів є глікоген і хітин, а серед рослин – крохмаль і клітковина (целюлоза). Остання складається з декількох сотень молекул глюкози.

Полісахариди містяться у всіх клітинах живих організмів і виконують різноманітні функції. Наприклад, целюлоза рослин і хітин членистоногих і деяких грибів виконують опорну функцію. Гіалуронові кислоти та інші мукополісахариди утворюють захисний шар, що оточує клітини тварин, а пектини відіграють аналогічну роль у рослинах. Крохмаль у рослин і глікоген у тварин служать основним резервним джерелом енергії для всіх форм активності клітини (рух, біосинтез, секреція та ін.). Полісахариди виконують будівельну функцію у рослин (оболонки їх клітин містять целюлозу)

Вуглеводи відіграють винятково важливе значення в діяльності центральної нервової системи тварин і людини. При різкому зниженні рівня вуглеводів у крові настають судоми, марення, втрата свідомості. Мозок затримує до 12% глюкози, що надходить в організм (порівняйте, м'язи – тільки 7%). Розщеплюючись до CO_2 і H_2O 1 г вуглеводів вивільняє 17 кДж енергії.

Вуглеводи надходять в організм головним чином у вигляді крохмалю. Розщепившись в травному тракті до глюкози, вуглеводи всмоктуються в кров і засвоюються клітинами. Особливо багата на вуглеводи рослинна їжа: хлібо-булочні вироби, крупи, овочі, фрукти. Продукти тваринного походження (за винятком молока) містять мало вуглеводів.

Добова потреба у вуглеводах висока і становить для дорослих приблизно 500 г. Дітям у віці від 9 до 13 років необхідно на добу приблизно 370 г вуглеводів, а у віці від 4 до 7 років – 280 г. В невеликих кількостях вуглеводи можуть утворюватися в організмі з білків і жирів.

НУКЛЕОТИДИ

Нуклеотиди – це складові частини нуклеїнових кислот. Кожен нуклеотид складається з трьох частин: азотиста основа, вуглевод (рибоза чи дезоксирибоза) та фосфорна кислота. Всього в ДНК є чотири види азотних основ: аденін (А), гуанін (Г), тимін (Т) і цитозин (Ц). В РНК замість тиміну знаходиться урацил (У). Наявність одного з двох видів вуглеводів визначає назву нуклеїнової кислоти: якщо до складу нуклеїнової кислоти входить рибоза, то це буде рибонуклеїнова кислота (РНК); якщо дезоксирибоза – то дезоксирибонуклеїнова (ДНК).

Окрім важливої ролі як структурних компонентів нуклеїнових кислот, нуклеотиди відіграють важливу роль в енергетичному обміні клітини, зокрема як складові частини сполук – акумуляторів енергії аденозинмонофосфату (АМФ), аденозиндифосфату (АДФ) і аденозинтрифосфату (АТФ).

НУКЛЕЇНОВІ КИСЛОТИ

Існує два види нуклеїнових кислот: дезоксирибонуклеїнова (ДНК) і рибонуклеїнова (РНК). Основна частина ДНК зосереджена в хромосомах клітини і лише невелика її кількість в мітохондріях. РНК знаходиться в ядерцях, а також в цитоплазмі.

Молекула ДНК являє собою дуже довгий полінуклеотидний ланцюг. Сумарна довжина молекул ДНК 46 хромосом однієї клітини людини досягає 170 – 180 см. Кожна молекула ДНК складається з двох ланцюгів нуклеотидів, які сполучені між собою. Кожен нуклеотид складається з азотної основи, вуглеводу (дезоксирибози) і фосфорної кислоти. Всього в ДНК є чотири види азотних основ: аденін (А), гуанін (Г), тимін (Т) і цитозин (Ц). Два ланцюги ДНК скручуються і утворюють подвійну спіраль. Азотні основи одного ланцюга сполучені з основами іншого за допомогою водневих зв'язків. При цьому аденін завжди сполучається з тиміном, а гуанін – з цитозином. Інші варіанти сполучення в нормі не виникають. Це пояснюється тим, що між цими парами нуклеотидів (А – Т і Г – Ц) існує особливий тип хімічного зв'язку, який отримав назву комплементарного (від лат. комплемент – доповнення). Таким чином, знаючи послідовність нуклеотидів одного ланцюга молекули ДНК, можна встановити порядок розташування нуклеотидів другого.

Подвійна спіраль молекули ДНК здатна розкручуватися. При цьому окремі ланцюги ДНК можуть відходити один від одного або по всій довжині молекули, або тільки на певній її ділянці. Ланцюги ДНК можуть знову сполучатися, відновлюючи свою попередню структуру.

РНК має простішу будову. Вона складається з одного полінуклеотидного ланцюга, що містить нуклеотиди чотирьох видів – гуанілового, цитидилового, аденілового і уридилового. У молекулі РНК замість тиміну знаходиться урацил. Окрім цього, в РНК замість

дезоксирибози входить рибоза. Молекули РНК коротші за молекули ДНК і мають меншу молекулярну масу.

Існує три головних типи рибонуклеїнових кислот: інформаційна або матрична РНК (іРНК або мРНК), рибосомальна РНК (рРНК) і транспортна (тРНК). Матрична РНК синтезується в ядрі клітини на одному з ланцюгів ДНК і передає інформацію про структуру білка з ядра до рибосом. Транспортні РНК порівняно невеликі. Їхнє завдання – доставка до рибосом певних амінокислот для забезпечення процесу синтезу білка. Рибосомальна РНК міститься в рибосомах і складає до 65% її маси. Її функція до кінця не зрозуміла.

Єдність хімічного складу організмів.

Незважаючи на величезне різноманіття органічних молекул в живих організмах та складність їх будови та функціонування, в кінцевому підсумку все зводиться до вражаюче простої картини. Макромолекули в клітинах складаються з великої кількості простих і порівняно невеликих молекул, які служать будівельними блоками, зв'язуючись один з одним в довгі ланцюги.

Наприклад, в білках виявлено всього 20 амінокислот. Таким чином всі білки нашого організму побудовані всього з двадцяти різних молекул невеликого розміру. Точнісінько так само всі нуклеїнові кислоти, які, як і білки, мають довгі полімерні молекули, побудовані всього із 8 будівельних блоків, які називаються мононуклеотидами. При цьому 20 амінокислот з яких побудовані білки і 8 нуклеотидів, з яких побудовані нуклеїнові кислоти, одні й ті ж у всіх організмів.

Нечисленні прості молекули, які є будівельними блоками макромолекул, мають ще одну чудову властивість. Всі вони виконують в клітині, як правило, декілька функцій. Так, амінокислоти є не тільки будівельними блоками білків, але також попередниками гормонів, пігментів і багатьох інших біомолекул, а мононуклеотиди використовуються не тільки

як будівельні блоки нуклеїнових кислот, але також як активатори ферментів і речовини – акумулятори енергії.

З усього сказаного можна зробити певні висновки. По-перше, не зважаючи на всю складність молекулярної організації клітини, для неї характерною є простота: тисячі її різноманітних макромолекул побудовані з небагатьох типів простих молекул. По-друге, оскільки ці молекули багатофункціональні, то ми можемо говорити про принцип молекулярної економії. Очевидно, що живі клітини містять мінімальне число молекул, але воно достатнє для забезпечення існування в певних умовах, тобто забезпечує видову специфічність.

Тема «Ферменти»

Ферменти (від лат. fermentum – закваска, бродіння) – біологічні сполуки білкової природи. Кожен фермент здатний каталізувати (прискорювати, полегшувати перебіг) певну хімічну реакцію, що протікає у живому організмі. За відсутності цих сполук в організмі не відбувалося б жодного хімічного перетворення і тому життя було б неможливим. Ферменти відіграють надзвичайно важливу роль у регуляції обміну речовин, оскільки їхня активність (а значить і швидкість каталізованої ними реакції) може змінюватися під впливом різноманітних чинників (гормонів, кінцевого продукту реакції та ін.).

Людина здавна навчилася використовувати ферменти для своїх потреб, ще навіть не знаючи про їх існування і не уявляючи собі суті ферментативних перетворень (наприклад, процеси випікання хліба, виробництва вина чи пива, виготовлення сиру передбачають використання ферментів і використовуються людиною вже декілька тисяч років). В даний час ферментативні перетворення використовуються в технологічних процесах обробки шкір (протеолітичні ферменти), виробництві деяких м'ясних (наприклад, процес дозрівання сиркопчених ковбас відбувається за допомогою ферментів бактерій певного виду) і молочних продуктів

(наприклад, при виробництві кефіру використовують кефірний грибок), медицині (фармакологічні препарати, що полегшують процеси травлення; регуляція процесу зсідання крові; розсмоктування рубців), очищення стічних вод та знезараження деяких видів відходів.

Все більшого поширення набуває гетерогенний ферментативний каталіз, який здійснюють за допомогою іммобілізованих (прикріплених на певних носіях) ферментних комплексів (набір ферментів, що каталізують послідовність із декількох реакцій).

Тема «Особливості енергетичного обміну у людини. Організація повноцінного харчування»

Навіть в умовах повного спокою людина витрачає деяку кількість енергії. Зокрема, в організмі протікають фізіологічні процеси, які потребують енергії (працюють серце, легені, скорочуються м'язи внутрішніх органів). Мінімальний для організму рівень обміну речовин і енергетичних затрат називають *основним обміном*. Визначають основний обмін у людини за допомогою спеціальних методів у стані повного спокою, лежачи, натще, при температурі комфорту (18 - 20°C). У людини середнього віку і маси основний обмін становить приблизно 4 кДж/кг маси тіла/год. або 6 500 – 7 000 кДж/добу.

Основний обмін у дітей інтенсивніший, ніж у дорослих, оскільки у них процеси асиміляції значно переважають процеси дисиміляції. Енергетичні витрати на ріст тим більші, чим молодша дитина. Наприклад, основний обмін на 1 кг маси тіла у 10-річної дитини у 2 – 2,5 рази вищий, ніж у дорослого (240 кДж проти 100 кДж у дорослих).

Зрозуміло, що чим фізично важчою є робота людини, тим більшими є її енергетичні витрати. При ходінні затрати енергії на 150 – 170% перевищують основний обмін, а під час бігу – у 3 – 4 рази. У школярів підготовка до уроків, заняття в школі вимагають на 20 – 50% енергії більше, ніж енергія

основного обміну. Легка робота вимагає додатково 2 500 кДж на день, робота середньої важкості – 3 000 кДж, а важка фізична робота – 3 600 кДж на день.

Потреба в енергії від 35 до 55 року життя зменшується на 10%, між 55 і 75-м роком життя – на 15%, а у людей віком понад 75 років – ще на 10%. Тобто в сумі від 35-го року до 75-го року життя потреба в енергії зменшується на 35%. Зменшення енергетичної цінності раціону для людей старшого віку слід здійснювати за рахунок вилучення з нього жирів і вуглеводів. Кількість необхідних білків, вітамінів та мінеральних речовин повинна залишатися незмінною.

При розрахунку енергетичної цінності раціону слід враховувати, що енергія поживних речовин раціону засвоюється приблизно на 88%; решта 12% енергії витрачається на процеси травлення і обмінні процеси.

Харчування. На сьогодні склалася концепція *збалансованого харчування*, згідно з якою, кількість їжі, які споживає людина, повинна задовольняти її енергетичні витрати. Знаючи кількість спожитих білків, жирів та вуглеводів і їх енергетичну цінність можна підрахувати калорійність харчового раціону людини. Це має важливе значення при організації раціонального харчування.

При складанні харчового раціону важливо враховувати не лише калорійність їжі, але й співвідношення харчових речовин у раціоні та ступінь їх засвоєння. Для дошкільнят найкращим вважається співвідношення білків до жирів і вуглеводів 1 : 2: 3; для дітей молодшого шкільного віку 1 : 1 : 6; для дорослих 1 : 1 : 4.

При змішаному харчуванні в організм надходить різноманітний набір амінокислот, вітамінів, жирних кислот, тому цінність їжі підвищується. Різноманітна їжа викликає кращий апетит, посилену секрецію травних соків, що сприяє її кращому засвоєнню. Кількість спожитої їжі повинна бути достатньою не тільки за калорійністю, але і за об'ємом, тобто викликати відчуття ситості.

Поняття *раціональне харчування* включає в себе також правильний режим вживання їжі, тобто кількість прийомів їжі впродовж доби та інтервали між ними. Харчова цінність продуктів знижується, коли їдять два рази на день. Особливо погано переносять тривалі перерви в харчуванні діти, а також особи із захворюваннями шлунково-кишкового тракту. Також небажаним є надто частий прийом їжі, оскільки вона не встигає перетравитися, зникає апетит. Для учнів найраціональнішим є чотириразове харчування, при цьому інтервал між прийомами їжі не повинен перевищувати 4 год.

Їсти потрібно в один і той же час. При цьому утворюється умовний рефлекс, виділяються травні соки, що сприяє більш повному засвоєнню компонентів їжі. Сніданок повинен бути ситним і містити не менше 25% добового раціону. Другий сніданок (або підвечірок) – 20% добового раціону; обід – 35% і вечеря – 20%.

М'ясні і рибні страви рекомендується вживати у першій половині дня, бо вони багаті на екстрактивні речовини і збуджують нервову систему. Увечері рекомендуються молочно-рослинні страви. В раціон рекомендується включати 1/3 білків і жирів у вигляді продуктів тваринного походження.

Практична робота № 1. Розв'язування елементарних вправ з транскрипції та реплікації

1. Побудуйте нуклеотидну послідовність молекули РНК, якщо відповідний фрагмент молекули ДНК має наступну послідовність нуклеотидів:

- а) А – А – Г – Ц – Ц – Т – А – Г – Г – Т – А – Т – Т – Ц
- б) Г – Г – Ц – Т – Т – А – Г – Ц – Ц – Т – А – А – Г – Т – Ц
- в) Ц – Т – Г – Г – Т – А – Ц – Ц – Т – А – А – А – Г – Т – Ц – Г
- г) А – А – Г – Ц – Ц – Т – Г – Г – Ц – Т – Т – Ц – Т – Г – Г – Т
- д) Г – А – Ц – Т – Т – А – Г – Ц – А – Т – А – Ц – Г – Т – Ц

2. Використовуючи принцип комплементарності, добудуйте другий полінуклеотидний ланцюг молекули ДНК маючи в наявності фрагмент першого.

- а) А – Т – Г – Г – Ц – А – Т – Ц – Ц – Т – Т – А – Ц – А – Т
- б) Т – Г – Ц – Т – Г – А – Г – Ц – А – Т – А – Ц – Г – Т – Ц – А
- в) Ц – Т – Г – Г – Т – А – Ц – Ц – Т – А – Ц – А – Г – Т – Ц – Г
- г) А – Т – Г – Г – Ц – Т – Г – Ц – Т – Г – Ц – Т – Г – Г – Т – А
- д) А – Т – Ц – Г – Ц – А – Т – Т – Ц – Т – Ц – А – Ц – А – Т

3. Маючи фрагмент РНК і використовуючи принцип комплементарності, реконструйте фрагмент ДНК, який його кодує.

- а) У – А – А – Г – У – Ц – А – А – Г – Ц – А – У
- б) Ц – А – У – А – Ц – Г – У – У – Г – Г – Ц – У – Г
- в) Ц – Ц – У – А – А – Г – Г – Ц – У – Г – Ц – А
- г) Г – У – А – Ц – Ц – У – А – А – У – Г – Ц – У – Г
- д) Ц – А – У – А – Ц – Г – Г – Ц – У – Г – Ц – А

Практична робота № 2. Енергетична цінність раціонів харчування для різних статевих-вікових груп.

Завдання № 1. Скільки білків, жирів та вуглеводів необхідно дитині віком 10 років на добу, якщо добова енергетична потреба їхнього організму становить 8 000 кДж. Співвідношення білків до жирів і до вуглеводів у їхньому раціоні повинно складати 1 : 1 : 6.

Розщеплення 1 г вуглеводів забезпечує організму 17 кДж енергії; 1 г жирів – 39 кДж; 1 г білків – 17 кДж енергії.

Завдання № 2. Скільки білків, жирів та вуглеводів повинен містити добовий раціон харчування дорослої людини, якщо добова енергетична потреба їхнього організму становить 9 000 кДж. Співвідношення білків до жирів і вуглеводів у їхньому раціоні повинно складати 1 : 1 : 4.

Розщеплення 1 г вуглеводів забезпечує організму 17 кДж енергії; 1 г жирів – 39 кДж; 1 г білків – 17 кДж енергії.

Завдання № 3. Розрахуйте надходження енергії в організм дорослої людини, яка спожила за добу 120 г білків, 90 г жирів і 500 г вуглеводів. Чи достатньо цього раціону для забезпечення енергетичних потреб організму, якщо вони становлять 11 000 кДж на добу?

Розщеплення 1 г вуглеводів забезпечує організму 17 кДж енергії; 1 г жирів – 39 кДж; 1 г білків – 17 кДж енергії.

Завдання № 4. У 10-річної дитини основний обмін становить 10 кДж/кг маси тіла/год. Маса тіла дитини – 30 кг. Чи забезпечить добовий раціон енергетичні потреби основного обміну, якщо за добу дитина спожила 300 г вуглеводів, 45 г жирів і 80 г білків?

Розщеплення 1 г вуглеводів забезпечує організму 17 кДж енергії; 1 г жирів – 39 кДж; 1 г білків – 17 кДж енергії.

Розділ II. Клітинний рівень організації життя

Тема 1. Загальний план будови клітин. Поверхневий апарат. Ядро

Історія вивчення клітини. Відкриття і вивчення клітини стало можливим завдяки винайденню мікроскопа і його вдосконаленню. Перший опис клітини зробив англійський дослідник Роберт Гук у 1665 р. За допомогою ножа він зробив дуже тонкий зріз корка і дослідив його під мікроскопом. Гук вперше застосував термін «клітина» коли описував маленькі пори, які він побачив в тонких зрізах корка. Згодом такі вчені як англієць Грю, італієць Марчело Мальпігі та голландець Антон ван Левенгук провели мікроскопічні дослідження зрізів різних рослин, а також одноклітинних тварин. Однак знадобилось ще багато досліджень і більше 150 років, щоб була сформульована єдина клітинна теорія. Її творцями стали два німецькі дослідники – Теодор Шванн і Матіас Шлейден. Саме вони в 1839 р. зробили висновок про те, що всі живі істоти складаються з клітин, і що ці клітини функціонують незалежно і в той же час разом. З тих пір біологія збагатилася багатьма відкриттями і на сучасному етапі клітинна теорія включає такі положення:

- усі організми складаються з клітин (однієї або багатьох), тому клітина елементарна одиниця будови живих істот;
- всі клітини живих істот подібні за будовою, хімічним складом, основними процесами життєдіяльності;
- кожна нова клітина утворюється в результаті поділу материнської, тобто клітина – елементарна одиниця розмноження;
- багатоклітинні організми розвиваються з однієї клітини, тобто клітина – елементарна одиниця розвитку;
- клітини містять спадкову інформацію необхідну для здійснення життєвого циклу і забезпечення зміни поколінь певного виду організмів;
- клітинам притаманна подразливість, вони здатні сприймати різні впливи і певним чином на них відповідати;

- у більшості багатоклітинних організмів різні типи клітин формуються внаслідок спеціалізації протягом індивідуального розвитку;
- у більшості багатоклітинних тварин і вищих рослин з клітин, подібних за будовою та функціями, формуються тканини;
- з тканин формується органи, які тісно пов'язані між собою в системи органів та функціональні системи і підпорядковані нервовій та гуморальній регуляції.

Методи цитологічних досліджень. Сучасні методи цитологічних досліджень дозволяють дослідити не тільки окремі клітини, але й будову окремих її складових – клітинних органел. Це стало можливим завдяки створенню і подальшому вдосконаленню електронного мікроскопа. На відміну від звичайного світлового мікроскопа, де використовуються сфокусовані промені світла і збільшувальні лінзи, в електронному мікроскопі використовують потоки електронів. Це дозволяє досягти значного збільшення зображення. Найпоширенішими техніками на сьогодні є трансмісійна і скануюча електронна мікроскопія. У першому випадку електронні промені фокусують електромагнітом і пропускають крізь тонкий зріз досліджуваного об'єкта на фотопластинку або екран. Отримане зображення може бути збільшене до 5 мільйонів разів. У другому випадку – при застосуванні скануючої електронної мікроскопії – на досліджуваний зразок напилюють тонкий шар золота і починають опромінювати потоками електронів. Відбиваючись від плівки, вони утворюють тривимірне зображення із збільшенням до 100 000 разів.

Авторадіографія – метод дослідження клітин і тканин організму, який дає змогу вивчити розподіл у них речовин, мічених радіоактивними ізотопами (^3H , ^{14}C , ^{32}P та ін.). Розпад цих речовин супроводжується випромінюванням α - або β -часток які вловлюються спеціальними пристроями і дають змогу ідентифікувати місце локалізації цих речовин у клітині.

Культура клітин – метод вирощування клітин, взятих з організму людини, тварин або рослин. Процес відбувається у спеціальних ємностях з використанням відповідних поживних середовищ. Даний метод широко застосовують для вивчення поділу клітин, їх росту та диференціювання, характеру взаємозв'язків, впливу на клітини різних фізичних та хімічних факторів, діагностики деяких захворювань. Колонію клітин одержаних з однієї клітини називають *клоном*.

Останнім часом з'явилися нові, сучасні методи інструментального дослідження організму, в яких використовуються новітні досягнення фізики та обчислювальної техніки. Це зокрема *комп'ютерна томографія*. Даний метод є, по суті, рентгенівським знімком тонкого зрізу тканини. Він заснований на тому, що тканини з різною щільністю по різному поглинають рентгенівське проміння. Роблячи серію таких знімків можна вивчати процеси, що відбуваються всередині окремих органів, наприклад, мозку. Ще одним методом є *магнітний резонанс*. На відміну від попереднього, цей метод дозволяє отримувати не двовимірне, а тривимірне зображення досліджуваного зрізу тканини. Наступним методом є *позитрон-емісійна томографія*. За допомогою цього методу досліджують рівень обміну речовин в окремих органах чи тканинах. Для цього в кровоносну систему вводять розчин радіоактивних речовин. Чим вищий рівень обміну речовин в певній частині органу, тим більше радіоактивної мітки він поглине. За допомогою спеціального пристрою можна визначати рівень радіоактивності на зрізі досліджуваного органу і робити висновок про його функціонування.

Будова клітин прокариотів і еукаріотів. В залежності від наявності чи відсутності сформованого в клітині ядра і ядерної мембрани, всі живі організми поділяють на еукаріоти і прокариоти. У прокариот (доядерні організми) ядро відсутнє. Передача і зберігання генетичної інформації у них відбувається через молекули ДНК, які розташовуються безпосередньо в цитоплазмі. До цього класу організмів належать примітивно організовані організми (бактерії, синьо-зелені водорості, віруси). Клітини еукаріот містять

ядро з ядерною оболонкою. Це одноклітинні та багатоклітинні рослини і тваринні організми.

Клітина є елементарною структурною і функціональною одиницею організму. Це найменша частина тіла, у якій відбуваються усі процеси життєдіяльності: дихання, рух, травлення, розмноження. Кожна клітина може підтримувати всі вищезгадані функції. Хоча клітини різних тканин відрізняються за будовою, формою, розмірами і виконуваними функціями, вони мають багато спільних морфологічних особливостей (наявність ядра і певного набору органоїдів) і функціональних особливостей (біосинтез білків, використання і перетворення енергії, процеси розмноження).

Клітини можуть існувати як самостійні організми, а також у складі багатоклітинних організмів. Бактерії, багато видів водоростей (хлорела, хламідомонада), нижчих грибів і найпростіші тварини (амеба, евглена) складаються з однієї клітини. Ця клітина виконує всі функції живого організму – живлення, руху, розмноження тощо. Тіло більшості видів рослин і тварин складається з величезної кількості клітин, які спеціалізуються на виконанні окремих функцій. Ці клітини утворюють різні тканини і органи.

Коли з'явилися перші електронні мікроскопи і за їх допомогою провели дослідження будови клітин, стало зрозуміло, що клітину не можна розглядати як великий мішок, в якому всі компоненти перемішані, як попало. Клітина буквально заповнена мережею каналів і мембран, які розділяють її на окремі частини, заповнені різноманітними структурами: «командний пункт» - ядро клітини, «електростанції» - мітохондрії, «виробничі цехи» - рибосоми, де відбувається синтез білків. Як на справжньому виробництві, де в певному цеху містяться певні верстати, які обслуговують конкретні робітники, так кожен підрозділ клітини виконує певні функції, які обслуговують конкретні ферменти.

Такий поділ клітини на окремі сегменти необхідний тому, що в ній одночасно відбуваються взаємно несумісні процеси (наприклад, синтез і розщеплення жирних кислот), які необхідно розділити у просторі за

допомогою певних механічних бар'єрів. Тому жирні кислоти утворюються в цитоплазмі клітини, а їх розщеплення – в мітохондріях, які відділені від цитоплазми мембранами. Мембрани виконують не тільки бар'єрну функцію, розділяючи об'єм клітини на окремі відсіки і відділяючи вміст окремих органел від цитоплазми клітини. Вони також дозволяють накопичувати в певних місцях великі кількості певних речовин, а також об'єднувати окремі ферментативні реакції в ланцюги або цикли шляхом впорядкованого розміщення на своїй поверхні ферментів, які каталізують їх перебіг. Тому більшість ферментів в клітині знаходяться не у вільному стані, а зв'язані з різноманітними структурами, зокрема і з мембранами.

Розглянемо основні компоненти клітини та їх функції.

Клітини різних організмів дещо відрізняються за своєю будовою. Так, клітини вищих тварин значно складніші, за клітини найпростіших. Однак клітина будь якого організму містить як мінімум три складові: клітинна мембрана, цитоплазма та структура, де зберігається спадкова інформація.

Зовнішня клітинна мембрана. Зовні клітина вкрита плазматичною мембраною або зовнішньою клітинною мембраною. Це щільна плівка із ліпідів (фосфоліпідів) і білків, яка відокремлює внутрішнє середовище клітини від зовнішнього, забезпечуючи існування клітини, як окремої структурної одиниці і регулює надходження речовин всередину клітини та видалення непотрібних речовин за її межі.

Клітинна оболонка у тварин (цитолема) складається з клітинної мембрани (плазмолемі) і глікокаліксу (надмембранний комплекс). Глікокалікс – це дуже тонкий еластичний шар, що забезпечує функцію зв'язку клітин із зовнішнім середовищем. Окремі ділянки мембрани і глікокаліксу можуть диференціюватися, перетворюючись на мікрворсинки (на поверхні клітини, що контактує з довкіллям) і міжклітинні сполучення та зв'язки, які знаходяться між клітинами і мають різну структуру. Одні з них відіграють механічну роль (міжклітинні сполучення), інші – беруть участь у міжклітинних обмінних процесах.

Клітини тварин з'єднуються одна з одною плазматичною мембраною. У місцях сполучень утворюються складки або вирости, що додають їм особливої міцності. На поверхні багатьох клітин знаходяться дрібні вирости цитоплазми, вкриті плазматичною мембраною – мікроворсинки.

У клітинах рослин над плазматичною мембраною розташована щільна оболонка, утворена целюлозою, геміцелюлозою, пектином або хітином (у грибів), яка визначає механічні властивості рослин (тобто виконує опорну функцію).

Основу клітинної мембрани складають молекули фосфоліпідів, що розташовуються у два шари (біліпідний шар): полярні гідрофільні частини їх молекул спрямовані назовні, в той час як неполярні гідрофобні частини – всередину мембрани. Фосфоліпіди становлять основу (матрикс) для іншого важливого компоненту мембран – білків. Молекули білків можуть розташовуватися на поверхні або всередині подвійного шару фосфоліпідів. Саме білки забезпечують проникнення різноманітних речовин та інформації всередину клітини крізь клітинну мембрану. Деякі з цих білків не мають чітко визначеного місця і можуть рухатися по поверхні клітини.

Кожна речовина транспортується специфічним білком-переносником. В процесі транспортування, білок-переносник зв'язується з молекулою, змінює свою форму і переносить її всередину клітини. Молекули деяких речовин можуть проникати в клітину безпосередньо через біліпідний шар. Великі за розміром молекули проникнути крізь мембрану не можуть, але за потреби клітина може активно поглинати або виділяти їх назовні витрачаючи на це енергію.

Оскільки не всі молекули можуть вільно проникати крізь клітинну мембрану, говорять про її вибіркочну проникність, завдяки чому всередині клітини створюється свій, особливий хімічний склад, що майже не змінюється у випадку змін зовнішнього середовища в допустимих для життя межах. Забезпечуючи вибіркочну проникність всередину клітини поживних речовин і перешкоджаючи проникненню шкідливих, клітинна мембрана

виконує важливі функції і сприяє збереженню сталості внутрішнього середовища клітини.

Унаслідок різниці в проникності мембрани для іонів калію, натрію, хлору та деяких інших елементів на ній формується електричний розряд. Величина такого заряду, наприклад, для нервової клітині становить усього 0,07 вольта. При цьому зовнішня поверхня клітинної мембрани заряджена позитивно, а внутрішня – негативно. Наявність електричної поляризації мембрани є основою для виникнення збудження – електричного процесу, що є першою реакцією клітини на дію подразника.

Окрім транспортної і бар'єрної, мембрани виконують ще й рецепторну функцію. На зовнішній поверхні мембрани прикріплюються молекули білків-рецепторів, які можуть сприймати ті чи інші подразники (хімічні, механічні, електричні). Сприймаючи дію подразника, клітини змінюють свою активність: нервова генерує електричний імпульс і передає його, м'язова скорочується, а секреторна виділяє секрет. На внутрішній поверхні мембрани також прикріплюються молекули білків. Найчастіше це білки-ферменти, що розташовані на мембрані в певній послідовності, утворюючи «біохімічний конвеєр».

Білки у складі клітинної мембрани виконують важливі функції: 1) транспортування; 2) рецептора, що передає інформацію всередину клітини (наприклад, зв'язуючись із молекулою гормону); 3) фермента.

Найважливіша функція клітинної мембрани – *транспортна*. Клітини володіють досконалою і високоспецифічною системою транспорту речовин, яка забезпечує проникнення певних типів молекул крізь мембрану. Деякі мембранні транспортні системи функціонують просто як «ворота», дозволяючи розчиненим речовинам проникати крізь мембрану в будь-якому напрямку, але завжди в напрямку низької концентрації. Це, так зване, пасивне перенесення. Однак найважливіше значення для клітини має активне перенесення, тобто переміщення речовини в напрямку вищої концентрації.

Такі системи активного перенесення діють строго направлено, тобто тільки в одному напрямку – або в клітину, або з клітини.

У деяких клітин поглинання речовин відбувається також шляхом фагоцитозу і піноцитозу. При фагоцитозі зовнішня мембрана утворює заглиблення, куди потрапляє захоплювана тверда частинка. Заглиблення поступово збільшується і частинка занурюється всередину клітини. Явище фагоцитозу властиве зокрема лейкоцитам. Аналогічним чином відбувається поглинання клітинами рідин. Це явище має назву піноцитозу (від грецьк. піно – п'ю).

Клітинна мембрана забезпечує також зв'язок між клітинами, тобто різні типи міжклітинних контактів. На поверхні мембрани містяться спеціальні білкові утворення, які здатні сприймати хімічні, електричні та інші подразнення. Їх називають рецепторами.

Із зовнішньою мембраною пов'язана ендоплазматична сітка. Для багатьох типів клітин властива наявність на їх поверхні великої кількості виступів, складок, мікрворсинок. Вони збільшують площу поверхні, прискорюють обмін речовин та роблять міцнішими зв'язки окремих клітин між собою.

Зовнішні мембрани різних клітин суттєво відрізняються як за хімічним складом своїх ліпідів і білків, так і за відносним їх вмістом. Саме ці особливості визначають фізіологічну активність і неповторність клітин різних організмів, або клітин, що належать до різних органів або видів тканин всередині одного організму.

Розмноження клітин. Однією з визначальних характеристик живого є його здатність до самовідтворення. В основі цього процесу лежить явище поділу клітини. Для одноклітинних організмів це означає відтворення нових особин, що забезпечує спадкоємність і неперервність життя. У багатоклітинних організмів окрім цього, поділ клітин забезпечує реалізацію таких важливих функцій як ріст, а також заміщення відмерлих та пошкоджених клітин.

Клітини розмножуються шляхом поділу. Розрізняють два основні види поділу: мітоз, або непрямий поділ ядра і амітоз, або прямий поділ. Поділ статевих клітин здійснюється за допомогою окремого процесу, який отримав назву мейозу.

Мітоз – складний поділ ядра, в результаті якого утворюються два дочірні ядра з наборами хромосом ідентичними батьківській клітині. Після поділу ядра відразу відбувається поділ цитоплазми і утворення двох дочірніх клітин. У процесі мітозу розрізняють чотири послідовні фази – профазу, метафазу, анафазу і телофазу кожна з яких без різкої межі змінює одна одну. У процесі мітозу в ядрі і цитоплазмі клітини відбувається ряд послідовних змін.

В період між двома клітинними поділами ядро перебуває в інтерфазі, в якій відбуваються найважливіші біосинтетичні процеси, що готують клітину до поділу: подвоєння центріолей, синтез білків майбутнього веретена поділу, синтез високоенергетичних сполук (в основному АТФ), подвоєння ДНК кожної хромосоми з утворенням двох подвійних полінуклеотидних ланцюгів ДНК (хроматид), що розташовуються поряд і з'єднані між собою спеціальною ділянкою – центромерою.

Значення мітозу: а) забезпечення генетичної стабільності. Утворені в результаті мітозу дочірні клітини генетично ідентичні батьківській клітині. Ніяких змін в генетичну інформацію мітоз не вносить;

б) забезпечення росту. В результаті мітозів число клітин в організмі зростає;

в) забезпечення нестатевого розмноження, регенерації і заміщення клітин. Багато видів тварин і рослин розмножуються нестатевим шляхом за допомогою лише мітотичного поділу клітин. Окрім цього, мітоз забезпечує регенерацію втрачених частин тіла (наприклад, ніг у ракоподібних) і заміщення клітин, яке відбувається в більшій або меншій мірі у всіх багатоклітинних організмів.

Швидкість розмноження різних клітин людського тіла відрізняється. Найінтенсивніше йде поділ клітин крові, шкіри, слизової оболонки дихальних шляхів, шлунка, кишечника. Однак в організмі людини є клітини, які нездатні до поділу. Це, наприклад, нервові клітини або клітини серцевого м'яза. Якщо в силу різних причин відбувається їх загибель, то цей процес має незворотній характер. Старіння клітин супроводжується зниженням активності обмінних процесів.

Амітоз – здійснюється шляхом перешнурування ядра, утворенням ядерної перегородки, фрагментацією, пупкуванням тощо. На відміну від мітозу, при амітозі ядерна оболонка і ядерця не руйнуються, веретено поділу клітини не утворюється, хромосоми залишаються у робочому стані (деспіралізовані). Поділ клітини, як правило, не відбувається, тому амітоз призводить до утворення дво- або багатоядерних клітин. Цей вид поділу зустрічається доволі рідко у найпростіших, рослинних і тваринних клітинах.

Мейоз – форма поділу ядра, що супроводжується зменшенням числа хромосом з диплоїдного ($2n$) до гаплоїдного (n). При цьому в батьківській клітині відбувається одноразове подвоєння хромосом (реплікація ДНК, як при мітозі), за яким настають два цикли клітинних і ядерних поділів (перший поділ мейозу і другий поділ мейозу). Таким чином, одна диплоїдна клітина дає початок чотирьом гаплоїдним клітинам.

Мейоз відбувається при утворенні сперматозоїдів та яйцеклітин у тварин і при утворенні спор у більшості рослин. Подібно до мітозу, мейоз – процес безперервний, але його також можна поділити на профазу, метафазу, анафазу і телофазу. Всі ці стадії відбуваються і при першому, і при другому поділі мейозу.

Значення мейозу: а) в організмів, які розмножуються статевим способом, в результаті утворюються чотири дочірні клітини, кожна з яких містить гаплоїдний набір хромосом. Якби не було мейозу, то гамети містили б диплоїдний набір хромосом, а в зиготі кожного наступного покоління

число хромосом збільшувалося б удвічі. Таким чином, мейоз забезпечує сталість числа хромосом в усіх поколіннях організмів;

б) мейоз створює можливості для виникнення в гаметах нових генних комбінацій. Це забезпечується наступними механізмами: зменшенням числа хромосом від диплоїдного до гаплоїдного супроводжується поділом алелей, так що кожна гамета містить тільки один алель з даного локуса; розташування хроматид в екваторіальній частині клітини в метафазі I і хромосом в метафазі II є випадковим. Наступний їх поділ в анафазах I і II відповідно, створює нові комбінації алелей в гаметах. Цей процес називається незалежним розподілом і призводить до випадкового розподілу материнський і батьківських хромосом між ядрами дочірніх клітин;

в) в результаті утворення хіазм між гомологічними хромосомами в профазі I, часто відбувається кросинговер, який спричиняє виникнення нових комбінацій алелей в хромосомах статевих клітин.

У тварин і рослин процеси мейотичного поділу дещо відрізняються. Окрім цього, мейоз має свої особливості в залежності від статі.

Чоловіча стать. У тварин розділення клітин відбувається в кінці як першого, так і другого поділів мейозу. Дочірні клітини відразу втрачають зв'язок одна з одною і стають незалежними. Всі чотири клітини виживають і перетворюються в спермії.

У рослин відбувається формування клітинних стінок і дочірні клітини залишаються зв'язаними, утворюючи в кінці першого поділу мейозу діаду, а в кінці другого – тетраду. Всі продукти мейозу виживають і перетворюються в пилкові зерна.

Жіноча стать. Як у рослин, так і у тварин з чотирьох клітин виживає тільки одна, яка утворює ядро яйцеклітини. У тварин перший поділ мейозу асиметричний – він приводить до утворення ооциту другого порядку і полярного тільця. Другий поділ мейозу також асиметричний: ооцит другого порядку ділиться на яйцеклітину і друге полярне тільце (перше полярне тільце також може ділитися на два, але всі полярні тільця дегенерують).

Таким чином в результаті мейозу утворюється тільки один функціональний ооцит.

У рослин мейоз приводить до утворення чотирьох ядер, які знаходяться в зародковому мішку. Три з них дегенерують, а четверте започатковує ядра зародкового мішка і ядро яйцеклітини.

Біосинтез білка.

Після того, як було встановлено, що ДНК кодує синтез білкових молекул, стало зрозуміло, що послідовність основ в нуклеотидах ДНК повинна визначати амінокислотну послідовність білків. Ця відповідність між основами і амінокислотами отримала назву генетичного коду.

Молекула ДНК побудована з нуклеотидів чотирьох типів, до складу яких входять чотири різні основи: аденін (А), гуанін (Г), тимін (Т) і цитозин (Ц). За допомогою цього чотирибуквеного алфавіту записані інструкції для синтезу потенційно нескінченної кількості білкових молекул.

Якщо б одна основа визначала положення однієї амінокислоти в первинній структурі білка, то цей білок містив би тільки чотири амінокислоти. Якщо б кожна амінокислота кодувалася двома основами, то за допомогою такого коду можна було б зашифрувати 16 амінокислот $4^2 = 16$. Тільки код, який складався би з трьох основ (триплетів) міг би забезпечити включення в білкові молекули всіх 20 амінокислот. Такий код містить 64 варіанти різних триплетів $4^3 = 64$.

На сьогоднішній день генетичний код з'ясований повністю. Деякі амінокислоти кодуються лише одним триплетом, деякі – двома. Існують амінокислоти, що кодуються трьома, чотирма і навіть шістьма триплетами. Триплети УАА, УАГ і УГА виконують функцію розділових знаків і не несуть генетичної інформації. Вони відділяють інформаційні ділянки одну від одної, є стоп кодонами. Деякі кодони є «стартовими», «ініціюючими» сигналами і означають початок поліпептидного ланцюга. «Зчитування» генетичного коду відбувається в одному напрямку в межах певного гена, починаючи з певного, строго фіксованого нуклеотиду.

Головними рисами генетичного коду є наступні:

- 1) кодом, який визначає включення амінокислот в поліпептидний ланцюг є триплет в ланцюгу ДНК;
- 2) генетичний код є *універсальним*: одні й ті ж триплети кодують ті самі амінокислоти у всіх організмів;
- 3) генетичний код є *виродженим*: кількість амінокислот є менша за кількість триплетів;
- 4) генетичний код *не перекривається*;
- 5) генетичний код є *колінеарний*: це означає лінійну відповідність амінокислот у білку і триплетів, які їх кодують, у відповідній ділянці нуклеїнової кислоти;
- б) генетичний код є *однозначний*: кожен триплет кодує лише одну певну амінокислоту.

Єдиним видом біологічних молекул, які синтезуються під безпосереднім контролем генетичного матеріала клітини є білки. «Інструкції» необхідні для здійснення цього процесу знаходяться в ДНК, яка практично повністю зосереджена в ядрі. Процес синтезу білка відбувається в цитоплазмі клітини за участі рибосом. Коли ці факти були з'ясовані, стало зрозуміло, що повинен існувати механізм перенесення генетичної інформації з ядра в цитоплазму. В 1961 р. була висунута гіпотеза про існування особливої форми РНК, яка виконує роль посередника в процесі біосинтезу білка. Згодом цього посередника було ідентифіковано. Ним виявилась матрична або інформаційна рибонуклеїнова кислота.

Подальші дослідження показали, що рибонуклеїнові кислоти містяться у всіх живих клітинах у вигляді одноланцюгових молекул. Вони відрізняються від ДНК тим, що замість дезоксирибози містять рибозу (що, зрештою, відображено у їх назві) і в якості однієї з піримідинових основ – урацил (замість тиміна).

В усіх клітинах тварин, рослин та бактерій виявлено три типи РНК, що беруть участь в процесі синтезу білкових молекул. Це згадувана вже

матрична або інформаційна РНК, транспортна РНК і рибосомна РНК. Всі три типи РНК синтезуються в ядрах клітин безпосередньо на ДНК, яка слугує матрицею цього процесу. Деякі види РНК синтезуються в мітохондріях.

Матрична (або інформаційна) РНК (мРНК, іРНК) складає 3 – 5% від всієї кількості РНК клітини. Може бути різної довжини в залежності від розмірів молекули білка, який вона кодує. Найкоротша молекула мРНК складається приблизно з 300 нуклеотидів. Час існування в клітині – від декількох хвилин до декількох днів. Вона виконує функцію транспортування від ДНК до рибосом генетичної інформації, закодованої у вигляді послідовності нуклеотидів. Ця інформація «зчитується» на рибосомах і трансформується у амінокислотну послідовність білкової молекули.

Рибосомна РНК (рРНК) складає більше 80% всієї РНК клітини. Послідовність основ рРНК подібна у всіх організмів – від бактерій до вищих рослин і тварин. рРНК міститься в цитоплазмі, де вона зв'язана з білковими молекулами, утворюючи разом з ними рибосоми. Саме на рибосомах і відбувається процес синтезу білка.

Транспортна РНК (тРНК) складає приблизно 15% всієї РНК клітини. Для кожної амінокислоти існує своя специфічна тРНК, але оскільки деякі амінокислоти кодуються більше, ніж одним триплетом, то і число різних тРНК перевищує 20 (їх ідентифіковано близько 60). тРНК сама маленька з усіх видів РНК, вона складається в середньому з 80 нуклеотидів. Функція тРНК – зв'язувати специфічну амінокислоту і доставляти її з цитоплазми до місця синтезу білка (до рибосом). Молекула кожної тРНК має два особливі триплети: один, по якому йде приєднання амінокислоти, а другий – антикодон, яким вона за принципом компліментарності з'єднується з триплетом на мРНК, кодуєючи одну амінокислоту.

Процес біосинтезу білка складається з двох основних етапів, які отримали назву транскрипції і трансляції.

Транскрипція. Транскрипцією називається механізм за допомогою якого послідовність основ одного з ланцюгів ДНК «переписується» в

комплементарну їй послідовність основ мРНК. При цьому відбувається розкручування подвійної спіралі ДНК на певній ділянці і вивільнення одинарних ланцюгів. Молекула мРНК утворюється в результаті зв'язування один з одним вільних рибонуклеотидів за правилом спаровування основ ДНК та РНК. Процес транскрипції відбувається в ядрі клітини.

Таблиця 1.1

Комплементарність між основами ДНК та РНК

Основи ДНК	Основи РНК
А (аденін)	У (урацил)
Г (гуанін)	Ц (цитозин)
Т (тимін)	А (аденін)
Ц (цитозин)	Г (гуанін)

Синтезовані молекули мРНК, що несуть генетичну інформацію, виходять з ядра через ядерні пори і прямують до рибосом. Після того, як утворилась достатня кількість молекул мРНК, транскрипція припиняється і два ланцюги ДНК на цій ділянці знову з'єднуються, відновлюючи подвійну спіраль.

Трансляція. Трансляцією називають механізм за допомогою якого послідовність триплетів основ в молекулах мРНК переводиться в специфічну послідовність амінокислот в поліпептидному ланцюгу молекули білка. Цей процес відбувається в цитоплазмі клітини на рибосомах. Декілька рибосом можуть прикріплюватися до молекули мРНК подібно до намистин на нитці і утворювати структуру, яка називається полісомою.

Вважають, що мРНК прикріплюється до малої субодиниці рибосоми, при цьому два її перших кодони розвертаються в бік великої субодиниці рибосоми. Перший кодон зв'язує молекулу тРНК, яка містить комплементарний йому антикодон і несе першу амінокислоту. Потім другий кодон зв'язує наступну молекулу тРНК з амінокислотою і процес продовжується.

Функція рибосоми – втримання в потрібному положенні мРНК, тРНК та інших факторів, які беруть участь в процесі трансляції до того моменту,

доки між сусідніми амінокислотами не утвориться пептидний зв'язок. Як тільки нова амінокислота приєднається до поліпептидного ланцюга, що росте, рибосома переміщується по нитці мРНК, щоб поставити в потрібне місце новий кодон. Молекула тРНК, яка звільнилася від амінокислоти, залишає рибосому і повертається в цитоплазму, щоб утворити комплекс з новою амінокислотою.

Таке послідовне «зчитування» рибосомою «тексту» мРНК триває доти, доки процес не доходить до одного зі стоп-кодонів. На цьому процес трансляції завершується і поліпептидний ланцюг синтезованої молекули білка залишає рибосому. Швидкість сполучення амінокислот між собою сягає 20 – 50 за секунду, а тому синтез молекули білка, що складається зі 150 амінокислот триває всього 3 – 5 секунд.

Таким чином, головними етапами процесу трансляції є:

- а) приєднання мРНК до рибосоми;
- б) активація амінокислоти і її приєднання до специфічної молекули тРНК;
- в) ініціація (початок синтезу) поліпептидного ланцюга білкової молекули;
- г) ріст поліпептидного ланцюга;
- д) завершення синтезу поліпептидного ланцюга з утворенням молекули білка.

Значення вивчення каріотипу для діагностування і профілактики спадкових хвороб людини. В процесі мейозу можуть виникати різноманітні порушення, в результаті чого хромосоми можуть зазнавати різноманітних структурних змін або змінюватися їх кількість. До таких порушень належать: делеція (втрата окремих фрагментів хромосом), транслокація (перенесення ділянки однієї хромосоми на іншу), трисомія (поява зайвої хромосоми в каріотипі), моносомія (втрата однієї з пари гомологічних хромосом), поліплоїдія (кратне збільшення кількості хромосом).

Подібні зміни, як правило, супроводжуються порушеннями розвитку різної важкості. Наприклад, нерозходження 21-ої пари хромосом супроводжується утворенням яйцеклітини, що містить 24 хромосоми. Якщо таку яйцеклітину запліднить нормальний сперматозоїд, то в зиготі буде 47 хромосом. Народжена в результаті розвитку такої зиготи дитина буде страждати на синдром Дауна.

Зайва хромосома у 13 – 15 парі викликає такі важкі каліцтва, як заяча губа, вовча паща, відсутність очей, зайві пальці (полідактилія). Летальними (смертельними) для людини є тетраплоїдні і триплоїдні набори хромосом.

Для діагностики названих патологій застосовують цитогенетичний метод вивчення спадковості людини. Даний метод передбачає вивчення каріотипу плоду, а також визначення Х- та Y-статевого хроматину. З цією метою методом мікроскопії досліджують клітини навколоплідної рідини. Провести такі дослідження можна в медико-генетичних консультаціях.

Профілактика спадкових захворювань охоплює широкий комплекс заходів головними серед яких є охорона генетичного фонду людини (запобігання впливу на генетичний апарат різноманітних мутагенних чинників) та культурно-просвітницька робота серед населення. Важливе місце у цій роботі належить медико-генетичним консультаціям. Генетичне консультування необхідне: 1) сім'ям, які мають хвору дитину, з метою визначення генетичного ризику для наступної дитини, а також визначення ймовірності появи спадкових захворювань у братів і сестер; 2) особам, котрі вступають у шлюб, якщо їх непокоять певні аспекти власного спадкового здоров'я, або здоров'я членів їхніх сімей; 3) при усиновленні чи удочерінні та в інших випадках.

Тема 2. Цитоплазма та її компоненти

Цитоплазма – основна за об'ємом частина клітини. Це напіврідка, дрібнозерниста речовина колоїдної структури, що знаходиться під клітинною оболонкою і складається цитозоля та включень – нерозчинних продуктів

обміну речовин клітини. До включень відносять краплі жирів (наприклад у підшкірній клітковині), грудочки глікогену (у печінці чи скелетних м'язах), що відклалися в клітині про запас, гранули пігментів.

Цитозоль поділяють на гіалоплазму, екзоплазму та ендоплазму. Гіалоплазма – це основна речовина цитоплазми до складу якої входять білки, жири, вуглеводи, вода та інші органічні та неорганічні речовини, а також дрібненькі трубочки і нитки, які утворюють скелет клітини. Екзоплазмою називають зовнішній щільний шар цитоплазми, що прилягає до оболонки клітини. Ендоплазма – це частина цитоплазми, що розташована навколо ядра.

Крім основної речовини, в цитоплазмі розташовуються загальні та спеціальні органели. Органели клітини виконують різноманітні важливі для кожної клітини функції і бувають двох типів: оточені мембраною і не мембранні (які не містять мембрани). В свою чергу, органели, що містять мембрану, поділяються на одномембранні (напр. ендоплазматична сітка, апарат Гольджі, лізосоми, вакуолі) та двомембранні (напр. мітохондрії, пластиди).

Органели – це постійно діючі структурні елементи клітини, кожна з яких виконує певну функцію: мітохондрії (енергетичні підстанції клітини), ендоплазматична сітка з рибосомами, які беруть участь у синтезі білків, апарат Гольджі (виробляє секрет у вигляді ферментів, гормонів), лізосоми (перетравлюють непотрібні для клітини речовини), центросома (відіграє важливу роль у процесі поділу клітини).

Розглянемо будову та функції загальних клітинних органел.

Ендоплазматична сітка (ретікулум) – це складна система мембран, які часто розташовуються паралельно одна до одної і пронизують всю цитоплазму клітини. Ці мембрани мають ліпідно-білкову будову і за структурою подібні до зовнішньої клітинної мембрани. Вони утворюють в цитоплазмі розгалужену взаємопов'язану систему каналів, щілин і міхурців, яка з'єднує різні частини клітини.

Ендоплазматична сітка буває двох типів – гладенька і гранульована. На мембранах гранульованої сітки розташовано багато рибосом, а на мембранах гладенької їх немає. Ендоплазматична сітка збільшує внутрішню поверхню клітини, бере активну участь у процесах біосинтезу. При цьому білки синтезуються гранульованою сіткою, а вуглеводи і жири – гладенькою. Цей органоїд також транспортує хімічні речовини в різні частини клітини і за потреби зберігає їх певний час (зокрема тут депонується кальцій).

Рибосоми – дрібні утворення сферичної форми. Складаються з рибонуклеїнової кислоти і білка. Кожна рибосома має дві нерівні субодиниці – велику і малу. Мала рибосомна одиниця має активну ділянку для приєднання матричної (інформаційної) РНК і транспортної РНК, а велика – для синтезу поліпептидного ланцюга. Частина рибосом сполучена з мембранами ендоплазматичної сітки (гранульованої). Рибосоми в клітині містяться також всередині ядра і мітохондрій.

Основна функція рибосом – синтез білка. Цей процес здійснюється в місці дотику двох її субодиниць і докладно розглядався в попередній темі.

Мітохондрії – органоїди клітини у вигляді паличок, зерен або ниток. Кількість мітохондрій в клітинах різна – від декількох до тисяч, але більш-менш постійна для даного типу клітин. Мітохондрії можуть переміщуватися по цитоплазмі деяких клітин утворюючи скупчення. Як правило, вони локалізуються поблизу структур, які потребують енергії, або поблизу джерел клітинного «палива», якого потребують самі мітохондрії.

Мітохондрії розмножуються в цитоплазмі шляхом ділення, а також можуть утворюватися з мембран ендоплазматичної сітки. Ці органоїди вкриті подвійною мембраною – зовнішньою (гладенькою) і внутрішньою (від неї всередину відходять відростки – кристи, які збільшують внутрішню поверхню). Саме на кристах розміщуються ферментні системи, які беруть участь у процесі дихання і синтезі АТФ. Внутрішня порожнина мітохондрій заповнена напіврідкою речовиною – матриксом, де знаходяться рибосоми, РНК, ДНК, білки.

Функція мітохондрій в клітині полягає у розщепленні органічних сполук. Енергія, яка виділяється при цьому, запасається у формі АТФ. Таким чином, мітохондрії – це акумулятори енергії клітини, її силові підстанції. Синтезована в мітохондріях АТФ виходить у цитоплазму, де і використовується за потреби. Крім АТФ в мітохондріях синтезуються власні білки, РНК і ДНК.

Комплекс Гольджі або *внутрішній сітчастий апарат* має вигляд сітки або зігнутих паличкоподібних тілець, які розташовані навколо ядра. На кінцях цих утворень містяться різного розміру міхурці. Основними функціями комплексу Гольджі є транспортна і депонуюча. Речовини, які синтезуються всередині клітини, транспортуються по каналах ендоплазматичної сітки і нагромаджуються в міхурцях комплексу Гольджі. Звідси вони або виводяться за межі клітини, або використовуються у процесі життєдіяльності клітини. Комплекс Гольджі бере активну участь в побудові плазматичної мембрани і мембран лізосом.

Лізосоми (від грецьк. лізис – розчинення) – дрібні міхурці вкриті щільною одинарною мембраною. Вони містять ферменти, які здатні розщеплювати білки, жири і вуглеводи. Функція лізосом полягає у перетравлюванні речовин, які потрапили в клітину при фаго- або піноцитозі, а також руйнуванні окремих органодів клітини, або й цілих клітин при їх відмиранні.

Центріолі. Поблизу центра клітини розташовуються два циліндри, кожен з яких утворений дев'ятьма парами порожнистих трубочок. Центріолі відіграють важливу роль у поділі клітини, зокрема визначають орієнтацію веретена поділу, а також відповідають за рівномірний розподіл хромосом між дочірніми клітинами.

Цитоскелет – внутрішній каркас клітини, який складається з двох основних структур – філаментів і порожнистих мікротрубочок. Філаменти є опорою усіх клітин, допомагають зберігати форму клітини та подекуди зв'язані з плазматичною мембраною. Порожністі мікротрубочки

забезпечують проходження різноманітних речовин через цитоплазму клітини.

Клітини рослин окрім названих вище органел, містять ще пластиди і вакуолі.

Пластиди належать до мембранних компонентів клітини і оточені подвійною мембраною. Як і мітохондрії, пластиди мають власні ДНК, РНК і рибосоми. Залежно від розташування в рослині можуть формуватися різні типи пластид. У рослинних клітинах є пластиди трьох типів: хлоропласти – зелені фотосинтезуючі пластиди; лейкопласти – безбарвні пластиди, що не містять пігментів. Вони пристосовані до зберігання поживних речовин і тому їх особливо багато у запасуючих органах (корінні, насінні); хромопласти – нефотосинтезуючі забарвлені пластиди, які містять переважно червоні, жовтогарячі та жовті пігменти (каротиноїди). Найбільше хромопластів у плодах (помідори, червоний перець) та у квітках. Найпоширенішими є хлоропласти, в яких відбувається фотосинтез. Світлові реакції фотосинтезу пов'язані з системою внутрішніх мембран хлоропласта. Саме вони містять зелений пігмент хлорофіл.

Вакуолі представляють собою одномембранні порожнини у протоплазмі рослинних і деяких тваринних клітин, заповнені клітинним соком. У рослин вакуолі утворюються в процесі росту клітин. Дрібні і численні вакуолі поступово збільшуючись зливаються одна з одною, утворюючи одну велику вакуолю, що займає майже всю клітину. Речовини клітинного соку, що заповнює вакуолю, сприяють живленню рослин і створюють напружений стан (тургор) у клітинах і тканинах.

Будова і функції ядра. Хромосоми. Поняття про еукаріоти і прокаріоти.

Ядро. Це найважливіша та найбільша за розмірами частина клітини, центр керування її життєвими процесами. Ядро перебуває у постійній взаємодії з цитоплазмою і регулює такі процеси як обмін речовин в клітині, її поділ, рух, розмноження, регенерація та інші.

Ядро клітини, яка не перебуває у процесі поділу, вкрите двомембранною оболонкою (каріотека). Між зовнішньою і внутрішньою ядерними мембранами знаходиться цистерна каріотеки. Подекуди зовнішня і внутрішня ядерні мембрани стикаються і утворюють ядерні пори, через які здійснюється обмін речовин між каріоплазмою і цитоплазмою. Зовнішня мембрана ядра часто переходить у мембрани ендоплазматичної сітки і простір між двома ядерними мембранами сполучається з її каналом.

Порожнина ядра заповнена ядерним соком – каріоплазмою. Тут знаходяться 1 – 2 ядерця і особлива речовина – хроматин, яка складається з ДНК, РНК і білків.

Окрім керівництва процесами життєдіяльності ядро виконує в клітині ще одну дуже важливу функцію: в ядрі зберігається основна маса спадкової (генетичної) інформації клітини у вигляді нуклеїнових кислот. Молекули нуклеїнових кислот зібрані в надмолекулярні утворення – хромосоми. Ядро кожної людської клітини (окрім статевих) містить 46 хромосом, або 23 пари. При цьому одна хромосома в кожній парі – материнська, друга – батьківська.

Хромосома – це довга закручена у спіраль двониткова молекула ДНК. Окремими ділянками цієї нитки є гени – структури, що контролюють певні функції клітини, або зберігають інформацію про будову певного виду білка. Таким чином хромосома – це набір генів. При поділі клітини ядро забезпечує передачу цієї інформації дочірнім клітинам.

Ядерце містить велику кількість РНК і білків. Воно є місцем синтезу рибосомальної і транспортної РНК, ядерних білків і рибосом.

Існують також органели, властиві лише певним типам клітин. Це так звані спеціальні органели. До них відносять міофібрили, нейрофібрили, війки та ін.

Крім постійних структур у цитоплазмі клітини можна виявити тимчасові нагромадження білків, вуглеводів, жирів, пігментів тощо. Включення білків в нормі знаходять тільки в яйцеклітинах та клітинах зародка на ранніх стадіях розвитку. Вуглеводи накопичуються у клітинах у

формі полісахариду глікогену. Найчастіше його можна виявити в клітинах печінки (гепатоцитах) та м'язів (міоцитах). Включення жиру у вигляді крапель різної величини знаходять у всіх клітинах, оскільки він є запасним енергетичним матеріалом організму. Іноді жиру так багато, що він займає практично весь об'єм клітини. Це можна спостерігати в клітинах жирової тканини (ліпоцитах).

Не всі клітини містять у своєму складі ядро, як окрему структуру. За ознакою наявності або відсутності ядра, всі клітини поділяють на дві групи: еукаріоти і прокаріоти.

Еукаріоти (від грец. *eu* – добре, цілком і *каріон* – горіх, ядро) – це одноклітинні та багатоклітинні організми в клітинах яких є сформоване ядро. Переважна більшість рослинних і тваринних організмів, а також гриби, належать до еукаріот. В більшості клітин є одне ядро, рідше зустрічаються дво – і багатоядерні клітини. Наприклад, багатоядерними є клітини печінки і м'язів людини. Кількість ядер у клітини та форма ядра здебільшого залежить від форми, розмірів клітини та функцій, які дана клітина виконує в організмі. В кулястих клітинах ядро має округлу форму, у видовжених – ядро також видовжене. Трапляються випадки, коли в процесі дозрівання еукаріотичної клітини ядро у неї зникає (прикладом можуть служити дозрілі еритроцити людини, які не мають ядра).

Прокаріоти (від грец. *про* – попереду, раніше і *каріон* – горіх, ядро) організми у яких відсутнє ядро і ядерна мембрана. Замість нього у клітині міститься нуклеоїд. Це подібне до ядра утворення, що розташоване у цитоплазмі і не відділене від неї мембраною. Нуклеоїд складається з нуклеїнових кислот і білків. Таким чином, як у прокаріот, так і у еукаріот, зберігання, передача і реалізація генетичної інформації відбувається за допомогою молекул ДНК.

До прокаріот належать бактерії, синьозелені водорості, віруси та деякі інші примітивно організовані організми.

Тема 3. Клітина як цілісна система

Клітина – складна цілісна фізіологічна система, у якій відбуваються всі процеси, які притаманні живим організмам: обмін речовин та енергії, розмноження, рух, ріст, реалізуються відповіді на подразнення. Клітини можуть існувати як самостійні елементарні біологічні системи (найпростіші, бактерії), а також у складі багатоклітинних організмів (як його структурна і функціональна одиниця).

Термін «клітина» запровадив в 1665 р. англійський учений Р.Гук, а засновником учення про клітину як цілісну систему був відомий німецький учений Рудольф Вірхов. Основним складовими елементами більшості клітин є клітинна мембрана, цитоплазма, ядро та клітинні органели. Клітина може нормально функціонувати лише за наявності цих компонентів, які взаємодіють один з одним та з навколишнім середовищем. У багатоклітинних організмах взаємодія між клітинами, тканинами й органами забезпечується за допомогою системних регуляторних механізмів (зокрема, у людини і тварин за допомогою нейрогуморальної регуляції).

Хоча в загальному будова всіх клітин подібна, однак в залежності від виконуваних в організмі функцій, вони набули специфічних морфологічних особливостей. Форма й будова клітин, особливості обміну речовин, тривалість їхнього життя безпосередньо пов'язані з їхніми функціями. Наприклад, нервові клітини (нейрони) мають велику кількість відростків по яким передаються нервові імпульси, що надає їм зірчастої форми; м'язові клітини (міоцити) – мають видовжену веретеноподібну форму і здатні змінювати свою довжину в залежності від сили скорочення, бо містять велику кількість скоротних елементів; лейкоцити – клітини, що виконують в організмі захисну функцію, здатні до самостійного пересування і сплюснення своєї мембрани, проходячи крізь тонкі пори до джерела інфекції.

Обмін речовин та енергії. Клітина – жива самовідтворювальна система, яка підтримує та відновлює свою цілісність, забезпечує сталість свого внутрішнього середовища та пристосовується до змінних умов

навколишнього середовища. Вона живиться, тобто отримує поживні речовини ззовні та засвоює їх з метою одержання енергії та будівельного матеріалу для побудови та відновлення власних структур. Відпрацьовані рештки перетравлюються всередині клітини або виводяться назовні. Частина енергії виділяється в довкілля. Усі ці складні процеси постійно відбуваються в живій клітині і отримали назву метаболізму.

Метаболізм – це сукупність усіх хімічних реакцій які відбуваються в клітині, або в організмі в цілому. Умовно всі ці реакції можна розділити на обмін речовин (пластичний обмін) та обмін енергії (енергетичний обмін). Обидва види обміну в живих організмах тісно пов'язані і невіддільні один від одного.

В процесі життєдіяльності постійно відбуваються реакції розщеплення складних органічних речовин до простих (білків – до амінокислот, полісахаридів – до моносахаридів, жирів – до жирних кислот). Сукупність таких реакцій отримала назву *катаболізму*. Протилежний катаболізму процес називається *анаболізмом*. Це – синтез складних біологічних макромолекул з їх попередників. Катаболізм та анаболізм постійно відбуваються у всіх живих системах, забезпечуючи їх енергією та необхідними для життєдіяльності речовинами.

Під час розщеплення складних макромолекул на прості (катаболізм) відбувається вивільнення енергії, яка накопичується про запас в молекулах АТФ (аденозинтрифосфорної кислоти). Ця речовина виконує функції акумулювання і перенесення енергії в межах клітини. Накопичена в молекулах АТФ енергія використовується в процесах біосинтезу необхідних для клітини молекул (тобто в анаболічних процесах), які протікають з використанням енергії. Енергія АТФ використовується також і в інших процесах життєзабезпечення клітини, які її потребують (рух, розмноження).

Існує три головних способи, за допомогою яких клітина може отримувати енергію: гліколіз (бродиння), дихання і фотосинтез. В перших

двох випадках клітина розщеплює складні органічні речовини (глюкозу) і запасє енергію, яка при цьому виділяється.

Молекули складних органічних речовин володіють значним запасом енергії завдяки низькому ступеню окислення. Якщо проаналізувати з цієї точки зору молекулу глюкози ($C_6H_{12}O_6$), то можна побачити, що вона володіє значним запасом енергії, який можна отримати окисливши до кінця атоми вуглецю і водню, які входять до її складу. Наприклад, повністю окислений атом вуглецю може приєднати два атоми кисню (CO_2), а два атоми водню – один атом кисню (H_2O). Шляхом нескладних арифметичних підрахунків можна переконатися, що 6 атомів вуглецю і 12 атомів водню молекули глюкози при повному окисленні здатні приєднати 18 атомів кисню, тоді як в молекулі глюкози їх тільки 6.

Біологічне окислення, що відбувається в живих організмах, являє собою, по суті, горіння без вогню, або низькотемпературне горіння. Живі організми не можуть використовувати тепло в якості джерела енергії, оскільки за умови постійного тиску робота за рахунок тепла може здійснюватися тільки при його передачі від більш нагрітого тіла до менш нагрітого. Оскільки живі організми в переважній своїй більшості є ізотермічними (температура тіла у них є сталою, або коливається в дуже незначних межах), такий шлях для них є неможливим. Тому енергія, що виділяється при спалюванні органічних сполук всередині клітини, запасється у формі хімічної енергії фосфатних зв'язків спеціальної сполуки – аденозинтрифосфату (АТФ). Молекули АТФ, які зв'язали енергію, можуть переміщуватися по клітині у ті її ділянки, де в даний час необхідна енергія і віддавати її. Таким чином, АТФ – це рухливе джерело енергії.

Що стосується третього способу отримання енергії – фотосинтезу, то тут, використовуючи сонячне проміння як джерело енергії, клітина навпаки, синтезує складні органічні речовини і запасє енергію для своїх потреб. Розглянемо більш детально кожний з цих шляхів.

Гліколіз (від грец. глюкіс – солодкий та лізис – розпад) – ферментативний процес отримання клітиною енергії за рахунок перетворення вуглеводів, головним чином глюкози, без доступу молекулярного кисню. Гліколіз являє собою послідовність ферментативних реакцій розташованих в ряд, де продукт однієї реакції є субстратом для наступної. Цей спосіб отримання енергії іноді ще називають бродінням; він є філогенетично одним із найстаріших і доволі поширений в природі.

За допомогою гліколізу отримують енергію багато мікроорганізмів, а також клітини більшості вищих тварин. Кінцевим продуктом гліколізу можуть бути різні речовини, в залежності від виду організму та умов протікання цього процесу (це може бути молочна кислота, піровиноградна кислота, етиловий спирт). В аеробних умовах гліколітичним шляхом відбуваються початкові стадії перетворення глюкози до утворення піровиноградної кислоти, а далі настає інший процес – дихання, де використовується кисень.

Енергетична ефективність гліколізу невисока. В процесі гліколізу вивільняється лише невелика частина енергії, яку містить молекула глюкози: з одного моля глюкози утворюється лише 2 молі АТФ. Сумарне рівняння гліколізу має такий вигляд:

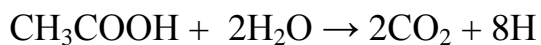


Тобто молекула глюкози розпадається на дві молекули молочної кислоти, а за допомогою енергії, яка при цьому виділяється, синтезується дві молекули АТФ. Із загальної кількості енергії (200 кДж) 120 кДж розсіюється у вигляді тепла і лише 80 кДж (близько 40%) акумулюється у формі АТФ.

Для організмів, які можуть існувати лише в безкисневому середовищі (анаероби), гліколіз є єдиним способом отримання енергії. У факультативних анаеробів (тобто організмів, які можуть існувати як без кисню, так і в його присутності) гліколіз є першою стадією перетворення цукрів. Завдяки гліколізу організми здатні отримувати енергію розщепляючи такі біополімери як глікоген і крохмаль. Як «пальне» для гліколізу окрім глюкози

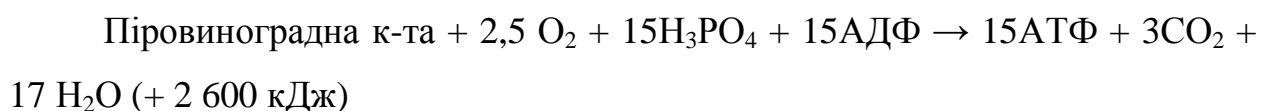
можуть бути використані інші гексози і пентози. За допомогою спеціальних ферментативних реакцій вони перетворюються на глюкозу, або на один із проміжних продуктів гліколізу.

Дихання (кисневе розщеплення) – це послідовний ряд ферментативних реакцій, за допомогою яких відбувається найбільш повне розщеплення поживних речовин і акумулювання вивільненої енергії. Дихання – це дуже складний процес, що складається з трьох стадій. На першій утворюється речовина, яка є спільною для всіх трьох видів обміну – вуглеводного, білкового та жирового (ацетил-КоА). На другій стадії ця речовина зазнає перетворень в послідовності реакцій замкнених в цикл (цикл Кребса). Таким чином, цикл Кребса є кінцевим етапом окислення для всіх видів клітинного палива в умовах доступу кисню. Перетворення, яких зазнає ацетил-КоА в циклі Кребса, можна зобразити у вигляді рівняння:



Як видно з рівняння, в результаті утворюється дві молекули вуглекислого газу і чотири пари атомів водню. На останній третій стадії, яка власне і називається диханням, електрони атомів водню переносяться по дихальному ланцюгу, що супроводжується виділенням великої кількості енергії. Ця енергія акумулюється у вигляді високоенергетичних зв'язків АТФ.

Якщо спробувати підсумувати всі три стадії процесу дихання у вигляді рівняння хімічної реакції, то отримаємо наступне:



Тобто молекула піровиноградної кислоти окислюється до трьох молекул вуглекислого газу і 17 молекул води. Обидві речовини є повністю окисленими. Це означає що жодного атому кисню вже неможливо приєднати ані до CO_2 , ані до H_2O . З приблизно 2 600 кДж енергії, яка утворюється в ході хімічних реакцій всіх трьох стадій процесу дихання, приблизно 1 000 кДж

запасається у 15 молекулах АТФ. Це означає, що енергетична ефективність дихання становить 38%.

За допомогою дихання отримують енергію клітини практично всіх живих організмів. Винятком тут є облигатні (обов'язкові) анаероби, які не здатні жити за присутності кисню. Процес дихання відбувається також і в клітинах рослинних організмів.

Співставлення безкисневого і кисневого шляхів катаболізму речовин в клітині з точки зору отримання енергії, свідчить про набагато вищу ефективність дихання. Не слід забувати, що під час гліколізу з однієї молекули глюкози утворюється дві молекули пірвіноградної кислоти. Тобто, якщо гліколітичне розщеплення однієї молекули глюкози на дві молекули пірвіноградної кислоти супроводжується виділенням 200 кДж енергії, то подальше окиснення цих двох молекул пірвату під час дихання дозволяє клітині отримати 5 200 кДж енергії. Правда, більшість з цієї кількості розсіюється у вигляді тепла, а коефіцієнт корисної дії (тобто відсоток накопичення виділеної енергії у вигляді високоенергетичних зв'язків молекули АТФ) для обох шляхів приблизно однаковий і становить 38 – 39%. Розрахунки показують, що безкисневе розщеплення однієї молекули глюкози дозволяє клітині накопичити 80 кДж енергії, а подальший катаболізм двох молекул пірвату в процесі дихання – 2 000 кДж.

Ще однією важливою відмінністю гліколізу і дихання є різна локалізація їх ферментативних реакцій в межах клітини. Реакції гліколізу відбуваються в цитоплазмі клітини, в той час як процес дихання зосереджений всередині мітохондрій.

Фотосинтез (від грец. фотос – світло і синтезіс – з'єднання, складання) утворення рослинними організмами органічних речовин за допомогою світлової енергії, що поглинається хлорофілом та іншими фотосинтетичними пігментами. В процесі фотосинтезу відбувається перетворення світлової енергії на енергію хімічних зв'язків органічних речовин. Завдяки процесу фотосинтезу на Землі утворюються органічні

речовини, які споживаються гетеротрофними організмами і роблять можливим їх існування. При фотосинтезі в атмосферу виділяється кисень, а поглинається вуглекислий газ.

Це складний процес, що має дві фази – світлову і темнову. Світлова фаза розпочинається з поглинання квантів (часточок) світла молекулою хлорофілу. Завдяки зеленому кольору хлорофіл поглинає, головним чином червоні і фіолетові промені сонячного спектра. Під впливом фотонів світла відбувається збудження молекули хлорофілу, причому рівні збудження можуть бути різними. Електрони атома магнію у молекулі хлорофілу переходять на більш високий енергетичний рівень, нагромаджуючи при цьому енергію. Частина з цих електронів відразу повертається на своє попереднє місце, а енергія, яка виділяється при цьому, випромінюється у вигляді тепла. Більша частина електронів з високим рівнем енергії передає її іншим хімічним сполукам для фотохімічної роботи, яка здійснюється в трьох головних напрямках.

1. Перетворення енергії електронів на енергію АТФ.
2. Фотоліз води: $\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}^+ + \text{OH}^-$

Іони H^+ , які утворюються при цьому, приєднують електрони багаті на енергію і перетворюються на молекулу водню. Цей водень буде використаний в подальших реакціях фотосинтезу. Гідроксильні іони OH^- взаємодіючи між собою, утворюють молекулярний кисень, воду і вільні електрони:



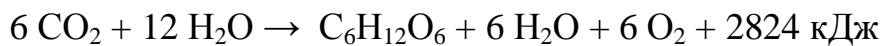
Кисень, що утворився в результаті цієї реакції, виділяється в атмосферу.

3. Використання енергії електронів для відновлення універсального транспортувальника водню – НАДФ. При поглинанні енергії НАДФ приєднує два атоми водню, що вивільнилися при фотолізі води і перетворюється на НАДФ • Н (відновлена форма). Таким чином, підсумком

світлової фази біосинтезу є збудження електронів хлорофілу, фотоліз води, утворення АТФ і відновлення НАДФ.

Після цього настає темнова фаза фотосинтезу, для якої світло не потрібне. За допомогою енергії АТФ, що утворилася на попередніх етапах, і за наявності вуглекислого газу, відбувається ряд ферментативних реакцій результатом яких є утворення різноманітних сполук, в тому числі глюкози.

Фотосинтез у вищих рослин відбувається у специфічних органелах клітини – хлоропластах, мембранна система яких представлена гранами. Підсумок процесу фотосинтезу можна зобразити у вигляді рівняння:



Джерелом кисню у процесі фотосинтезу є вода. Таким чином, внаслідок першої (світлової стадії) в атмосферу виділяється кисень, а в організмі накопичуються багаті на енергію сполуки (АТФ і НАДФ•Н). Підсумком темної стадії фотосинтезу є відновлення вуглекислого газу і утворення цілого ряду сполук, серед яких перше місце посідають вуглеводи.

Інтенсивність і продуктивність фотосинтезу залежить від умов вирощування рослин. За рахунок фотосинтезу утворюється до 95% біомаси рослин. Тому вивчення умов, які сприяють фотосинтезу має велике практичне значення, оскільки робить можливим збільшувати врожаї сільськогосподарських культур.

В залежності від того, в якій хімічній формі клітина отримує будівельний матеріал (вуглець), всі вони поділяють на дві великі групи – автотрофи і гетеротрофи.

Автотрофи (від грец. аутоc – сам, трофо – живитись, тобто ті, що самі себе живлять) – це клітини (або організми) які використовують в якості єдиного джерела вуглецю його двоокис. За допомогою енергії сонячного світла або енергії окисно-відновних реакцій, використовуючи двоокис вуглецю, ці організми синтезують всі необхідні їм складні органічні речовини.

Організми, які в якості джерела енергії використовуються сонячне світло, називаються фотосинтезуючими. До них належать всі зелені рослини. У другому випадку (якщо джерелом енергії є окисно-відновні реакції) говорять про хемосинтезуючих автотрофів. Це деякі види бактерій (нітрифікуючі, залізо- і сіркобактерії).

Гетеротрофи (від грец. гетерос – інший, трофо – живитись, тобто ті, що живляться за рахунок інших) – це клітини (або організми), які не здатні засвоювати двоокис вуглецю з атмосфери і потребують для свого існування надходження ззовні складних відновлених органічних сполук (наприклад, глюкози). До цієї групи живих організмів належать, наприклад, людина, вищі тварини, гриби, деякі рослини і більшість мікроорганізмів.

Органічні сполуки для гетеротрофів є одночасно і джерелом енергії і будівельним матеріалом. Якщо гетеротрофи отримують органічні речовини від інших живих організмів, то їх відносять до хижаків або паразитів; якщо вони використовують з цією метою мертві організми – до сапрофітів.

Слід зазначити, що не всі клітини, які належать одному організму є представниками одного класу. Наприклад, у вищих рослин зелені клітини (що містять хлорофіл) є автотрофами, які живуть за рахунок фотосинтезу, тоді як клітини кореня є гетеротрофами. Більше того, деякі клітини можуть в залежності від умов навколишнього середовища змінювати тип свого живлення. Наприклад, на світлі всі клітини зеленого листка ведуть себе як автотрофи, а коли настає темрява – як гетеротрофи.

Цитотехнології. Термін походить від грецьких слів «цитос» - порожнина (в даному випадку клітина), «техне» - мистецтво, майстерність, «логос» - слово, знання. Тобто, можна сказати, що це мистецтво використовувати клітини. Цитотехнології – відносно новий напрям біологічних досліджень та галузь використання досягнень цитології, молекулярної біології, генетики для вирішення практичних потреб людини. Цитотехнології передбачають використання цілого набору методів. Насамперед, це методи мікроскопії, метод виділення окремих клітин з

організму, метод їх культивуації на поживних середовищах, методи маніпуляції з окремими клітинними органелами з метою їх видалення, видозміни чи реконструкції.

Цитотехнології використовують як для проведення наукових досліджень, так і для виробничих потреб. У медицині вони знайшли застосування для діагностики деяких захворювань (зокрема ракових), та лікування (наприклад, застосування стовбурних клітин при лейкемії).

Практичні роботи до розділу II.

Контрольна робота до теми «Цитоплазма та її компоненти»

1. Які властивості клітини залежать від функціонування її мембран?
 - А) вибіркова проникність;
 - Б) поглинання і утримання води;
 - В) іонний обмін;
 - Г) відокремлення від навколишнього середовища;
 - Д) синтез білків;
 - Е) розмноження;

2. З яких молекул побудована клітинна мембрана?
 - А) ліпіди, білки;
 - Б) ліпіди, вуглеводи;
 - В) білки, вуглеводи;
 - Г) білки, вуглеводи, ліпіди;

3. Які органели цитоплазми оточені одинарною мембраною?
 - А) зовнішня клітинна мембрана;
 - Б) ендоплазматична сітка;
 - В) мітохондрії;
 - Г) пластиди;
 - Д) рибосоми;
 - Е) комплекс Гольджі;
 - Є) лізосоми;

4. Які органели цитоплазми оточені подвійною мембраною?

- А) зовнішня клітинна мембрана;
- Б) ендоплазматична сітка;
- В) мітохондрії;
- Г) пластиди;
- Д) рибосоми;
- Е) комплекс Гольджі;
- Є) лізосоми;

5. Які органели цитоплазми не мають мембрани?

- А) зовнішня клітинна мембрана;
- Б) ендоплазматична сітка;
- В) мітохондрії;
- Г) пластиди;
- Д) рибосоми;
- Е) комплекс Гольджі;
- Є) лізосоми;

6. Чим відокремлена цитоплазма клітини від оточуючого середовища?

- А) зовнішньою клітинною мембраною;
- Б) мембранами ендоплазматичної сітки;
- В) подвійною мембраною;
- Г) мембранами комплексу Гольджі;
- Д) зовнішньою ядерною мембраною;
- Е) мембранами цитоскелету

7. У яких клітин поверх зовнішньої клітинної мембрани знаходиться оболонка з целюлози?

- А) у всіх клітин;
- Б) клітин тварин;
- В) клітин рослин;
- Г) клітин мікроорганізмів;

Будова і функції рибосом

1. Яку будову мають рибосоми?

- А) одномембранну;
- Б) двомембранну;
- В) позбавлені мембран;

2. Зі скількох субодиниць утворена рибосома?

- А) одна;
- Б) дві;
- В) три;

3. Де утворюються субодиниці рибосом?

- А) в цитоплазмі;

- Б) в ядрі;
- В) у вакуолях;
- Г) в мітохондріях;

4. Які компоненти входять до складу рибосом?

- А) білки;
- Б) ліпіди;
- В) ДНК;
- Г) РНК;

5. В яких органелах клітини розташовуються рибосоми?

- А) в мітохондріях;
- Б) в пластидах;
- В) в ядрі;
- Г) в цитоплазмі;
- Д) у вакуолях;

6. Яку функцію виконують рибосоми в клітині?

- А) фотосинтезу;
- Б) синтез жирів;
- В) синтез білків;
- Г) транспорту поживних речовин;
- Д) розщеплення складних органічних речовин на простіші;

Будова і функції мітохондрій

1. Яку будову мають мітохондрії?

- А) одномембранну;
- Б) двомембранну;
- В) позбавлені мембран;

2. Як називаються внутрішні структури мітохондрій?

- А) кристи;
- Б) матрикс;
- В) ретикулум;
- Г) колоїд;
- Д) синцитій;

3. В якій частині мітохондрій відбувається окислення органічних речовин?

- А) кристи;
- Б) матрикс;
- В) ретикулум;
- Г) колоїд;
- Д) синцитій;

4. Чому мітохондрії називають енергетичними станціями клітини?

- А) тому що в мітохондріях відбувається розщеплення АТФ;
- Б) тому що в мітохондріях відбувається синтез складних органічних речовин;
- В) тому що в мітохондріях відбувається синтез АТФ;
- Г) тому що в мітохондріях відбувається розщеплення білків;

Ядро

1. В клітині яких організмів відсутнє ядро?
 - А) прокаріоти;
 - Б) еукаріоти;
 - В) метакаріоти;
 - Г) антикаріоти;

2. Якою є будова ядерної оболонки?
 - А) одномембранна;
 - Б) двомембранна;
 - В) суцільна;
 - Г) має пори;
 - Д) ядро не має оболонки;

3. Який структурний компонент ядра містить спадковий матеріал клітини?
 - А) оболонка ядра;
 - Б) хромосоми;
 - В) ядерний сік;
 - Г) ядерце;
 - Д) ядерні білки;

4. Скільки ядер містять клітини вищих організмів і людини?
 - А) одне;
 - Б) два;
 - В) жодного;
 - Г) це залежить від будови клітини, її розташування і виконуваних функцій;
 - Д) декілька;

5. Які функції виконує ядро в клітині?
 - А) зберігає і передає спадкову інформацію;
 - Б) керує процесом поділу клітини;
 - В) в ядрі відбувається процес біосинтезу білка;
 - Г) накопичує і зберігає енергію;
 - Д) зберігає і передає складні органічні речовини клітини;

6. З чого складаються хромосоми?
 - А) з білків;

- Б) з жирів;
- В) з вуглеводів;
- Г) з ДНК;
- Д) з білково-ліпідного комплексу.

Задача. Фрагмент молекули ДНК містить 880 аденілових нуклеотидів, що становить 44% загальної кількості. Визначте, скільки в даному фрагменті міститься гуанінових, цитидилових та тимідинових нуклеотидів, які розміри та маса даного фрагмента.

Розмір (довжина) одного нуклеотида становить 0,34 нм. Молекулярна маса одного нуклеотида в середньому становить 345 а.о.м.

Задача. Для роботи м'язів людини протягом 1 хв. необхідно 20 кДж енергії. Людина працювала з такою інтенсивністю протягом 1 години. Розрахуйте кількість глюкози, яку необхідно спожити людині, аби поновити витрачену під час роботи енергію.

Розпад 1 моля глюкози (180 г) супроводжується виділенням 1 500 кДж енергії. 60% енергії розсіюється у вигляді тепла, а 40% - запасється у формі АТФ.

Коефіцієнт засвоєння енергії в організмі людини в процесі всмоктування поживних речовин їжі – 90% (10% витрачається на підтримку процесів життєдіяльності та обміну речовин).

Розв'язок. Спочатку розрахуємо кількість енергії, яку витратила людина у процесі роботи:

$$20 \text{ кДж} \times 60 \text{ хв.} = 1\,200 \text{ кДж}$$

Отже, для компенсації енергетичних втрат у процесі роботи організм повинен запасти 1 200 кДж енергії. Визначимо величину енергетичної компенсації з врахуванням витрат на теплове випромінювання. Складаємо пропорцію:

$$\begin{aligned} 1\,200 \text{ кДж} & \text{ — } 40\% \\ X \text{ кДж} & \text{ — } 100\% \\ X & = 3\,000 \text{ кДж} \end{aligned}$$

До цієї величини слід додати витрати на підтримку процесів життєдіяльності та обміну речовин, або ще 10 % (333 кДж). Тобто в сумі в організм має надійти 3 333 кДж енергії. Визначимо, у якій кількості глюкози міститься така кількість енергії. Складаємо пропорцію:

$$\begin{array}{l} 180 \text{ г} \text{ — } 1\,500 \text{ кДж} \\ X \text{ г} \text{ — } 3\,333 \text{ кДж} \\ X = 399,96 \text{ г} \end{array}$$

Відповідь: аби поновити витрачену під час роботи енергію людині необхідно спожити 399,96 г глюкози.

Розділ III. Організмний рівень організації життя

Тема 1. Неклітинні форми життя

Основними формами життя на Землі є організми клітинної будови. Цей тип організації характерний для всіх видів живих істот за винятком вірусів, які розглядаються як неклітинні форми життя. В перекладі з латинської слово «вірус» означає отрута. До кінця XIX ст. цим терміном позначалися будь-які збудники інфекційних захворювань. Розрізнити віруси від бактерій почали після того, як російський дослідник Д.І.Івановський в 1892 р. відкрив здатність збудника мозаїчної хвороби тютюну проходити крізь спеціальні фільтри, які затримують бактерії. Він взяв сік від хворої рослини, пропустив його крізь фільтр, який затримує бактерії і наніс на здорову рослину тютюну. Після того, як рослина захворіла на мозаїчну хворобу, стало зрозуміло, що вчені мають справу з хвороботворним агентом, який відрізняється від бактерій. Згодом вчені відкрили вірусну природу цілого ряду інших захворювань. Зокрема в 1897 р. німецький вчений Ф.Лефлер з'ясував, що збудник ящура великої рогатої худоби також має вірусне походження. Першим захворюванням людини, для якого була доведена вірусна природа його збудника стала жовта лихоманка. В 1901 р. американський лікар У.Рід довів, що жовта лихоманка людей викликається вірусом.

Розміри вірусів настільки малі що їх можна бачити лише під електронним мікроскопом, де вони мають вигляд паличок, кульок, циліндрів або ниток. Величина вірусів змінюється в межах від 20 до 300 нанометрів ($1 \text{ нм} = 10^{-9} \text{ м}$). Майже всі віруси за своїми розмірами менші ніж бактерії, однак найбільші віруси (наприклад вірус коров'ячої віспи) мають такі ж розміри як найдрібніші бактерії (хламідії та рикетсії).

Окремий вірус складається з молекули нуклеїнової кислоти (ДНК або РНК), яка скручена у клубок і молекул білка, які формують оболонку навколо кислоти. Нуклеїнова кислота зумовлює специфічність вірусу, а білкова оболонка захищає його від несприятливих зовнішніх впливів. Деякі віруси містять не одну, а дві або декілька молекул нуклеїнової кислоти.

Нуклеїнова кислота вірусу є його генетичним матеріалом (геномом). Вірус може містити одну з двох видів нуклеїнових кислот (ДНК чи РНК), але ніколи не містить двох одночасно. Це відрізняє віруси від інших мікроскопічних живих об'єктів (наприклад хламідій або рикетсій), які містять одночасно і ДНК, і РНК. Кількість генів в геномі вірусів дуже відрізняється. Найдрібніші віруси містять три – чотири гени, а найбільші – до ста генів. До складу деяких вірусів входять також вуглеводи і жири.

Віруси не здатні самотійно синтезувати нуклеїнові кислоти і білки з яких вони складаються. З цією метою вони використовують органели та ферментні системи клітини-хазяїна, куди їм необхідно потрапити. Тому перший етап розмноження вірусу – це проникнення в клітину організму-господаря. Для цього вірус використовує спеціальні ферменти, що містяться на його поверхні. Вірус знаходить потрібну для розмноження клітину за допомогою спеціальних ділянок на своїй поверхні. Ці ділянки шукають специфічні рецептори на поверхні клітини за принципом «ключ-замок». Якщо на поверхні клітини відсутні рецептори, комплементарні за своєю будовою до ділянок оболонки вірусу, то така клітина не вражається вірусом. Вона не чутлива до вірусної інфекції даного виду і вірус в неї не проникає. Тому вірус певного виду вражає лише певні частини організму (шкіру, мозок, печінку).

Для того, щоб реалізувати свою генетичну інформацію, вірусна частинка повинна перебудувати процеси синтезу і обміну речовин в клітині таким чином, щоб клітина розпочала синтезувати нуклеїнові кислоти та білки вірусу. Ця властивість вірусів дозволяє зарахувати їх до обов'язкових паразитів. Якщо вірус містить ДНК, то остання переписується (транскрибується) в мРНК. Утворена мРНК переміщується до місця синтезу клітинного білка – рибосом, де заміщує мРНК клітини і запускає процес синтезу вірусних білків. Вірусна ДНК після цього багаторазово подвоюється (дуплікується) за участі ферментів вірусу і клітини-господаря.

Синтезований вірусний білок і розмножена вірусна ДНК об'єднуються і утворюють нові вірусні частинки. Це нове «потомство» інфікує нові клітини і цикл репродукції віруса повторюється в геометричній прогресії. Так розвивається вірусна інфекція. Клітини господаря виявляються або пошкодженими, або навіть повністю знищеними. Симптоми вірусного захворювання формуються внаслідок пошкодження вірусами великої кількості клітин господаря.

У деяких вірусів, які містять ДНК, остання може вбудовуватися в ДНК клітини-господаря. Тобто вірус по суті зникає. Його геном стає частиною генетичного апарату клітини і навіть реплікується під час поділу клітини. В такому стані «приспаної» вірусної інфекції організм може перебувати багато років. Внаслідок певних подій (ослаблення імунітету, важке захворювання, стрес) вірусна ДНК може активуватися, запустити процес синтезу вірусних білків і тоді хвороба виявить себе.

Віруси, які містять в якості генетичного матеріалу РНК (так звані ретровіруси), розмножують іншим, дещо несподіваним способом. Їх РНК транскрибується в ДНК, а остання вбудовується в ДНК клітини-господаря. На матриці такої вірусної ДНК синтезується нова вірусна РНК, яка і забезпечує синтез вірусних білків.

Класифікація вірусів. Для потреб практичної медицини необхідно було розробити класифікацію вірусів. Спроби створення такої класифікації здійснювалися неодноразово. На сьогодні застосовують класифікацію, яка враховує багато чинників: тип нуклеїнової кислоти, яку містить вірус, його форму, вид захворювання, який він викликає, органи, які вражаються. Деякі родини вірусів та захворювання, які вони викликають, наведені в таблиці. Патогенним для людини є більше десяти головних груп вірусів.

Таблиця 1.2 Класифікація вірусів та захворювання, які вони викликають

Родини вірусів	Тип і хвороби, які викликають віруси
Аденовіруси	Містять ДНК. Інфекції дихальних шляхів, мигдаликів, захворювання очей.
Паповавіруси	Містять ДНК. Бородавки на тілі, доброякісні пухлини

Герпесвіруси	Містять ДНК. Застудні захворювання, вітряна віспа, оперізуючий лишай.
Коронавіруси	Містять РНК. Застудні захворювання
Пікорна віруси	Містять РНК. Поліомієліт, вірусні гепатити, міокардити.
Ретровіруси	Містять РНК. СНІД, деякі типи лейкемій
Параміксовіруси	Містять РНК. Свинка (інфекційний паротит), кір, краснуха, інфекції дихальних шляхів
Арбовіруси	Містять РНК. Кліщовий та японський енцефаліт, жовта лихоманка, менінгоенцефаліт.

На сьогоднішній день вважається, що віруси утворилися в результаті відокремлення окремих елементів клітини, які містили генетичний матеріал, або навіть окремих молекул (рибосоми, мітохондрії, ядрце, інтрони, плазмиди, ДНК, матрична або транспортна РНК). Такі мобільні елементи, можливо, були попередниками або прабатьками сучасних вірусів. З часом, в процесі еволюції вони набули властивостей паразитів.

В 1935 р. американський біохімік У.Стенлі виділив вірус мозаїчної хвороби тютюну в кристалічній формі, довівши таким чином його молекулярну природу. Цей факт викликав бурхливі дискусії щодо природи вірусів: чи є вони живими організмами чи просто активними молекулами? Насправді віруси володіють тільки певними ознаками живого (наприклад складна внутрішня структура і характерний хімічний склад), натомість інші або відсутні взагалі (обмін речовин та енергії та пов'язані з ним явища саморегуляції та гомеостазу, здатність реагувати на зовнішні подразники, здатність рости і розвиватися), або виявляються лише за певних умов (розмноження).

Еволюція вірусних інфекцій. Хоча віруси не є повноцінними живими організмами, їх еволюція має багато спільного з розвитком інших патогенних організмів. Для того, щоб зберегтися як вид, жоден паразит не може бути дуже небезпечним для свого господаря. Інакше господар зникне як вид, а разом з ним і паразит. З іншого боку, жоден патогенний організм не зможе існувати, якщо у його господаря буде швидко і ефективно розвиватися проти нього імунітет. Тому вірус, який викликає важке захворювання у якого-

небудь виду живих організмів, як правило, має ще й інших господарів. Перебуваючи в їх організмі, розмножуючись і не викликаючи у них захворювання, вірус підтримує таким чином свою циркуляцію в природі. Так, наприклад, смертельний для багатьох видів вірус сказу в природі зберігається в популяції гризунів, не завдаючи їм шкоди.

Перебіг деяких вірусних інфекцій у людей залежить від рівня напруженості імунітету та віку. Наприклад, помічено, що в групах людей, які проживають в антисанітарних умовах, майже всі діти в ранньому дитинстві хворіють на поліомієліт, що протікає у них переважно в легкій формі. Якщо умови проживання в цих групах покращуються, то діти молодшого віку цією інфекцією переважно не хворіють. Захворювання може виникнути в старшому віці і тоді його перебіг є значно важчим.

Вважається, що деякі вірусні захворювання людина отримала від інших видів живих організмів в результаті еволюції збудника. Так, віспа людини могла з'явитися в результаті еволюції віспи корів або мишей. Вірус кору початково існував в популяції собак, як збудник лихоманки. Існують дані про генетичну спорідненість вірусу імунодефіциту людини (СНІД) та африканських мавп.

«Нові» інфекції, як правило, протікають у важкій формі з високим відсотком смертності. Поступово, з формуванням імунних реакцій господаря та мутаціями вірусу, їх перебіг стає легшим. Як приклад можна навести міксоматоз кроликів. В 1950 р. це захворювання було завезене з Південної Америки в Австралію. Місцеві кролики практично не хворіють на цю інфекцію, однак серед австралійських кролів смертність від нового вірусу в перші роки сягала 90%. Поступово цей відсоток став знижуватися і за декілька років досяг 50%.

Лікування та профілактика вірусних інфекцій. Розмноження вірусу в клітині пов'язане з використанням її структур, які відповідають за процеси синтезу білка та нуклеїнових кислот. Тому створення лікарських препаратів, які б вибірково діяли на вірус, не пошкоджуючи при цьому клітину, є дуже

складним завданням. Однак в деяких випадках це виявилось можливим. Наприклад, віруси герпесу та віспи виробляють ряд ферментів, які відрізняються від ферментів клітини. Це зробило можливим створення антивірусних препаратів. На сьогодні створено декілька препаратів, які вибірково пригнічують процес синтезу нуклеїнових кислот вірусів. Деякі з них є занадто токсичними для загального застосування, однак використовуються місцево (наприклад, для лікування очей від герпесної інфекції).

В організмі людини виробляються речовини, що виявляють неспецифічну антивірусну активність (інтерферон, лізоцим). Вони пригнічують процес трансляції нуклеїнових кислот вірусів і відповідно процес їх розмноження. За допомогою методів генетичної інженерії розроблено методику отримання інтерферону з бактерій, яким вживили ген, що кодує цей білок.

Найбільш дієвим способом боротьби з вірусною інфекцією є специфічні антитіла, які виробляються організмом проти конкретного збудника. Для того щоб ініціювати цей процес і запобігти захворюванню використовують метод вакцинації. При цьому в організм вводять ослаблену видозміну (штам) живого збудника, або вбитий вірус. Однак в першому випадку, якщо імунні властивості організму дуже ослаблені, існує небезпека виникнення захворювання. В даний час розроблена методика введення в організм уламків клітини збудника, що містять антигенні ділянки, які дозволяють виробляти проти нього специфічні антитіла.

У випадку гострого розвитку інфекції, що становить загрозу життю (наприклад сказ, кір, кліщовий енцефаліт), використовують метод пасивної імунізації. У цьому випадку в організм вводять вже готові антитіла, які отримують з крові інфікованих даним збудником тварин. Таким чином забезпечують негайний, дієвий але нетривалий імунітет.

Серйозною проблемою, яка дуже ускладнює лікування вірусних інфекцій є те, що антитіла не можуть діяти на збудник, що проник всередину

клітин організму. Наприклад, вірус герпеса може перебувати в клітинах нервових вузлів (гангліїв) і бути недосяжним для антитіл. Періодично вірус активується і викликає рецидиви захворювання.

Синдром набутого імунного дефіциту (СНІД). Це вірусне захворювання, що характеризується ураженням імунної системи організму і різноманітною клінічною картиною, для якої характерним є розвиток інфекційних і пухлинних процесів.

Збудник захворювання – вірус імунодефіциту людини (ВІЛ) належить до родини ретровірусів (РНК-вірусів). Вірус руйнує один із видів лейкоцитів, а саме лімфоцити, що, в результаті, спричиняє зниження активності імунітету. Смерть як правило настає протягом 10 років після інфікування.

ВІЛ передається під час статевих контактів, при переливанні крові, при пересадці органів і тканин. Існує висока ймовірність трансплацентарного зараження (внутріутробно від хворої матері до плоду). Вважається, що СНІД не передається при поцілунках.

У багатьох інфікованих людей протягом декількох років не виникає жодних симптомів СНІДу. Це так звані «безсимптомні носії». На подальших стадіях розвитку захворювання спостерігається: зменшення маси тіла, посилена пітливість вночі, гарячка (до 38 - 39°C), діарея. Зростає ризик розвитку інфекцій та деяких злоякісних пухлин. Стійка діарея є наслідком вторинної інфекції шлунково-кишкового тракту зумовленого паразитами. Часто розвиваються інфекційні захворювання легень (пневмонія). Дуже часто спостерігається саркома Капоші (на шкірі з'являються коричневі та сині плями і вузлики, які швидко поширюються по поверхні тіла. Можливе ураження внутрішніх органів.)

Особливу небезпеку представляють ВІЛ-інфіковані особи на початковому етапі захворювання, коли вони практично не відчують симптомів захворювання (нагадують симптоми звичайної застуди – лихоманка, слабкість, збільшення лімфатичних вузлів), однак така людина вже активно поширює вірус. На протязі перших тижнів після зараження вірус

неможливо виявити в крові жодними діагностичними тестами, бо імунна відповідь організму на вторгнення вірусу ще не сформувалася, але вірус вже активно розмножується в організмі. Великі кількості вірусу накопичуються у органах репродуктивної системи, тому при статевому контакті передача ВІЛ-інфекції відбувається практично миттєво (якщо немає презерватива).

Групами ризику є ін'єкційні наркомани, повії, хворі на туберкульоз. Засобами індивідуальної профілактики СНІДу є: регуляція свого статевого життя (моногамія); використання презервативів; дотримання загальноприйнятих санітарно-гігієнічних правил; використання у всіх випадках одноразових шприців; обережність при певних процедурах (манікюр, педикюр, татуювання).

Анонімне обстеження на ВІЛ-інфекцію можна пройти в кабінетах добровільного обстеження на СНІД практично у всіх шкірно-венерологічних диспансерах.

Інші неклітинні форми життя. До неклітинних форм життя поряд з вірусами належать бактеріофаги, віроїди і пріони. *Бактеріофаги* подібні до вірусів. Це віруси бактерій. Як і віруси, вони можуть розвиватися тільки всередині живих клітин. Бактеріофаги прикріплюють до стінки бактеріальної клітини, розчиняють її за допомогою своїх ферментів і вводять всередину клітини генетичний матеріал (як правило ДНК).

Віроїди менші за віруси і позбавлені білкової оболонки. Віроїди складаються з одониткової молекули РНК, що реплікується в заражених ними клітинах. Вони є збудниками багатьох захворювань рослин.

Пріони – це особливий клас інфекційних агентів, що викликають важкі захворювання центральної нервової системи у вищих тварин і людей (наприклад, хворобу Крейтцфельдта-Якоба, коров'ячий сказ, губчасту енцефалопатію). Це найдрібніші збудники інфекційних захворювань. Їх розмір всього декілька нанометрів, що в декілька разів менше, ніж самого маленького вірусу.

Пріони – це молекули білку, які містяться в організмі, і у яких змінена просторова структура. Пріони складаються тільки з білка і не містять нуклеїнових кислот, чим і відрізняються від вірусів, бактерій, віроїдів чи рикетсій. За первинною структурою (амінокислотна послідовність) пріонний білок не відрізняється від нормального. Однак зміна просторової структури змінює його властивості: білок перестає «працювати». Більше того, він ініціює аналогічні зміни у подібних йому білків (своєрідну ланцюгову реакцію). Ще однією неприємною новою властивістю пріонів є їх підвищена стійкість до впливу факторів зовнішнього середовища: пріонний білок не руйнується навіть у воді що кипить.

Сполучаючись між собою пріонні білки утворюють бляшки або тонкі нитки. Накопичення такого білка у клітині викликає її загибель, тому пріонні захворювання завжди закінчуються летально. Всі пріонні захворювання об'єднує один симптом – зміни в головному мозку. При мікроскопічному дослідженні він подібний на губку. Скупчення пріонів вбиває клітини мозку, а на їх місці утворюють порожнини заповнені рідиною.

Причини перетворення нормального білка в пріонний не з'ясовані. Вважається, що пріони утворюються в результаті мутації генів, що відповідають за роботу білків. Оскільки мова йде про зміну конформації (просторової структури) білка, то причиною може бути порушення фізико-хімічних характеристик всередині клітини (наприклад, зміна рН середовища). Хоча захворювання може виникати спонтанно, ним можна і заразитися (наприклад, вживаючи м'ясо корів, хворих на коров'ячий сказ). Від моменту інфікування до появи перших симптомів може пройти декілька років.

Тема 2. Одноклітинні організми

Одноклітинні організми – тваринні і рослинні організми, тіло яких складається з однієї клітини. За рівнем організації є прокаріотами (напр. бактерії) або еукаріотами (напр. найпростіші). Представлені організмами від дуже простої (напр. амеби) до досить складної (напр. інфузорія) будови. Одноклітинні можуть утворювати колонії.

Колоніальні організми – рослини і тварини, які при нестатевому розмноженні лишаються з'єднаними з особинами наступних поколінь, утворюючи більш-менш складні угруповання – колонії. До колоніальних належать одноклітинні та багатоклітинні організми, зокрема деякі водорості, джгутикові, кишковопорожнинні та інші безхребетні тварини. У багатьох з них відбувається чергування поколінь – статевого (рухомі форми) і нестатевого (прикріплені форми).

Колонії мікроорганізмів – видимі неозброєним оком ізольовані скупчення клітин будь-якого виду бактерій або дріжджових грибів, а також розростання грибниці пліснявих грибів на поверхні твердих поживних середовищ. Колонії мікроорганізмів мають різноманітні, але постійні для кожного виду мікроорганізмів форму, розмір, забарвлення, які є їх важливими систематичними ознаками. Колонії мікроорганізмів часто трапляються в природних умовах (на поверхні харчових продуктів, у ґрунті).

Однією із найбільш поширених і добре вивчених груп мікроорганізмів є бактерії. В залежності від форми вони поділяються на круглі, паличкоподібні й хвилясті. Круглі бактерії називаються коки, диплококи, тетракоки, стрептококи, стафілококи і сарцини. Паличкоподібні – одинокі, диплобактерії і стрептобактерії. Хвилясті – вібріони, спірили і спірохети.

Систематизація бактерій істотно полегшує роботу з ними і полягає в розподілі їх за окремими групами (категоріями), кожна з яких має свою назву: клас, порядок, сімейство, рід, вид. Наприклад, всі бактерії поділяються на чотири класи: актиноміцети, міксобактерії, правдиві бактерії та спірохети. Окрім названих категорій в мікробіології широко використовується термін

«штам». Штамами називають різні культури одного і того ж виду, виділені з різних місць проживання. Штами об'єднуються у види, види – у роди, а роди – у сімейства.

За способом одержання енергії мікроорганізми діляться на аеробів та анаеробів. Аероби можуть існувати тільки за наявності кисню в оточуючому середовищі. Вони задовольняють свої енергетичні потреби за допомогою дихання (процесу окислення органічних речовин киснем повітря з утворенням вуглекислого газу, води і енергії). Для анаеробів – навпаки, необхідне безкисневе середовище. Вони існують за допомогою бродіння (процесу без кисневого розкладу органічних речовин з утворенням вуглекислого газу, води та інших речовин). В залежності від типу бродіння кінцевим продуктом може бути спирт (спиртове бродіння), молочна кислота (молочнокисле бродіння). Є група мікроорганізмів, які можуть існувати як в присутності кисню, так і без нього. Це – факультативні анаероби.

В опарі, тісті, готових хлібобулочних і мучних кондитерських виробів зустрічаються різноманітні бактерії. Всіх їх можна поділити на дві групи: корисні і шкідливі. До корисних належать молочнокислі бактерії роду *Лактобацилюс*. До шкідливих – *Ешерихія* коли (кишкова паличка), *Сальмонели*, золотистий стафілокок, *Бацилюс* цереус, *Бацилюс* субтіліс, *Клострідіум* ботулінум.

Розмножуються бактерії простим поділом. Цей процес розпочинається з поділу навпіл ядра і вгинання оболонки клітини до центру. При цьому утворюється перегородка, котра й ділить клітину на дві. Процес триває 20 – 30 хвилин.

Деякі бактерії (їх називають бацилами) в разі настання несприятливих для життя умов можуть утворювати спори. При цьому відбувається ущільнення оболонки клітини і вона перетворюється в спору. Спори деяких мікроорганізмів надзвичайно витривалі (наприклад, здатні перебувати в киплячій воді протягом 20 годин, або в ґрунті багато десятиліть). Однак варто спорі опинитися в сприятливих умовах, як щільна оболонка тріскає,

вміст її виходить на поверхню, проростає і дає початок новій клітині. Цей процес триває півтори – дві доби.

Травна система. У більшості найпростіших функції органів травлення виконують травні вакуолі (наприклад, у амеби). В інших найпростіших (наприклад, у туфельки) є певні ділянки, через які вводиться їжа та виводяться відходи (рот, глотка, порошиця).

Окрему групу одноклітинних мікроорганізмів утворюють *дріжджі*. Вони належать до грибів. За формою дріжджі бувають круглі, овальні, яйцевидні та подовжені. Поверхня клітини вкрита оболонкою, під якою знаходяться цитоплазма, ядро та клітинні органели. Розмножуються дріжджі двома способами – брунькуванням та спороутворенням. Завдяки своїм унікальним властивостям перетворювати цукор в етиловий спирт і вуглекислий газ, дріжджі широко використовуються в технологічних процес виготовлення цілого ряду харчових продуктів і напоїв (хліба, пива, вина).

Гриби представляють собою велику і різноманітну групу організмів. До цього часу тривають дискусії до якого класу організмів їх віднести. З рослинами гриби єднає наявність вакуолей, відсутність органів руху. Однак у грибів відсутні фотосинтезуючі пігменти, вони – гетеротрофи. Ростуть гриби в аеробних умовах і отримують енергію шляхом окислення органічних речовин. У них немає стебла, кореня і листків. Всі ці ознаки об'єднують їх з тваринами.

Гриби широко використовують у технологічних процесах виробництва органічних кислот, вітамінів, ферментів. З іншого боку, вони є активними збудниками псування харчових продуктів та сировини. Представниками цієї групи є плісняві гриби. Під час росту вони утворюють грибниці у вигляді пуху або вати. Їхнє тіло являє собою переплетення нитковидних розгалужених відростків, які складаються з клітин і називаються гіфами. Клітина пліснявих грибів має циліндричну форму. Розмножуються плісняві гриби статевим і безстатевим способом. При безстатевому розмноженні вони розмножуються гіфами, або на їх поверхні виростають спорангії і

кондієнності. У випадку статевого розмноження спостерігається злиття двох нитковидних відростків, що приводить до утворення кулястого здуття. В одних грибів з такого здуття утворюється зигоспора, а в інших – плодове тіло, всередині якого виникають сумки зі спорами.

Тема 3. Багатоклітинні організми

Клітини у багатоклітинних організмах контактують та взаємодіють одна з одною. Надсилаючи і отримуючи у відповідь різноманітні сигнали, вони узгоджують свою життєдіяльність таким чином, що наше тіло функціонує як інтегроване єдине ціле, а не як маса окремих клітин, кожна з яких існує незалежно від інших. Здатність клітин взаємодіяти одна з одною є визначальною характеристикою багатоклітинного організму.

Як сигнали клітини багатоклітинного організму можуть використовувати багато різних молекул: білкові молекули, пептиди, окремі амінокислоти, нуклеотиди, стероїди та інші ліпіди і навіть розчинені гази, наприклад такі як окис азоту. Деякі з цих молекул прикріплюються до поверхні клітин, інші виділяються крізь плазматичну мембрану або вивільняються шляхом екзоцитозу.

На кожную клітину багатоклітинного організму постійно впливають різноманітні сигнальні молекули. І хоча в будь-який час клітину оточують сотні хімічних сигналів, вона реагує лише на деякі з них, ігноруючи решту. Яким чином клітина відбирає значущі для неї сигнали? На поверхні клітини розташовані спеціальні білкові рецептори, які містять спеціальні тривимірні «ключі» (ділянки на поверхні молекули). Речовина, яка виконує роль хімічного сигналу також містить на поверхні своєї молекули відповідну тривимірну ділянку («замок»). Якщо тривимірні конфігурації «ключа» і «замка» співпадають, між ними утворюється зв'язок. Цей зв'язок викликає просторову зміну форми білкового рецептора, що спричиняє певну реакцію-відповідь клітини на цей подразник.

Клітини обмінюються одна з одною сигналами за допомогою чотирьох головних механізмів. Вибір конкретного механізму залежить головним чином від відстані між клітиною, що подає сигнал і клітиною, що його сприймає. На додачу до цих основних механізмів, деякі клітини надсилають сигнали самі собі, виділяючи речовини, що прикріплюються до специфічних рецепторів на їхній внутрішній плазматичній мембрані. Цей процес називають *аутокринною регуляцією*. Він відіграє важливу роль для посилення змін в процесі розвитку.

Безпосередня взаємодія. Коли клітини знаходяться в безпосередній близькості одна від одної, деякі молекули на їх плазматичних мембранах можуть взаємодіяти одна з одною специфічним чином. Багато важливих взаємодій між клітинами в ранньому періоді розвитку здійснюється шляхом безпосереднього контакту молекул на їх поверхні.

Паракринна регуляція. Сигнальні молекули, що виробляються клітиною можуть долати міжклітинний простір і досягати інших клітин. Якщо ці молекули взаємодіють з відповідним активними ділянками на поверхні інших клітин, то вони специфічно впливають на певні види їх активності. Однак така дія обмежується тільки клітинами – найближчими сусідами тієї, що виділяє сигнальні молекули. Регуляція з такими короткотерміновими локальними ефектами називається паракринною. Паракринна регуляція відіграє важливу роль на ранніх стадіях розвитку, координуючи активність клітин-сусідів.

Ендокринна регуляція. Якщо синтезована клітиною сигнальна молекула залишається в міжклітинному просторі, вона може потрапляти в циркуляторні системи організму (наприклад, в кровоносну) і розноситися по всьому тілу. Такі відносно довго живучі сигнальні молекули, які викликають ефект далеко від місця свого утворення, називаються гормонами, а такий тип міжклітинних зв'язків називається ендокринною регуляцією.

Синаптична регуляція. У тварин і людини клітини нервової системи забезпечують швидку взаємодію між віддаленими клітинами організму. Їхні

сигнальні молекули (нейротрансмітери) не подорожують до віддалених клітин циркуляторними системами організму як гормони. Нервові клітини виділяють нейротрансмітер з кінців своїх довгих відростків в безпосередній близькості до клітини-мішені. Вузька щілина між двома клітинами називається хімічним синапсом. Якщо паракриновий сигнал пройде крізь рідину між клітинами, нейротрансмітер долає синапс і починає діяти на клітину-мішень. Ця дія однак не є тривалою.

Особлива роль у багатоклітинних організмів належить регуляторним системам. У тварин – це нервова, імунна та ендокринна (система залоз внутрішньої секреції). У рослин нервова система відсутня, тому їхні життєві функції (ріст, розвиток), а також взаємодію різних частин регулюють біологічно активні речовини – фітогормони. Одні фітогормони прискорюють поділ клітин, розвиток пагонів, дозрівання плодів, інші – гальмують.

В процесі розвитку багатоклітинних організмів клітини починають диференціюватися, групуватися за будовою та виконуваними функціями. Так утворюються тканини і органи. Такий послідовний процес закладки, росту і розвитку клітин, тканин і органів і їх систем, частин тіла організмів в онтогенезі називається *морфогенезом*.

Тканина – це сукупність однотипних клітин, які виконують певні функції. Різні типи тканин утворюються у процесі індивідуального розвитку організму із зародкових листків: зовнішнього (ектодерма), внутрішнього (ентодерма) і середнього (мезодерма).

У тварин і людини розрізняють чотири основних типи тканин: нервову, м'язову, епітеліальну і сполучну.

Нервова тканина є основною тканиною нервової системи. Складається з нервових клітин (нейронів) і допоміжних клітин (нейроглії). В організмі виконує функції сприйняття подразнення і проведення збудження. Нейрони надсилають та отримують електричні імпульси через волокна, що відходять від тіл цих клітин. Сіра речовина головного та спинного мозку складається переважно з тіл нейронів; біла речовина утворена нервовими волокнами.

М'язова тканина становить основу м'язів і характеризується здатністю до скорочення. Розрізняють непосмуговану (гладеньку) і посмуговану. Непосмугована складається з одноядерних веретеноподібних клітин. Міститься в шкірі, стінках органів шлунково-кишкового тракту, кровоносних судин). Посмугована м'язова тканина поділяється на скелетну та серцеву. Побудована з багатоядерних м'язових волокон. Волокна серцевого м'яза на відміну від скелетних, не мають сполучнотканинних оболонок. Тому збудження від одного волокна передається до інших у місцях їхніх контактів і спричиняє скорочення всіх м'язових волокон передсердя або шлуночка.

Епітеліальні тканини вкривають та розмежують поверхні, а також формують залози. Вони складаються з клітин, які щільно прилягають одна до одної. Міжклітинної речовини в цих тканинах немає. Вони виконують функції захисту, живлення, виділення і всмоктування. Розрізняють покривний (епітелій шкіри, епітелій що вкриває стінки внутрішніх порожнистих органів) та залозистий епітелій (утворює робочу частину залоз). Залежно від форми клітин розрізняють епітелій плоский (вкриває шкіру, вистилає ротову порожнину, стравохід), кубічний (вистилає ниркові каналці) і циліндричний (вистилає шлунок і кишечник), а від взаємного розташування клітин – одношаровий, багаторядний, багат шаровий. Клітини епітеліальних тканин часто відмирають і пошкоджуються, тому мають підвищену здатність до відтворення.

Сполучна тканина буває рідкою (кров) і твердою (кістки, хрящі). Це група тканин, які виконують в організмі трофічну, захисну, пластичну та механічну функції. Розрізняють власне сполучну тканину, хрящову, кісткову, жирову тканину і ретикулярну тканину. Власне сполучна тканина поділяється на щільну і пухку. Пухка сполучна тканина заповнює проміжки між органами, утворює сполучнотканинний шар слизових і серозних оболонок, входить до складу трубчастих органів, шкіри. Містить невелику кількість клітин, кровоносні судини і нерви, невпорядковано розташовані

колагенові та еластичні волокна. Колагенові волокна забезпечують міцність, а еластичні – розтяг цієї тканини.

Щільна сполучна тканина побудована з упорядковано розташованих волокнистих структур. В одних органах вони переплітаються (шкіра, фасції, білкова оболонка ока), в інших – розміщуються паралельно (зв'язки, сухожилки).

Хрящова сполучна тканина виконує механічну (опорну) функцію. Входить до складу скелета та деяких внутрішніх органів (трахея, бронхи). Розрізняють гіаліновий (скловидний), еластичний та волокнистий хрящі. Перший вкриває суглобові поверхні кісток, забезпечуючи ковзання кісток в суглобовій сумці. Еластичний міститься у надгортаннику, вушній раковині і містить велику кількість еластичних волокон. Волокнистий має колагенові волокна, входить до складу міжхребцевих дисків.

Кісткова тканина утворює кістки скелета. Скелет виконує функції опори та захисту життєво важливих органів тіла. Окрім цього бере активну участь в мінеральному обміні організму, оскільки є важливим депо мінеральних речовин (кальцію, фосфору, магнію). Порожнини кісток заповнюють червоний та жовтий (жировий) кістковий мозок. Основу червоного кісткового мозку становить ретикулярна тканина, в якій містяться кровотворні (стовбурні) клітини й дозріваючі кров'яні клітини. В червоному кістковому мозку утворюється більшість формених елементів крові: еритроцити, зернисті лейкоцити, тромбоцити та кістковомозкові лімфоцити. Жовтий кістковий мозок складається головним чином з жирової тканини. В перший період життя порожнини всіх кісток заповнює лише червоний кістковий мозок, згодом він перетворюється на жовтий. Червоний кістковий мозок зберігається протягом усього життя лише в губчатій кістковій речовині (в ребрах, хребцях тощо).

Основу жирової тканини становлять жирові клітини. Ці клітини майже повністю заповнені жиром, а на їх периферії знаходяться цитоплазма і ядро. Жирова тканина утворює жирові депо організму, що розташовані під шкірою,

в сальнику між внутрішніми органами. Головним функціями цього виду тканини є енергозберігаюча (відкладений про запас жир є важливим джерелом енергії для організму) та термозберігаюча (охороняє організм від втрати тепла).

Ретикулярна тканина утворює основу кісткового мозку, селезінки, лімфатичних вузлів, мигдаликів, пульпи зуба, слизової оболонки кишок. Складається з ретикулярних клітин зірчастої форми, що з'єднані між собою відростками і ретикулінових волокон. Ретикулярні клітини здатні перетворюватися на вільні клітини типу макрофагів.

Кров – рідка сполучна тканина, разом з лімфою і тканинною рідиною створюють внутрішнє середовище організму. Кров виконує в організмі багато важливих функцій (газообміну, трофічну, захисну, транспортну, терморегулюючу).

Серед тканин рослин виділяють малодиференційовані – твірні та високодиференційовані – постійні. Твірні тканини (меристема) забезпечують ріст, розвиток внутрішньої структури, формують постійні тканини. Меристема складається з дрібних тонкостінних клітин, які щільно прилягають одна до одної. Клітини меристеми відзначаються високим рівнем обміну речовин та здатністю до розмноження. Основною функцією меристеми є утворення нових клітин шляхом поділу. При цьому одна з дочірніх клітин залишається меристемною, а друга перетворюється на клітину якоїсь іншої постійної тканини рослин.

Постійні тканини утворюють у рослинах системи: покривних тканин рослин, провідних тканин рослин, провітрювальних тканин і основних тканин. До системи основних тканин відносять механічні тканини рослин, асиміляційні, запасуючі тканини, секреторні, або видільні та всисні тканини.

Покривні тканини покривають зовні органи рослин (епідерміс, корок, кора або кірка). Основна їх функція – захисна (від висихання, механічних ушкоджень, коливань температури, проникнення хвороботворних мікроорганізмів).

Основною функцією провідних тканин рослин є проведення по рослині води та розчинених у ній органічних та неорганічних речовин. Ці тканини пов'язують в єдине ціле всі органи рослин. Вони складаються з ксилеми (деревини) і флоеми (лубу). По провідних елементах ксилеми рухається вода і розчини мінеральних речовин, що їх вбирають корені з ґрунту у надземні органи (висхідна течія). Провідними елементами флоеми в основному пересуваються органічні речовини, що утворились в процесі фотосинтезу в листках та інших зелених частинах рослин до інших органів рослин (низхідна течія).

Основні тканини – асиміляційні, запасуючі, видільні, механічні. Асиміляційна тканина містить багато хлоропластів, де відбувається процес фотосинтезу. Добре розвинена в м'якоті листків та зелених трав'янистих стебел. У запасуючих тканинах відкладаються і зберігаються речовини, що утворилися в процесі фотосинтезу і вода. Вони витрачаються тоді, коли фотосинтез неможливий (наприклад, навесні при проростанні насіння). Ця тканина є в м'якоті плодів, цибулин, бульб, кореневищ. У видільних тканинах утворюються і нагромаджуються продукти секреції (нектарники, молочники, смоляні ходи, гідатоци). Розташовуються на поверхні або всередині рослин. Механічні тканини виконують опорну функцію, забезпечують міцність органів рослини і протидіють деформаціям. Представлені клітинами з потовщеними або здерев'янілими стінками, волокнами. Локалізовані у місцях найбільших навантажень і деформацій рослинного організму.

Органи, які виконують в організмі спільні функції утворюють систему органів. В організмі людини виділяють такі системи органів: нервова, скелетна, м'язова, серцево-судинна, ендокринна, імунна, дихальна, травна, репродуктивна, сечовидільна.

Нервова система – сукупність структур в організмі, що здійснюють взаємозв'язок окремих органів між собою і всього організму з навколишнім середовищем. Нервова система сприймає зовнішні та внутрішні подразнення,

аналізує інформацію, що надходить до організму і у тісному взаємозв'язку з ендокринною системою регулює діяльність усіх його органів і систем, зумовлюючи їхню функціональну єдність.

У хребетних розрізняють центральну нервову систему (головний і спинний мозок) і периферичну нервову систему (черепномозкові, спинномозкові нерви і скупчення нервових клітин за межами ЦНС – ганглії). Периферична нервова система з'єднує центральну з рецепторами і внутрішніми органами.

Розрізняють також соматичну нервову систему (іннервує скелетну мускулатуру і забезпечує чутливість нашого тіла) і вегетативну (іннервує внутрішні органи і регулює обмін речовин).

Основною структурною і функціональною одиницею нервової системи є нейрон – високоспеціалізована нервова клітина. Нервова система відзначається високою подразливістю, збудливістю і провідністю. Головними процесами, що відбуваються у нервовій системі є збудження і гальмування.

Скелетна система – сукупність міцних опорних або захисних утворів тіла. Розрізняють зовнішній і внутрішній скелет. Зовнішній скелет властивий деяким одноклітинним, а з багатоклітинних – лише безхребетним тваринам. У одноклітинних зовнішній скелет складається з органічних речовин, часто просякнутих мінеральними солями. У безхребетних зовнішній скелет являє собою вапнисту черепашку або хітинову кутикулу. М'язи і внутрішні органи безхребетних прикріплюються до внутрішньої поверхні скелета.

Внутрішній скелет властивий усім хребетним та деяким безхребетним (губкам, голкошкірим) тваринам. У безхребетних внутрішній скелет слабо розвинений і являє собою систему перетинок і сполучнотканинних утворів з роговими, вапняковими або кременевими голками. Внутрішній хребет у безчерепних (ланцетник) представлений хордою. Починаючи з черепних тварин осьовий скелет тіла хордових доповнюється скелетом голови – черепом. У водних форм скелет складається з осьового скелета (тулуб і хвіст), скелета голови і скелета плавців; у наземних тварин – з осьового

скелета, скелета голови та скелета грудних і тазових кінцівок. До грудного відділу, крім хребців, входять ребра і грудна кістка.

М'язова система утворена сукупністю м'язів. Найпримітивніші м'язи у кишковопорожнинних (у них м'язи не відокремлені від клітин епітелію). У червів, моллюсків, членистоногих м'язи відокремлені від епітелію і диференційовані на непосмуговані (гладенькі) і посмуговані (поперечносмугасті) м'язи. У хребетних тварин і людини розрізняють соматичні (скелетні) м'язи, що прикріплюються до скелета, вісцеральні м'язи, що містяться в стінках трубчастих внутрішніх органів і м'язи серця. Соматичні м'язи складаються з поперечносмугастої, а вісцеральні – з гладенької м'язової тканини.

Усім м'язам властиві збудливість, провідність та здатність скорочуватися і розслаблятися, повертаючись до попереднього стану. Скелетні м'язи ми можемо свідомо скорочувати і розслаблювати, гладенькі – ні. Для гладеньких м'язів характерна спонтанна активність – здатність до скорочення за відсутності прямих подразників або під впливом імпульсів вегетативної нервової системи. Усі м'язи тулуба і кінцівок людини утримуються у стані часткового скорочення, відомого як м'язовий тонус. Найсильніші м'язи розташовані вздовж хребта. В середньому 1 см² перерізу скелетного м'яза здатний підняти вантаж масою 10 кг.

Серцево-судинна система – система судин та порожнин в організмі, по яких циркулює кров чи гемолімфа. Розрізняють незамкнену серцево-судинну систему (у плечоногих, моллюсків, членистоногих), судини якої подекуди перериваються порожнинами (синусами, лакунами), в яких гемолімфа безпосередньо стикається з усіма тканинами організму та замкнену (кільчасті черви, безчерепні, хребетні, людина) – де кров рухається по неперервній мережі кровоносних судин.

Найскладніше побудована кровоносна система у хребетних тварин і людини. Центральним органом цієї системи є серце. Серце утворене потужними м'язами особливої будови. Всередині серця містяться порожнини

(камери серця), в яких збирається кров. Скорочення серця заставляють кров рухатися (всі свої функції кров може виконувати за однієї умови – вона повинна знаходитися у безперервному русі). У хребетних залежно від способу дихання (зябрами чи легенями) кровоносна система представлена одним (круглороті риби) або двома (птахи, ссавці) колами кровообігу. Два кола кровообігу утворені судинами двох типів: артеріями (судини, що несуть кров від серця) і венами (судини, що несуть кров до серця). Судини відрізняються своїм діаметром: чим далі від серця, тим діаметр судин менший.

Ендокринна система утворена системою ендокринних залоз (залоз внутрішньої секреції), а також особливими клітинами окремих органів, які здатні синтезувати і виділяти в кров гормони (біологічно активні речовини). Гормони регулюють в організмі такі процеси, як рівень обміну речовин, водний та мінеральний баланс, гомеостаз (сталість найважливіших параметрів внутрішнього середовища організму), ріст, розвиток, а у комплексі з нервовою системою формують реакцію-відповідь організму на стрес. Гормони, так само як і нервова система, узгоджують діяльність окремих органів інтегруючи організм в єдине ціле. Однак, на відміну від нервової системи, гормональна регуляція не є такою швидкою (для формування відповіді на подразник потрібно більше часу), зате триває довше.

До ендокринних залоз належать гіпофіз, гіпоталамус, шишкоподібна залоза, щитовидна залоза, парашитовидні залози, надниркові залози. До залоз змішаної секреції, які виробляють також і гормони, належать підшлункова і статеві залози. Ендокринну функцію виконують також окремі клітини серця, шлунка, кишечника, нирок, плаценти та деяких інших органів.

Імунна система охороняє організм від проникнення хвороботворних агентів ззовні, забезпечує їх знищення в разі проникнення всередину організму, а також знищення патологічних клітин, що утворюються всередині організму. Складовими цієї системи є лімфоїдні органи (кістковий

мозок, селезінка, тимус, лімфатичні вузли) в яких утворюються, дозрівають і розташовуються імунокомпетентні клітини (лімфоцити). Ця система охорони має два рівні. Перший представлений механічними бар'єрами (шкіра, слизові оболонки), хімічними речовинами (так званий неспецифічний захист, що забезпечується ферментами слини, сліз, шлункового соку) та клітинами крові, які знищують збудників захворювань незалежно від їх природи (моноцити, еозинофіли).

Другий рівень представлений структурами і клітинами, які забезпечують власне імунітет, тобто прояв спрямованих на збереження сталості внутрішнього середовища специфічних захисних реакцій організму на генетично чужорідні речовини – антигени. Другий рівень захисту вступає у боротьбу, якщо антигени подолали перший і проникли всередину організму. Він може розвиватися у вигляді реакцій двох типів: вироблення антитіл і клітинного імунітету. Такий захист називають імунною відповіддю. Першим етапом вироблення антитіл є продукція В-лімфоцитів, які розмножуються в кістковому мозку. Ці клітини здатні розпізнавати сторонні білки, які потрапили в організм. В процесі свого розвитку В-лімфоцити можуть перетворюватися на плазматичні клітини, які, в свою чергу, виробляють антитіла до певного антигена, що атакують його.

Клітинний імунітет забезпечується Т-лімфоцитами, які розвиваються в тимусі. Їх є два види: Т-клітини-кілери (вбивці) і Т-клітини-хелпери (помічники). Перші реагують на залишки знищених антигенів та на інфіковані клітини. Вони розпізнають інфіковану клітину, приєднуються до неї та ліквідовують її. Таким чином вони також знешкоджують клітини доброякісних та злоякісних пухлин. Т-клітини-хелпери активують В- та Т-лімфоцити.

Дихальна система представлена сукупністю органів, що забезпечують процес дихання, тобто фізіологічний процес надходження в організм кисню, його використання для окислення органічних речовин і виділення з організму вуглекислого газу. Дихання притаманне як тваринам, так і рослинам. У

тварин органи дихання можуть бути представлені зябрами (забезпечують дихання у воді риб, деяких земноводних, більшості молюсків, окремих членистоногих і червів), трахеями (у більшості членистоногих) і легенями (у більшості земноводних, плазунів, птахів, ссавців, у т.ч. людини). Трахеї і легені забезпечують дихання у повітряному середовищі.

Дихання у рослин принципово не відрізняється від дихання у тварин. У нижчих рослин обмін газів при диханні здійснюється шляхом дифузії крізь поверхню клітин. Тіло вищих рослин пронизують численні каналці, які сприяють газообмінові. У рослин дихання відбувається як у темряві, так і на світлі. У світлову фазу внаслідок фотосинтезу з повітря поглинається набагато більше вуглекислого газу, ніж виділяється в процесі дихання.

Травна система – сукупність органів, що забезпечують переробку і засвоєння поживних речовин організмом. У примітивних багатоклітинних тварин (губок, війкових червів) їжа перетравлюється окремими клітинами. У безхребетних тварин для травної системи характерна наявність травних порожнин, що закінчуються ротовим отвором (кишковопорожнинні, коралові поліпи). У багатьох тварин (молюски, членистоногі) травна система представлена травною трубкою, пов'язаною із зовнішнім середовищем ротовим та відхідниковим (анальним) отворами.

Найскладнішою травна система є у хребетних тварин і людини. Особливості її будови та функціонування визначаються характером їжі, що споживається та умовами існування. Передній відділ травної трубки диференціюється на ротову порожнину, глотку і стравохід. З середньої частини травної трубки утворюються шлунок, тонка кишка та травні залози (печінка, підшлункова залоза). Задня частина травної трубки представлена товстою та прямою кишками з анальним отвором.

Репродуктивна система складається з органів, що забезпечують процес розмноження: статевих залоз (гонад), статевих проток, додаткових утворів (різних залоз, сім'яних сумок, сім'яприймачів, пристосувань для виношування зародків) та копулятивних органів.

Не мають відокремлених статевих органів найпримітивніші серед багатоклітинних організмів. Наприклад, у губок первинні статеві клітини розсіяні в паренхімі тіла і перетворюються на яйцеклітини або групи сперматозоїдів. Найпростіші статеві органи у кишковопорожнинних представлені тільки гонадами. Серед тварин розрізняють форми, які містять в одному організмі одночасно чоловічі і жіночі статеві органи (п'явки, губки, більшість паразитичних червів, молюски, деякі риби). Роздільностатевими формами є більшість червів, комахи, риби, птахи, ссавці. У круглих червів статева залоза має вигляд парної чи непарної трубки, яка у самок ділиться на яєчники, яйцепроводи, матку та піхву, а у самців – на сім'яники та сім'япроводи.

У рослин, яким властиве чергування поколінь (нестатевого – спорофіт і статевого – гаметофіт), репродуктивні органи представлені як органами нестатевого розмноження (спорангіями), так і органами статевого розмноження. В ході еволюції рослин статеві органи вперше виникли у водоростей. У жіночих статевих органах – оогоніях (більшість водоростей, деякі гриби), карпогонах (червоні водорості), архегоніях (мохоподібні, папоротеподібні, голонасінні) розвиваються яйцеклітини. У чоловічих статевих органах розвиваються сперматозоїди. Чоловічі статеві органи у насінних та жіночі статеві органи у покритонасінних дуже редуковані. Функцію статевих органів у цих групах рослин виконують тичинки і маточки, в яких утворюються мікроспори і мегаспори. Мікроспори перетворюються на пилкові зерна – чоловічий гаметофіт, в якому утворюються спермії. Із мегаспори розвивається зародковий мішок – жіночий гаметофіт, в якому утворюється яйцеклітина.

До репродуктивних органів у рослин відносять також органи вегетативного розмноження (бульби, цибулини, кореневища).

Видільна система – сукупність анатомічно пов'язаних органів, що виводять з організму надлишок води, кінцевих продуктів обміну речовин, солей та отруйних речовин.

У найпростіших виділення здійснюється шляхом дифузії або за допомогою скоротливих вакуоль. У примітивних водяних багатоклітинних – губок, кишковопорожнинних та у голкошкірих спеціальних органів видільної системи немає і виділення здійснюється всією поверхнею тіла та через стінки порожнин, зв'язаних з навколишнім середовищем. У більшості безхребетних цю функцію виконують спеціальні видільні трубочки – нефридії. У комах роль видільної системи виконують так звані мальпігієві судини, що впадають у кишковий канал.

У хребетних основним продуктом, що утворюється органами системи виділення є сеча, тому у них цю систему називають сечовидільною. Будова цієї системи у всіх хребетних в основному однакова. У них з великої кількості покручених нефридіальних трубочок формується парний орган виділення – нирка. Протоки нирок у більшості хребетних відкриваються у клоаку; у ссавців, у тому числі у людини, сечоводи впадають безпосередньо в сечовий міхур.

Видільні тканини мають і рослини, однак, на відміну від тварин, їх функції більш різноманітні. В цих тканинах утворюються та нагромаджуються продукти секреції різноманітного призначення.

Стовбурові клітини багатоклітинних організмів. Сотні мільйонів клітин дорослого організму, всі його тканини та органи походять з однієї єдиної клітини – заплідненої яйцеклітини (зиготи). Яким чином у процесі росту і розвитку зиготи утворюється з часом надзвичайно складний дорослий організм? Це відбувається завдяки процесу диференціації – перетворенню первісно однакових недиференційованих клітин у спеціалізовані (наприклад, клітини мозку, печінки чи м'язів).

Вся інформація про майбутній ріст і розвиток організму зберігається в молекулі ДНК зиготи. Точна копія цієї молекули згодом буде міститися в кожній клітині дорослого організму (окрім статевих і клітин, які не містять ядра). Наприклад, всі клітини нашого організму містять ген, який відповідає за синтез адреналіна, однак виробляють його лише клітини наднирників.

Експресію яких генів слід запустити в певній клітині організму вирішується в процесі її «спеціалізації», росту і дозрівання. Однак це відбудеться згодом. Спочатку клітини зиготи просто діляться, нарощуючи свою загальну кількість. Ці недиференційовані клітини людського ембріона, які потенційно можуть покласти початок будь-якій тканині або органу майбутнього організму називаються стовбурними. Така унікальна властивість зберігається у стовбурних клітин аж до початку їх диференціації. З того моменту, коли «життєвий шлях» клітини визначений, вона втрачає свої поліпотентні властивості і перетворюється на клітини певної тканини або органу.

Стовбурні клітини володіють ще однією чудовою властивістю. Невдовзі після їх відкриття (у 1998 році), учені навчилися підтримувати ріст цих клітин у культурі. Виявилось, що стовбурні клітини є практично вічними, тобто вони здатні до поділу необмежену кількість разів. Нагадаємо, що диференційовані соматичні клітини людського організму можуть ділитися лише певну кількість разів (в середньому від 10 до 20), після чого гинуть. Ученим вдалося навіть ідентифікувати ген «вічної молодості», активація якого зумовлює здатність стовбурних клітин до поділу. Зрозуміло, що після диференціації вони втрачають цю властивість.

Зрозуміло, що завдяки цим своїм чудовим властивостям, стовбурні клітини ембріона (СКЕ) одразу після свого відкриття стали об'єктом посиленої уваги з боку науковців. Всі чудово розуміли – якщо навчитися керувати процесом диференціації стовбурних клітин ембріона, то це відкриє колосальні перспективи у лікуванні цілого ряду важких патологій людини, а можливо навіть і регенерації втрачених частин тіла або окремих органів. Наприклад, в організмі людини є цілий ряд високоспеціалізованих клітин, які практично не діляться. Їх ураження, наприклад, кардіоміоцитів після інфаркту міокарда, або нейронів головного мозку після інсульту, роблять людину інвалідом. Використання стовбурних клітин ембріона у цих випадках дозволить замінити пошкоджені клітини новими і створять умови для повної реабілітації таких хворих. Мільйони людей у цілому світі страждають від

такого захворювання як цукровий діабет. Трансплантація стовбурних клітин ембріона у тканину підшлункової залози з наступною їх диференціацією у секреторні клітини дозволить здолати цю патологію. Практика однак засвідчила, що на цьому шляху існує ще немало перешкод і проблем.

Однією з них є проблема етичного характеру, адже отримати ці клітини можна лише з людського ембріона. Згодом вдалося встановити, що організм дорослої людини також містить стовбурні клітини, які, на відміну від клітин ембріона, отримали назву соматичних стовбурних клітин (ССК). Кількість таких клітин у дорослому організмі дуже незначна. Вони зосереджені в основному у кістковому мозку. Невелика їх кількість є також в інших тканинах і органах (в м'язах, шкірі, жировій тканині і навіть у сітківці ока). Після ушкодження певного органу чи тканини ці клітини з плином крові спрямовуються до місця травми і беруть участь у процесах регенерації. При цьому вони здатні перетворюватися у той тип клітин, які зазнали ушкодження. Однак дуже часто відновити втрачені клітини організму не вдається. Причинами цього можуть бути незначний запас соматичних стовбурних клітин, велика площа пошкодження, ослаблення організму, поважний вік.

Подальші дослідження дозволили встановити ще одне джерело отримання стовбурних клітин ембріона – це кров з плаценти. Раніше її просто викидали. Тепер в багатьох країнах світу створюють спеціальні банки стовбурних клітин. Для цього найчастіше використовують зразки кісткового мозку і кров з плаценти. Це дозволяє хоча б частково вирішити проблему пошуку донора при деяких важких захворюваннях крові, зокрема лейкемії.

Вже зараз у деяких країнах при пологах плацентарну кров, що містить ембріональні стовбурні клітини, консервують. Якщо у подальшому в цієї особи виникнуть певні проблеми зі здоров'ям, то в банку вже будуть сумісні з її організмом стовбурні клітини.

Виявилось, що за допомогою стовбурних клітин можна лікувати лейкемію. Головною проблемою тут є підбір відповідного донора. Іноді для

лікування дитини з таким діагнозом не підходить навіть кістковий мозок її батьків. Лікування зводиться до видалення уражених клітин кісткового мозку і їх заміни сумісними стовбурними клітинами, які почнуть продукувати нові клітини крові.

Перспективними технологіями є штучне вирощування стовбурних клітин (при цьому в плацентарну кров вводять спеціальні біологічно активні речовини – фактори росту, які стимулюють розмноження клітин цього типу), а також метод клонування (у цьому випадку з яйцеклітини людини видаляють ядро і вводять в неї ДНК клітини дорослої людини з метою отримання ембріональних стовбурних клітин, що містять ДНК цієї дорослої людини).

Частина II.

Розділ I. Розмноження та індивідуальний розвиток організмів. Основи генетики

Тема 1. Розмноження організмів

Здатність до розмноження, тобто відтворення нового покоління особин того самого виду – одна з основних властивостей живих організмів. В процесі розмноження відбувається передача генетичного матеріалу від батьків нащадкам, що забезпечує відтворення ознак не тільки даного виду, але і конкретних батьків. Для даного виду смисл розмноження зводиться до заміни тих представників, які гинуть, що забезпечує неперервність існування виду.

Відомі дві основні форми розмноження рослин і тварин – *нестатеве* і *статеве*.

Види нестатевого розмноження, його біологічне значення.

При *нестатевому розмноженні* нове покоління утворюється від одного організму, причому джерелом утворення нового покоління є соматичні клітини. Спеціалізовані статеві клітини (гамети) участі у цьому процесі не беруть. Зрозуміло, що при нестатевому розмноженні потомки є точною копією батьківського організму. Генетичні відмінності між батьком і потомством можуть виникати тільки у разі випадкових мутацій. Вищі тварини і людина не здатні до нестатевого розмноження, хоча в останній час зроблені успішні спроби клонування деяких видів штучним шляхом.

Існує декілька типів нестатевого розмноження.

Ділення. Діленням розмножуються одноклітинні організми: кожна особина ділиться на дві або більше дочірніх клітин, які ідентичні батьківській клітині. Діленню клітини передують реплікація ДНК, а у еукаріот – поділ ядра. У більшості випадків відбувається *бінарне ділення*, тобто коли з батьківської клітини утворюється дві дочірні клітини. Так діляться бактерії, амеба, деякі одноклітинні водорості (евглена).

Множинне ділення – коли після повторних поділів клітинного ядра відбувається ділення самої клітини на багато дочірніх клітин. Цей тип ділення спостерігається, наприклад, у збудника малярії – плазмодія.

Утворення спор (споруляція). Спора – це одноклітинна репродуктивна одиниця мікроскопічних розмірів, яка складається з невеликої кількості цитоплазми і ядра. Спори утворюють деякі бактерії, найпростіші, зелені рослини, гриби.

Брунькування – це одна з форм безстатевого розмноження, при якій нова особина утворюється у вигляді бруньки на тілі батьківської особини. Зустрічається у різних груп кишковопорожнинних, наприклад, у гідри, у одноклітинних грибів, таких як дріжджі.

Розмноження фрагментами (фрагментація). Це поділ особи на дві або декілька частин, кожна з яких згодом розвивається у нову особину. Цей вид розмноження спостерігається у нитчатих водоростей, примітивних морських червів.

Вегетативне розмноження – одна з форм безстатевого розмноження, коли від рослини відділяється відносно невелика частина і розвивається в окрему рослину. Вегетативне розмноження подібне до брунькування. Часто рослини утворюють спеціальні структури для цього: бульби, цибулини, пагони, вуса, кореневища.

Клонування. Клонування – це штучний процес одержання ідентичного потомства вищих рослин і тварин за допомогою безстатевого розмноження. Клітинну популяцію або цілий організм одержану таким шляхом від однієї батьківської клітини називають клоном.

На початку 60-х років минулого століття були розроблені методи, які дали змогу клонувати деяких вищих рослин і тварин. Сам метод виник в результаті спроб довести, що ядра зрілих соматичних клітин містять всю інформацію, необхідну для розвитку всіх ознак організму і що спеціалізація клітин зумовлена включенням і виключенням певних генів, а не втратою деяких з них.

Перший успіх був досягнутий в досліджах на моркві. Зокрема, вирощуючи окремі клітини кореню моркви в середовищі, яке містило необхідні поживні речовини та гормони, вдалося виростити нову цілу рослину моркви. Після цього настала черга хребетних. Хребетні в природних умовах клонів не утворюють, однак, пересадивши ядро клітини кишечника жаби в яйцеклітину, ядро якої перед тим зруйнували, вдалося виростити головастика, а згодом і жабу ідентичну тій жабі, з кишечника якої було взяте ядро. Згодом в університеті м.Едінбург (Шотландія) була клонована вівця.

В даний час існує велика спокуса клонувати організм людини. Однак, оскільки це пов'язано з великими проблемами морально-етичного характеру, в багатьох країнах світу ввели законодавчу заборону на дослідження і експерименти такого роду. Проти клонування людини рішуче виступає Церква. З іншого боку, цей метод відкриває величезні перспективи в лікуванні цілого ряду захворювань і навіть відновленні втрачених органів (клонування окремих органів або тканин).

Статеве розмноження організмів та його біологічне значення.

При статевому розмноженні потомство одержують в результаті злиття генетичного матеріалу ядер спеціалізованих статевих клітин – гамет. При заплідненні гамети зливаються утворюючи диплоїдну *зиготу*, з якої починає розвиватися майбутній організм. Гамети гаплоїдні – вони містять один набір хромосом, тобто рівно половину спадкового матеріалу соматичної клітини.

Злиття гаплоїдних ядер гамет називається заплідненням. Воно призводить до утворення диплоїдної зиготи, тобто клітини, яка містить по одному хромосомному набору від кожного з батьків.

Гермафродитизм. Види, у яких одна і та ж особа здатна продукувати і чоловічі, і жіночі гамети називаються *гермафродитними* або *двостатевими*. Такими є багато найпростіших – деякі кишковопорожнинні, плоскі черви, ракоподібні, деякі риби та ящірки. Гермафродитизм вважається самою примітивною формою статевого розмноження і властивий він багатьом

примітивним організмам. Це свого роду адаптація до сидячого, малорухливого або паразитичного способу життя.

Однією з переваг гермафродитизму є те, що він робить можливим процес самоzapлiднення, а це є важливим для деяких ендопаразитів, які існують самі. Однак у більшості гермафродитних видів в заплідненні беруть участь гамети, що походять від різних осіб і у них є фізіологічні адаптації, які запобігають самоzapлiдненню і сприяють перехресному заплідненню. Наприклад, у деяких тварин яйцеклітини і спермії утворюються у однієї і тієї ж особини в різний час.

Партеногенез. Партеногенез – одна з модифікацій статевого розмноження, коли жіноча гамета розвивається в новий організм без запліднення чоловічою гаметою. Партеногенетичне розмноження зустрічається як в царстві тварин, так і в царстві рослин. Його перевагою є те, що в деяких випадках зростає швидкість розмноження.

Існує два види партеногенезу – гаплоїдний і диплоїдний, в залежності від числа хромосом в жіночій гаметі. У деяких комах, наприклад, у мурах, бджіл, ос, в результаті гаплоїдного партеногенезу виникають різні касти організмів. У цих видів відбувається мейоз і утворюються гаплоїдні гамети. Деякі яйцеклітини запліднюються і з них розвиваються диплоїдні самки, а з незапліднених яйцеклітин розвиваються гаплоїдні самці. У медоносної бджоли, матка відкладає запліднені яйця, які дають самок (маток і робочих бджіл) і незапліднені яйця, з яких розвиваються самці (трутні). Такий механізм розмноження має пристосувальне значення, так як дає змогу регулювати чисельність потомства кожного типу.

Поняття про онтогенез та основні його етапи. Ембріональний розвиток організмів та його етапи. Гістогенез та органогенез.

Після утворення зиготи розпочинається індивідуальний розвиток організму (онтогенез), в якому розрізняють ембріональний (зародковий) і постембріональний (після зародковий) періоди. Перший етап онтогенезу –

ембріональний розвиток – може бути розділений на кілька періодів: дробіння, гастрюляція, утворення тканин і органів зародка.

Дробіння. Після запліднення яйцеклітина ділиться на дві клітини, або два *бластомери* однакової величини. Перший поділ клітини відбувається в площині меридіана. Потім кожний із бластомерів знову ділиться у площині меридіана і утворюються 4 клітини однакової величини. Наступний поділ вже відбувається в площині екватора – утворюється 8 клітин. Після цього меридіональні і екваторіальні поділи чергуються і утворюється 16, 32, 64 бластомери, які щільно прилягають один до одного. Кількість клітин збільшується внаслідок мітозу, але оскільки інтерфаза дуже коротка і бластомери не ростуть, цей процес називають дробінням.

Стадії бластули і гаструли. Коли кількість бластомерів досягає 64, всередині зародка утворюється невелика порожнина (бластоцель), яка заповнена рідиною. При подальшому збільшенні кількості клітин порожнина збільшується, а всі клітини розташовуються на поверхні зародка в один шар. Це і є бластула.

Другий етап ембріонального розвитку – *гастрюляція* – полягає в утворенні двох шарів клітин зародка, тобто *гаструла* – це двошаровий зародок. Найважливішим при цьому є процес диференціації клітин зовнішнього і внутрішнього шарів. На цьому етапі зародок складається з двох листків: зовнішнього (ектодерми) і внутрішнього (ентодерми). Оточена ентодермою порожнина – це первинна кишка, яка відкривається назовні первинним ротом або *бластопором*.

Наступний етап – формування тканин (гістогенез) і процес утворення і розвитку органів (органогенез) – пов'язаний з подальшим диференціюванням клітин. Із ентодерми утворюється третій зародковий листок – мезодерма, який вростає між екто- і ентодермою, розділяючи їх. Потім у зародків хребетних тварин розпочинається формування нервової трубки на майбутньому спинному боці зародка шляхом утворення жолобка в ектодермі, краї якого згодом змикаються. Подальше диференціювання приводить до

формування із ендодерми епітелію кишок, травних залоз, а також легень. Із мезодерми утворюються кровоносна, видільна системи, скелет, хрящі, м'язи. Із ектодерми окрім нервової трубки утворюються органи чуттів, покривний епітелій, похідні шкіри. У зародка людини період органогенезу припадає на період від четвертого до дев'ятого тижня вагітності.

У процесі ембріонального розвитку одні тканини або органи зародка впливають на розвиток інших, розташованих поряд. Така спрямовуюча дія тканин, що розвиваються, на хід подальшого розвитку носить назву *індукції*.

Ембріональний розвиток завершується виходом зародка із яйцевих оболонок або народженням у організмів, в яких яйцевих оболонок немає (ссавці). Далі починається постембріональний розвиток.

Постембріональний розвиток та його етапи. Прямий та непрямий розвиток тварин.

Постембріональний розвиток характеризується переходом організмів до самостійного живлення і активного руху. Завершується постембріональний розвиток статевою зрілістю і припиненням росту.

Розрізняють *прямий і непрямий постембріональний розвиток*. Непрямим називається розвиток з перетворенням (метаморфозом).

При першому типі органи зародка в постембріональний період продовжують розвиватися і безпосередньо перетворюються на органи дорослої особини. В цьому випадку вже на початку постембріонального періоду організм має багато подібного з дорослою особиною і відрізняється від неї лише меншими розмірами. За таким типом розвиваються деякі безхребетні (павуки, деякі кільчасті черви, частина комах) і багато хребетних (гризуни, птахи, ссавці).

При непрямому типі постембріонального розвитку із зародкових оболонок виходить личинка, яка дуже відрізняється за будовою і способом життя від дорослої особини. Вона може жити в іншому середовищі і мати інший тип живлення. Наприклад, дорослі особини живуть на суші, а личинки

– у воді, або навпаки. У процесі перетворення личинки на дорослу особину відбувається суттєва перебудова всього організму (метаморфоз). Цей тип розвитку характерний для більшості червів, молюсків, багатьох членистоногих, деяких риб і земноводних. Залежно від глибини і форми перебудови, яка відбувається в процесі перетворення личинки на дорослу форму, розрізняють розвиток з *повним* та *неповним метаморфозом*.

При повному метаморфозі личинка має спеціальні органи, які не властиві дорослим особинам, а її ріст і розвиток супроводжуються перебудовою всіх органів і систем. Такий тип розвитку має місце у комах (двокрилих, твердокрилих та ін.), а також у таких хребетних тварин, як земноводні.

При неповному метаморфозі личинки мають спільні риси будови з дорослими особинами, але відрізняються від них рядом суттєвих ознак (відсутністю крил, статевого апарату, іншим типом органів дихання). Такий тип розвитку характерний для деяких комах (клопи, воші) і для більшості кліщів. Личинка в процесі перетворення на дорослу особину кілька разів линяє.

Регуляція функцій багатоклітинних організмів. Поняття про гормони.

Важливою умовою існування живих організмів є забезпечення сталості параметрів їх внутрішнього середовища (гомеостазу). Сталість хімічного складу і фізико-хімічних параметрів підтримується безперервною роботою систем органів (кровообігу, дихання, травлення, виділення тощо). Координація і злагоджена діяльність цих систем в організмі забезпечується процесами саморегуляції. Існує два основні механізми саморегуляції – гуморальний та нервовий.

Гуморальний механізм саморегуляції (від лат. *humor* – рідина) є еволюційно більш давнім. Він зводиться до того, що в різних клітинах організму утворюються певні хімічні сполуки, які володіють дуже високою біологічною активністю і можуть впливати на діяльність інших клітин, тканин, органів і систем органів. Таким чином здійснюється взаємозв'язок і

взаємодія між різними частинами організму, забезпечується злагоджена діяльність організму, як єдиного цілого у відповідь на подразнення, які надходять із зовнішнього середовища, або від внутрішніх органів.

Іншим механізмом саморегуляції є регуляція за допомогою нервової системи. Цей вид регуляції виник на пізніших етапах розвитку живих організмів, по мірі ускладнення їх будови і функцій. Виникла потреба в більш оперативній, тонкій і точній відповіді на подразнення. Гуморальний механізм не зміг в повній мірі задовольнити ці вимоги, адже потребував досить часу на виділення біологічно активної речовини в кров, її транспортування до органу-мішені і формування реакції-відповіді. Окрім цього, молекули, наприклад, гормонів, доволі швидко руйнуються в організмі і для підтримання тривалого ефекту дії необхідно постійне їх надходження в кров. Всіх цих недоліків позбавлений нервовий механізм регуляції. Нервова система здатна дуже швидко, тонко і точно сприймати подразнення, аналізувати їх і формувати відповідь, яка негайно передається по нервових волокнах до відповідних органів, або систем органів.

Одним із класів біологічно активних речовин є гормони. Вони синтезуються у залозах внутрішньої секреції і виділяються безпосередньо в кров. Розносячись кровотоком по всьому організму справляють на нього відповідний вплив. Усім гормонам властиві певні риси. По-перше, це невеликий розмір молекули. Це зумовлено потребою проникнення із кровоносного русла в міжклітинний простір до відповідних органів-мішеней. По-друге, як вже було сказано, гормони доволі швидко руйнуються в організмі. Це зумовлено потребою дозувати вплив гормону; адже, якщо б молекули гормонів діяли тривалий час, не було б змоги швидко припинити їх вплив.

Вплив гормонів на організм є доволі різноманітним і всебічним. Зокрема, гормони змінюють обмін речовин, регулюють клітинну активність, змінюють проникність клітинних мембран, впливають на ріст і диференціацію клітин. В організмі немає такої системи органів, яка б не

перебувала під гормональним впливом. Зміни в роботі систем органів дихання, травлення, виділення, репродукції, кровоносно-судинній системі та багатьох інших контролюються певними гормонами. Ріст і розвиток організму в цілому, зміна різних вікових періодів також пов'язані із діяльністю залоз внутрішньої секреції.

В організмі нервовий і гуморальний механізми регуляції тісно пов'язані. Активні біологічні речовини, які утворюються в організмі, здатні впливати на функціональний стан нервової системи. З іншого боку, утворення і надходження в кров біологічно активних речовин, перебувають під контролем центральної нервової системи. Свідченням цього є дуже добра іннервація всіх залоз внутрішньої секреції. Таким чином є всі підстави говорити про єдину нервово-гуморальну систему регуляції функцій організму.

Як свідчення цього ми можемо розглянути реакцію організму на підвищення вмісту цукру в крові. Цей показник є дуже важливим і перебуває під постійним контролем. Збільшене надходження цукру в кров'яне русло викликає подразнення відповідних рецепторних клітин, про що надходить інформація в центральну нервову систему. Звідти по нервових волокнах надходять сигнали до підшлункової залози, яка починає виробляти підвищену кількість гормону інсуліну. Інсулін стимулює процеси зв'язування глюкози і перетворення її в глікоген, який відкладається в печінці і м'язах. Рівень цукру в крові знижується до норми.

Тема 2. Закономірності спадковості

Основні поняття генетики. Метод гібридологічного аналізу. Закономірності спадковості встановлені Г.Менделем.

Генетика – наука, яка вивчає закономірності двох основних властивостей живих організмів – спадковості та мінливості. Основоположником генетики є чеський вчений Грегор Мендель (1822 – 1884 рр.), який проводив у м. Брно досліди зі схрещування різних форм гороху. Спостерігаючи за отриманими гібридами, він встановив ряд законів успадкування, які стали в подальшому основою генетики і розробив метод гібридологічного аналізу, що став головним її методом.

Метод гібридологічного аналізу передбачає:

- а) схрещування особин з контрастними (альтернативними) ознаками (наприклад, квітки у однієї рослини гороху червоні, а в іншій – білі);
- б) аналіз виявлення у гібридів тільки досліджуваних ознак, без врахування решти;
- в) вирощування і аналіз потомства кожної особини окремо від інших;
- г) ведення кількісного обліку гібридів, які відрізняються за досліджуваною ознакою.

При гібридологічному аналізі використовують наступні загальноприйняті символи. Батьків, взятих для схрещування позначають буквою Р; жіночу стать – знаком ♀ («дзеркало Венери»). Під час запису схеми схрещування його ставлять першим. Чоловічу стать позначають символом ♂ («щит і спис Марса») і його пишуть другим. Схрещування позначають знаком «Х»; гібридне потомство позначають буквою F з цифрою, що відповідає порядковому номеру покоління: F₁, F₂ і т.д.

Окрім символів використовують такі генетичні поняття.

Гомозиготи – особи, які дають при самозапилення за даною парою ознак однорідне потомство. Вони в гомологічних хромосомах містять однакові алельні гени (AA чи aa) і утворюють за ними один сорт гамет.

Гетерозиготи – особи, які дають розщеплення за даною парою ознак. Вони містять в гомологічних хромосомах різні алельні гени (Aa) і утворюють за ними два сорти гамет: з геном A і геном a.

Нагадаємо, що алельними генами називають парні гени, які розміщені в ідентичних ділянках гомологічних хромосом.

У своїх дослідах Г.Мендель використовував різні типи схрещування.

Моногібридне схрещування. Це найпростіший вид схрещування, тому що батьки відрізняються одне від одного за однією ознакою (наприклад, за кольором квіток гороху – червоний і білий).

Під час аналізу гібридів F_1 Г.Мендель встановив, що всі особини мають однаковий колір квіток. При цьому виявляється ознака тільки одного з батьків (червоні квітки); ознака іншого (білі квітки) – відсутня. Ознаку, яка виявляється в F_1 він назвав домінантною (переважаючою), ознаку, яка відсутня – рецесивною (відступаючою). Ця закономірність одержала назву правила домінування або одноманітності гібридів першого покоління.

Проводячи самозапилення гібридів F_1 , Г.Мендель встановив, що в F_2 виявляються особи як з домінантною ознакою (червоні квітки), так і з рецесивною (білі квітки) у співвідношенні 3 : 1. Це явище одержало назву закону розщеплення гібридів другого покоління.

Для пояснення цих закономірностей Г.Мендель висунув *гіпотезу чистоти гамет*, передбачивши наступне.

Будь-яка ознака формується під впливом матеріального фактора (пізніше названого геном). Фактор, який визначає домінантну ознаку, він позначив великою буквою A, а рецесивний – a. Кожна особа містить два фактори, які визначають розвиток ознаки: один вона отримує від матері, інший – від батька. При утворенні гамет у тварин і спор у рослин відбувається редукція факторів і в кожному гамету або спору попадає тільки один.

Згідно цієї гіпотези, хід моногібридного схрещування можна записати наступним чином:

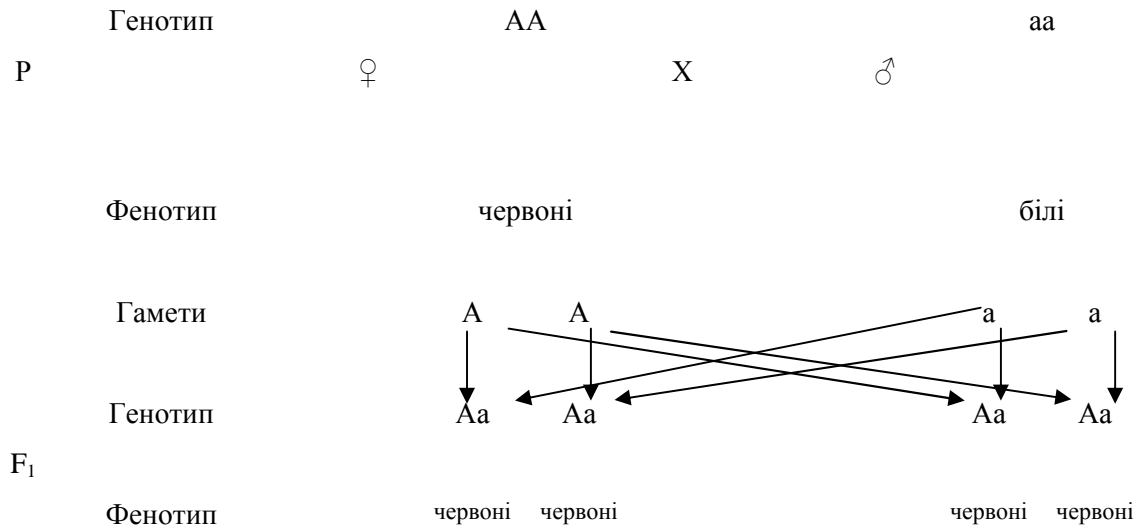


Схема 2.1. Хід моногібридного схрещування

З цієї схеми видно, що за будь-яких комбінацій гамет всі гібриди мають однаковий генотип і фенотип.

При утворенні гамет у гібридів F₁ половина з них буде нести фактор А, а інша половина – фактор а. При самозапиленні і довільній рекомбінації гамет при заплідненні в F₂ очікується наступне:

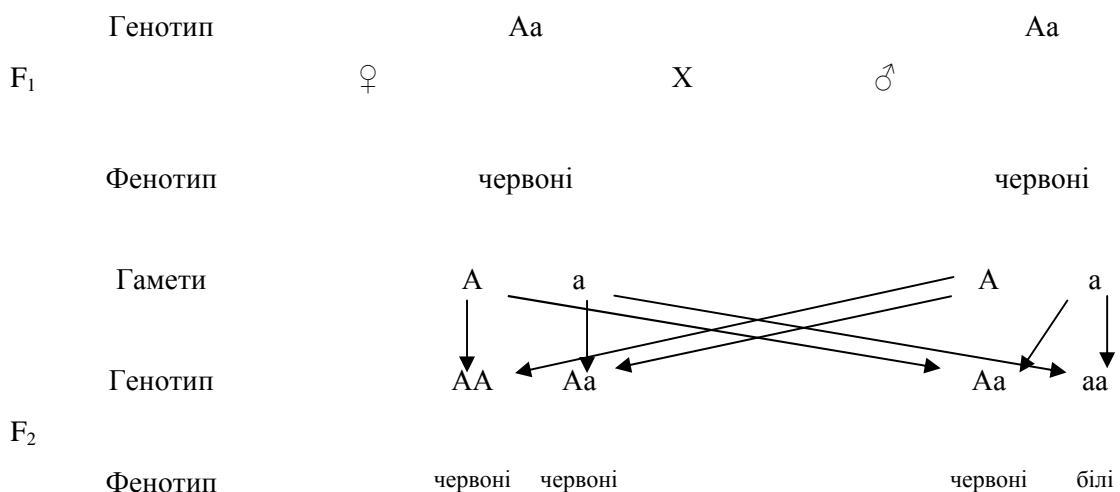
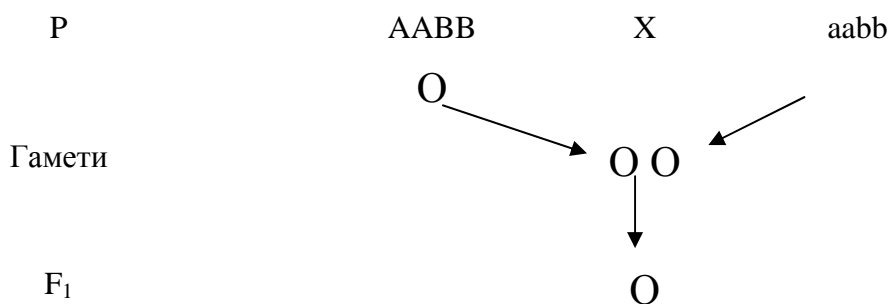


Схема 2.2. Хід розщеплення у гібридів другого покоління

В F_2 розщеплення по генотипу буде $1AA : 2Aa : 1aa$, а по фенотипу 3 червоні : 1 біла, тобто таким, яким воно було в досліді, що свідчить про достовірність гіпотези.

Дигібридне схрещування. Щоб визначити, як будуть успадковуватися дві (або більше) ознак одного з батьків, Г.Мендель проводив дигібридне схрещування, в якому гомозиготні батьки відрізнялися одне від одного за двома ознаками: кольором насіння (жовтий і зелений) і формою насіння (гладенька і зморшкувата).

Схема 2.3 Успадкування ознак при дигібридному схрещуванні



	Гамети	О	О	О	О
		АВ	Ab	aB	Ab
F ₂	О	О	О	О	О
	АВ	ААВВ	ААВb	АaВВ	АaВb
	Ab	ААВb	АAbb	АaВb	Аabb
	аВ	АaВВ	АaВb	aaВВ	aaВb
	Ab	АaВb	Аabb	aaВb	aabb

Поява особин з жовтим гладеньким насінням свідчить про домінування цих ознак і вияв правила одноманітності у гібридів F_1 . Після їх самозапилення у F_2 з'явилися особи 4 фенотипів: 2 – подібні на батьківські

(жовті гладенькі і зелені зморшкуваті), а 2 – нові, у яких поєднуються батьківські та материнські ознаки (жовті зморшкуваті і зелені гладенькі). Отже при дигібридному схрещуванні спостерігається незалежне успадковування ознак. Кількісний аналіз (підрахунок осіб) цих гібридів показав, що дигібридне розщеплення є по суті двома моногібридними розщепленнями, які відбуваються незалежно одне від одного. Такий характер успадковування одержав назву закону незалежного успадкування (розподілу) ознак. Згідно з цим законом, розщеплення за кожною ознакою відбувається незалежно від іншої ознаки.

Незалежне успадкування ознак при дигібридному схрещуванні зумовлене незалежною поведінкою хромосом в мейозі під час утворення гамет гібридами F_1 ($AaBb$). Адже до одного полюсу клітини з однаковою ймовірністю можуть відійти або обидві материнські хромосоми, а до іншого – обидві батьківські, або разом з материнською хромосомою з геном A відійде батьківська з геном b , а разом з батьківською хромосомою з геном B – материнська з геном a . Отже, гібриди F_1 ($AaBb$) з однаковою ймовірністю можуть утворювати 4 типи гамет: AB , ab , Ab і aB .

Незалежне успадковування характерне тільки для тих ознак, гени яких знаходяться в різних хромосомах. Воно має величезне значення, оскільки є основою комбінативної мінливості і різноманіття живих організмів.

Проміжний характер успадковування. Аналізуюче схрещування.

Проміжний характер успадковування. Іноді у гібридів F_1 не спостерігається повного домінування, їх ознаки мають проміжний характер. Таким вид успадковування називають *проміжним* або *неповним домінуванням*. При неповному домінуванні в F_2 розщеплення за фенотипом і генотипом відбувається за однаковим співвідношенням 1 : 2 : 1.

Аналізуюче схрещування. За умов повного домінування серед осіб з домінантними ознаками неможливо відрізнити гомозиготи від гетерозигот, а в цьому іноді виникає потреба (наприклад, щоб визначити чистопородна чи

гібридна дана особа). З цією метою проводять аналізуюче схрещування. При цьому досліджувана особа з домінантними ознаками схрещується з рецесивною гомозиготною. Якщо потомство від такого схрещування виявиться однорідним, значить особа гомозиготна (її генотип AA). Якщо у потомстві 50% осіб з домінантними ознаками, а 50% – з рецесивними, значить особа гетерозиготна.

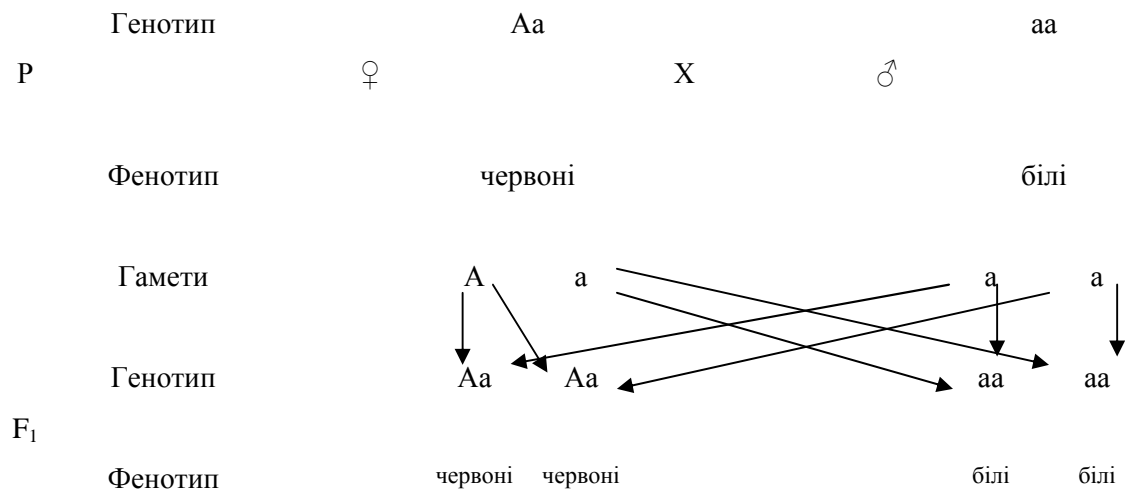


Схема 2.4. Хід аналізуючого схрещування з гетерозиготною особою.

Явище зчепленого успадкування. Досліди Т.Моргана.

Зчеплене успадкування. Кожен організм має невелику кількість хромосом, але десятки тисяч генів. Отже, в кожній хромосомі зосереджено декілька тисяч генів. Як будуть успадковуватися ознаки, гени яких знаходяться в одній хромосомі? Відповідь на це запитання дав американський генетик Томас Морган, який 1911 р. провів досліди на мухах дрозофілах, які відрізнялися за двома ознаками: кольором тіла і довжиною крил.

Самців дрозофіли, гомозиготних за домінантними алелями забарвлення тіла (сіре) та формою крил (нормальні), схрестили із самками, гомозиготними за відповідними рецесивними алелями (чорне тіло – короткі крила). Генотипи цих особин позначили відповідно EEUU та eeuu.

Усі гібриди першого покоління мали сіре тіло і нормальні крила, тобто були гетерозиготними за обома парами алелей ($Ee Uu$). Потім їх схрестили з особами, гомозиготними за відповідними рецесивними алелями (аналізуюче схрещування). Теоретично слід було очікувати два варіанти розщеплення:

а) якщо гени, які зумовлюють забарвлення тіла і форму крил містилися в негомологічних хромосомах, розщеплення мало б бути таким:

25% особин із сірим тілом і нормальними крилами;

25% особин із сірим тілом і короткими крилами;

25% особин із чорним тілом і нормальними крилами;

25% особин із чорним тілом і короткими крилами.

б) якщо ці гени локалізовані в гомологічних хромосомах і успадковуються зчеплено, то було б отримано 50% особин із сірим тілом і нормальними крилами і 50% особин із чорним тілом і короткими крилами.

Насправді виявилася наступна картина: 41,5% особин мали сіре тіло і нормальні крила; 41,5% особин – чорне тіло і короткі крила; 8,5% - сіре тіло – короткі крила і 8,5% - чорне тіло – нормальні крила. Тобто, розщеплення наближалось до очікуваного співвідношення 1 : 1, але разом з тим з'явилося ще два нових фенотипи з проміжними ознаками. На підставі цих даних, Т.Морган припустив, що гени, які визначають забарвлення тіла і форму крил розташовані в одній хромосомі, але в процесі мейозу під час утворення гамет, гомологічні хромосоми можуть обмінюватися ділянками, тобто має місце кросинговер. Саме кросинговер сприяє утворенню нових поєднань алелей, бо гени, які раніше знаходилися в одній хромосомі, виявлялися в різних гомологічних хромосомах і попадали в різні гамети. Згодом явище кросинговеру було доведено за допомогою методу радіоактивних ізотопних атомів.

Генетика статі. Успадковування, зчеплене зі статтю.

Генетика статі. Стать характеризується комплексом ознак, які визначаються генами. Хромосомний комплекс самців і самок не однаковий.

Цитологічно вони відрізняються за однією парою хромосом. Цю пару назвали статевими хромосомами. Однакові хромосоми цієї пари назвали X (ікс) – хромосомами; непарну, яка відсутня у іншій статі – Y (ігрек) хромосомою; решту хромосом, за якими немає відмінностей – аутосомами (A). Наприклад, у людини 23 пари хромосом. З них 22 пари аутосом і 1 пара статевих хромосом. Хромосомний комплекс жінки – 44A + XX; чоловіка – 44A + XY.

Стать з однаковими статевими хромосомами (XX), яка утворює один тип гамет (з X-хромосомою) називають гомогаметною; іншу стать, з різними хромосомами (XY), яка утворює два типи гамет (з X-хромосомою та з Y-хромосомою) – гетерогаметною. У людини гетерогаметна стать чоловіка; у птахів, метеликів – жіноча.

Успадковування, зчеплене зі статтю. Якщо захворювання викликане дефектним геном, що міститься в аутосомах, то хвороба вражає однаковою мірою осіб як чоловічої, так і жіночої статі. Однак бувають спадкові захворювання, які уражають лише одну стать. Вони зумовлені розташуванням дефектних генів або в X-, або в Y-хромосомі. Таке успадковування називається зчепленим зі статтю. Існує ще одна група генів, яка шляхом кросинговеру змінює свій локус і послідовно в поколіннях переходить з X-хромосоми в Y-хромосому, або в аутосому і назад. Такі гени називають частково або неповно зчепленими зі статтю.

Успадкування, зчеплене з Y-хромосомою. Ген в Y-хромосомі виявляється лише у чоловіків і передається тільки синам. Відомо небагато захворювань, які спричинені пошкодженням генів, локалізованих в Y-хромосомі. До таких можна віднести гіпертрихоз краю вушної раковини. При цьому захворюванні, приблизно з 17-річного віку на краю вуха починає відростати довге волосся.

Успадкування, зчеплене з X-хромосомою. На захворювання, які викликають дефектні гени, локалізовані в X-хромосомі, хворіють чоловіки,

хоча передають їм ці хвороби жінки. У людини є багато ознак, зв'язаних з X-хромосоною. Серед них є такі, що визначають наступні ознаки:

- 1) аномалії кольорового зору (дальтонізм);
- 2) гемофілія (незсідання крові);
- 3) фавізм (недостатність одного з ферментів еритроцитів). При контакті з деякими речовинами (сульфаніламід, барбітурати), у хворих настає руйнування великої кількості еритроцитів, що спричиняє анемію або навіть смерть;
- 4) вроджена катаракта;
- 5) відсутність потових залоз.

У жінок ці аномалії рецесивні і не виявляються, навіть якщо ці гени несе одна з X-хромосом. Але така жінка є носієм патології і передає їх з X-хромосоною своїм синам, у яких аномалія виявляється.

Тема 3. Закономірності мінливості

Мінливість. Спадкова мінливість. Поняття про мутації.

Мінливість - це здатність живих організмів набувати нових ознак і властивостей чи втрачати колишні. Мінливість протилежна спадковості. Розрізняють спадкову (генотипну) і неспадкову (фенотипну) мінливість. В свою чергу фенотипну мінливість поділяють на вікову і модифікаційну (див. схему 2.6.)

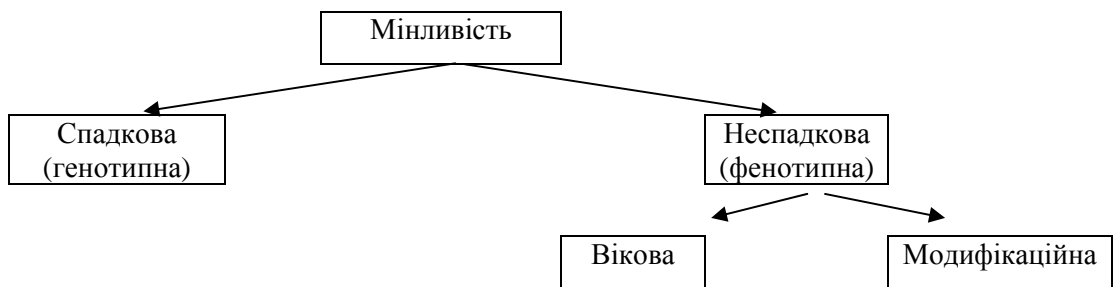


Схема 2.6. Класифікація форм мінливості

До спадкової мінливості відносять зміни ознак організму, які є наслідком змін в генотипі і передаються від батьків потомству. Такі зміни в генотипі називають мутаціями.

Мутація – це раптова, стрибкоподібна, стійка зміна генотипу що передається від батьків потомству. Вона виникає несподівано, зачіпає різні ознаки, властивості та функції організму і може бути для нього корисною, шкідливою або нейтральною.

Здатність до мутацій – одна з найважливіших властивостей гена, але кожен ген мутує порівняно рідко. Оскільки кожна особа має декілька десятків тисяч генів, в природних умовах у окремих видів (наприклад, у дрозофіли) гамет, які несуть у собі різноманітні мутації буває близько 5%.

Виявлення дії будь-якого гена, в тому числі й дефектного, характеризується двома показниками: *пенетрантністю* та *експресивністю*.

Пенетрантність – це частота або ймовірність вияву будь-якого гена. Пенетрантність визначається відсотком особин популяції з числа носіїв

даного гена, у яких він виявився. Наприклад, пенетрантність 25% означає, що у $\frac{1}{4}$ генотипів, котрі мають даний ген, він виявився у вигляді зміни ознаки організму.

Експресивність гена – ступінь його фенотипового виявлення, міра сили гена, що визначається ступенем розвитку ознаки. Прикладом зміни експресивності гена може бути різний ступінь успадкування шизофренії: від вираженої патології до незначних відхилень від норми.

Експресивність і пенетрантність дефектних генів, що викликають спадкові захворювання, залежать не лише від взаємодії генів, а й від зовнішнього середовища.

Мутації, які виникають в природі без втручання людини, називаються *природними* або *спонтанними*. Мутації, які викликані спеціальним впливом якихось зовнішніх факторів, називаються *штучними* або *індукованими*. За характером змін в генотипі мутації поділяються на генні, хромосомні і цитоплазматичні.

Генні або *точкові мутації* зустрічаються найчастіше, хоча мутація окремого гена – явище доволі рідкісне. Вважається, що у людини окремий ген мутує з частотою 0,00005 на покоління, але оскільки генів дуже багато, то поява тієї чи іншої мутації трапляється не так вже й рідко. Генні мутації пов'язані із заміною, випадінням або додаванням нуклеотидів в молекулі ДНК. Це призводить до зміни коду ДНК, що, в свою чергу, впливає на склад амінокислот в поліпептидному ланцюгу білка і його властивості. Часто такі зміни блокують синтез ферменту або іншої речовини, що в кінцевому підсумку приводить до зміни якоїсь ознаки або навіть до загибелі організму.

Наприклад, генні мутації можуть стати причиною порушення будови ряду ферментів, які беруть участь у перетворенні амінокислоти фенілаланіну. Наслідком цього можуть бути такі захворювання, як фенілкетонурія (викликає розумову відсталість у дітей), або альбінізм (блокується утворення в організмі чорного пігменту меланіну).

Хромосомні мутації пов'язані зі зміною структури або числа хромосом. Їх можна виявити за допомогою мікроскопа. *Структурні хромосомні мутації* виникають при втраті, подвоєнні, перевертанні на 180° або переміщенні окремих ділянок хромосом. Переважна більшість структурних хромосомних мутацій шкідливі для організму і знижують його життєздатність.

Мутації, пов'язані із зміною числа хромосом бувають двох видів. Кратне збільшення числа хромосом – поліплоїдія – виникає при руйнуванні веретена поділу під час мітозу або мейозу, що приводить до утворення гамет з набором $2n$ хромосом і осіб з $4n$, $6n$ і більше хромосом. Поліплоїдія майже не зустрічається у тварин, але широко розповсюджена серед рослин. Більшість культурних рослин – поліпоїди.

Гетероплоїдія – мутації пов'язані з надлишком або нестачею однієї хромосоми з пари гомологічних хромосом. Такі мутації виникають при порушенні мейозу, коли після кон'югації пара хромосом не розходиться і в одну гамету попадають обидві гомологічні хромосоми, а в іншу – жодної. Гетероплоїдія шкідлива для організму. Найпоширенішими аномаліями такого типу у людини є:

Синдром Дауна. Причиною є поява зайвої хромосоми в двадцять першій парі. Фенотип: маленький череп, плескате обличчя, широке перенісся, рот напіввідкритий, вкорочені кінцівки, різна ступінь розумової відсталості. Частота – 0,15%.

Синдром Едвардса. Причиною захворювання є зайва хромосома у 18-й парі. Фенотип: вузький лоб, низько розташовані деформовані вуха, пальці рук широкі і короткі, іноді – підковоподібна нирка. Смерть настає, як правило, на першому році життя. Частота 1 : 8 100.

Іноді гетероплоїдія зачіпає статеві хромосоми. Найпоширенішими аномаліями статевих хромосом є:

Синдром Шерешевського-Тернера (в парі статевих хромосом присутня тільки одна X-хромосома). Народжуються дівчатка. Тіло має непропорційну будову (широкі плечі, вузький таз, нижні кінцівки вкорочені). Зріст 135 – 145

см. Розумовий розвиток в нормі. Інфантильність емоцій, нестійкість настрою. Жінки неплідні. Частота 1 : 3 000.

Синдром Клайнфельтера (каріотип ХХУ). Народжуються хлопчики. Чоловіки неплідні. Недорозвинуті статеві органи. Будова тіла за жіночим типом: вузькі плечі, широкий таз. Розумова відсталість різного ступеня.

Мутації, які виникають в статевих клітинах, передаються спадково і їх називають *генеративними мутаціями*. Зміни в соматичних клітинах викликаються *соматичними мутаціями* і поширюються вони на ту частину тіла, яка розвинулася із видозміненої клітини. Для видів, які розмножуються статевим шляхом, вони не мають суттєвого значення, але для рослин, які розмножуються вегетативно, вони є важливими. У людини прикладом соматичної мутації є т.зв. мозаїки – люди з різним кольором очей.

Мутації не сумісні із життям називаються летальними.

Спадкові хвороби: класифікація, діагностика, лікування, профілактика. Спадкові хвороби можуть вражати всі органи і системи нашого організму – мозок, м'язи, серцево-судинну систему, опорно-руховий апарат, шкіру. Виявлятися ці захворювання можуть у вигляді порушень будови тіла (наприклад заяча губа, короткопалість, шестипалість кінцівок), фізіологічних порушень (гемофілія, дальтонізм) або біохімічних дефектів (фенілкетонурія, альбінізм) (схема 2.7.).

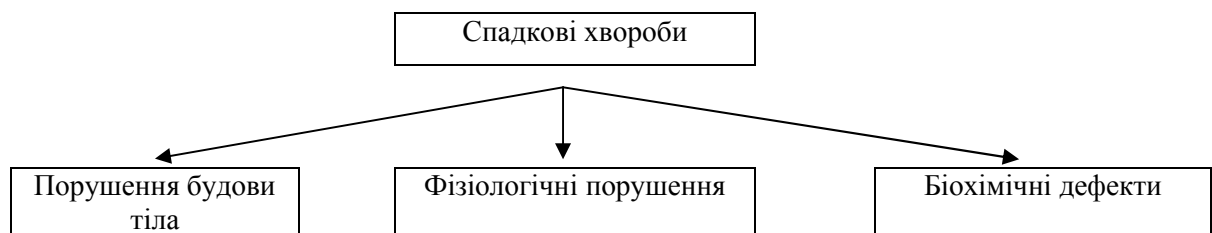


Схема 2.7. Класифікація спадкових захворювань

Розрізняють вроджені і спадкові аномалії. Вроджені виникають у процесі ембріонального розвитку організму під впливом несприятливих факторів (наприклад, отруєння плоду алкоголем, солями важких металів, резус-конфлікт). Спадкові захворювання називаються так тому, що

викликаються пошкодженням генетичного апарату клітини, а не тому, що вони успадковуються. Хоча багато спадкових захворювань дійсно передаються з покоління в покоління, однак велика кількість їх не успадковується, оскільки хворі рано гинуть або не можуть мати потомство.

Діагностика спадкових захворювань. На сьогодні розроблено численні і різноманітні методи діагностики спадкових захворювань. Вибір методу залежить від типу захворювання. Для діагностики хромосомних захворювань, окрім вивчення клініки, застосовують методи дослідження хроматину, що дозволяє визначити кількість і структуру хромосом. Генні мутації діагностують за допомогою біохімічних аналізів крові, сечі або навколоплідної рідини. Це робить можливим встановити відсутність або надлишок певного ферменту чи накопичення певної речовини. Наприклад, діагностувати фенілкетонурію можна додаючи до сечі 3 – 4 тижневої дитини хлорне залізо (FeCl_3). Якщо дитина хвора, сеча набуває темно-зеленого кольору. Кладучи в пелюшки новонароджених лакмусовий папірець, можна здійснювати масову їх перевірку на це захворювання.

За останні роки створено методи, що дозволяють помітити дію патологічного гена ще під час вагітності. Шляхом аналізу навколоплідної рідини діагностують більше 70 різноманітних патологій.

В ряді випадків доцільно використати генеалогічний метод, що передбачає складання і аналіз родоводів. Це дає можливість встановити тип успадковування певної ознаки (рецесивний, домінантний), вирахувати ризик народження дитини з даною ознакою (захворюванням).

Лікування спадкових захворювань. Протягом тривалого часу спадкові захворювання вважались невиліковними. За останні роки розроблено багато ефективних методів лікування цих захворювань, що ґрунтуються на знанні їх причин і клінічних наслідків для організму. Умовно, можна виділити три головні принципи лікування:

1) Вилучення з раціону або обмеження вживання певних речовин. Наприклад, фенілкетонурію лікують вилученням з їжі амінокислоти фенілаланіну.

2) Додавання в їжу або введення в організм деяких речовин. Наприклад, діабет лікують введенням інсуліну; гемофілію – введенням вітаміну К і факторів зсідання крові.

3) Видалення з організму токсичних продуктів обміну речовин. Наприклад, при хворобі Вільсона в тканинах нагромаджується мідь. Речовина пеніциламін зв'язує мідь і виводить її з організму.

Надзвичайно перспективним методом лікування такого роду захворювань обіцяє стати генна інженерія, коли дефектний ген у хворої людини замінюють нормальним, використовуючи різноманітні маніпулятивні технології.

Профілактика спадкових захворювань. Цей напрямок охоплює широкий комплекс заходів. В першу чергу, це охорона генетичного фонду людини, зокрема запобігання впливу на генетичний апарат різноманітних мутагенів. Іншим важливим заходом є культурно-просвітницька робота з населенням. Тут важливе місце відводиться медико-генетичним консультаціям. Генетичне консультування повинно обов'язково входити до системи заходів охорони здоров'я. Воно необхідне: 1) сім'ям, які мають хвору дитину, з метою визначення генетичного ризику для наступної дитини, а також ймовірності появи спадкового захворювання у братів і сестер; 2) особам, котрі вступають у шлюб, якщо їх непокоять якісь аспекти власного спадкового здоров'я, або здоров'я членів їх сімей; 3) при усиновленні чи удочерінні та в інших випадках.

Основними завданнями медико-генетичних консультацій є: діагностика генетичних порушень, що лежать в основі розвитку спадкових захворювань; прогнозування прояву і подальшої передачі генетичних порушень та схильності до них в окремих індивідів і сімей; попередження прояву генетичних аномалій шляхом усунення провокуючих факторів; лікування

наслідків генетичних аномалій; диспансеризація хворих зі спадковими захворюваннями; консультації, експертизи, медико-генетична і санітарно-просвітницька робота.

Причини мутацій. Поняття про мутагени.

Причини мутацій до кінця не з'ясовані. Встановлена їх залежність від фізіологічного стану клітини, режиму харчування, температури та інших природних факторів. Експериментально доведено, що під дією деяких хімічних речовин, іонізуючих випромінювань кількість мутацій збільшується в сотні разів і зростає прямо пропорційно їх дозі. Фактори, які викликають мутації в організмі називаються *мутагенами*. Забруднення оточуючого середовища відходами виробництва та побутовими відходами, отрутохімікатами, підвищення фону іонізуючого випромінювання – все це призводить до значного збільшення числа різних мутацій у всіх живих організмів, а висока концентрація мутагенів може спричинити навіть їх загибель. Такі мутації є особливо небезпечними і для людини, так як насичують генофонд людства шкідливими генами, які можуть викликати серйозні спадкові дефекти. Організми із зміненими внаслідок мутацій властивостями є матеріалом для природного та штучного відбору.

В організмі людини існують потужні антимутаційні бар'єри, пов'язані з особливостями організації клітинного генетичного апарату. Тому, хоча сучасна людина постійно перебуває в середовищі насиченому різними мутаційними факторами, наш організм озброєний дієвою системою захисту від мутаційної небезпеки. Однак, незважаючи на це, мутації все-таки виникають і викликають різні захворювання.

Види успадкування у людини. За допомогою різноманітних методів досліджень на сьогодні зібрано великий матеріал про спадковість і мінливість людського організму. Цей матеріал переконливо свідчить, що людина підлягає загальним закономірностям успадкування, відкритими Г.Менделем і Т.Морганом. У людини, як і в інших організмів, можна

виділити домінантне і рецесивне успадкування (на сьогодні таких ознак у людини відомо близько 2 500). Зокрема, за домінантним типом успадковуються такі ознаки:

- 1) шерстисте волосся (воно швидко відростає, але січеться і ніколи не буває довгим);
- 2) ознака білого пасма волосся (у деяких сім'ях поява депігментованої ділянки волосся на голові простежується у багатьох поколіннях);
- 3) «куряча» сліпота (нездатність розрізняти предмети в сутінках);
- 4) висунута вперед нижня щелепа й відвисла нижня губа, внаслідок чого рот залишається напіввідкритим;
- 5) гіперхолестеринемія (підвищений вміст холестерину в крові). Від шлюбу двох осіб з гіперхолестеринемією народжуються діти з важкою, іноді смертельною аномалією обміну речовин

Рецесивне успадкування у людини виявляється лише тоді, коли в генотипі об'єднуються два рецесивні алелі. Такі алелі можуть передаватися від батьків до дітей протягом сторіч, залишаючись непізнаними доти, доки не об'єднуються в гомозиготному генотипі. За рецесивним типом успадковуються такі ознаки:

- 1) нульова група крові (O) – результат генотипу i^0i^0 ;
- 2) альбінізм (депігментація волосся);
- 3) гіпотрихоз (відсутність волосся);
- 4) фенілкетонурія;
- 5) спадкова глухонімота

Модифікаційна мінливість та її властивості.

Іншою формою мінливості є фенотипна або неспадкова. При фенотипній мінливості зміна ознак організму відбуваються без змін генотипу і не передаються потомству (якщо відсутні умови, що її спричинили). Одним із видів цієї мінливості є вікова, що є наслідком природного процесу старіння організму.

Інший вид генотипної мінливості – модифікаційна. Вона виникає у генотипно однорідних особин, які перебувають у різних умовах середовища. Відомо, що фенотип будь-якої особи формується під впливом її генотипу і умов середовища, в якому відбувається розвиток. На кожен організм впливають чинники зовнішнього середовища – температура, вологість, інтенсивність сонячного опромінення, доступність і якість поживних речовин і т. ін. Взаємодіючи з генотипом, зовнішнє середовище формує певний набір ознак організму, впливаючи на ступінь прояву певної ознаки, або навіть появу нових ознак. При однаковому генотипі в різних умовах середовища ознаки можуть бути різними. Модифікаційна мінливість спричинює зміни певних ознак у певних напрямках і має масовий характер. Межі модифікаційної мінливості тобто ступінь мінливості ознаки в залежності від умов середовища, називають *нормою реакції*.

Норма реакції – це діапазон модифікаційної мінливості організму. Вона залежить від умов зовнішнього середовища, в яких відбувається реалізація генетичної інформації, закладеної в генотипі. Від цих умов залежить поява, зникнення або ступінь виявлення ознаки. Різні ознаки одного організму мають неоднакову норму реакції. Наприклад, у пшениці в залежності від термінів посіву, густоти посіву, наявності добрив і т.д. найбільш мінливими ознаками (з широкою нормою реакції) є висота рослини, врожайність; менш мінливими (вузька норма реакції) є густота колосу, маса 100 зерен. Майже не залежать від умов середовища колір колосу і зерна, наявність або відсутність остюків та ін. Забарвлення квітки льону змінюється залежно від температури повітря.

Отже, організми успадковують не ознаки і властивості, а здатність формувати певний фенотип. Яким саме він буде, залежить як від генотипу, так і від конкретних умов навколишнього середовища.

Таким чином, модифікаційна мінливість характеризується наступними властивостями: 1) неспадковістю; 2) залежністю від дії факторів зовнішнього

середовища; 3) груповим характером змін; 4) обмеженістю ступеню змін певної ознаки з боку генотипу.

Спадкова і неспадкова форми мінливості забезпечують усю різноманітність індивідуальних відмінностей організмів, однак роль кожної з цих форм різна: спадкова мінливість є основою еволюції та постачає матеріал для селекції; неспадкова – забезпечує пристосування організмів до змінних умов навколишнього середовища.

Тема 4. Генотип як цілісна система

Ознайомлення з прикладами успадкування ознак при моно- та дигібридному схрещуванні може привести до висновку, що генотип організму складається зі суми окремих генів, що діють незалежно один від одного, і визначають розвиток тільки «своїх» ознак. Таке уявлення про безпосередній і однозначний зв'язок гена з кодовою ним ознакою дуже часто є помилковим. Насправді існує дуже велика кількість ознак і властивостей живих організмів, що визначаються двома або більшою кількістю пар генів і, навпаки, один ген часто контролює розвиток багатьох ознак. Наприклад, у вівса забарвлення лусочок і довжина остюка насіння визначаються одним геном. У дрозофіли ген, що визначає білий колір очей одночасно впливає на колір тіла, довжину крил, плодючість і тривалість життя. Можна припустити, що кожний ген має безпосередній вплив на розвиток певної «своїх» ознак організму і одночасно опосередкований вплив на розвиток іншої або інших ознак.

Дія окремого гена може бути змінена впливом сусіднього з ним гена і умовами зовнішнього середовища. Таким чином, в онтогенезі діють не окремі гени, а весь генотип як цілісна система зі всіма складними зв'язками і взаємодіями між окремими його компонентами. Ця система є динамічною оскільки в результаті мутацій можуть з'являтися нові алелі або навіть гени.

Характер вияву дії гена в складі генотипу як системи може змінюватися в залежності від різних ситуацій і під впливом різних факторів.

Нижче наведені деякі властивості генів і особливості вияву їх дії, які підтверджують цей постулат:

1. Ген є дискретним у своїй дії, тобто його активність не залежить від активності інших генів.

2. Ген виявляє специфічність своєї дії, тобто відповідає за прояв конкретної ознаки чи властивості організму.

3. Ген може діяти градуально, тобто посилювати ступінь прояву ознаки при збільшенні кількості домінантних алелей (доза гена).

4. Один ген може впливати на розвиток різних ознак – це множинна чи плейотропна дія гена.

5. Різні гени можуть виявляти однаковий вплив на розвиток однієї ознаки – це множинні гени або полігени.

6. Ген може взаємодіяти з іншими генами в результаті чого можуть з'являтися нові ознаки. Така взаємодія відбувається опосередковано, за допомогою синтезованих під їх контролем продуктів своїх реакцій.

7. Дія гена може бути модифікована зміною його розташування в хромосомі (ефект розташування) або впливом різних чинників зовнішнього середовища.

Як приклад, розглянемо варіанти взаємодії алельних генів. Явище, коли за одну ознаку відповідає декілька генів (алелей) називають взаємодією генів. Якщо це алелі одного гена, то такі взаємодії називаються алельними; якщо алелі належать різним генам – неалельними. Виділяють наступні головні типи алельних взаємодій: домінування, неповне домінування, наддомінування, кодомінування.

Домінування – тип взаємодії двох алелей одного гена, коли один з них повністю пригнічує вияв дії іншого. Таке явище можливе за наступних умов: 1) домінантний алель в гетерозиготному стані забезпечує синтез продуктів в кількості достатній для вияву ознаки такої ж якості, як у випадку домінантної гомозиготи; 2) рецесивний алель зовсім неактивний, або продукти його активності не взаємодіють з продуктами активності домінантного алеля.

Прикладами такої взаємодії алельних генів може бути домінування червоного кольору квітів гороху над білим, темного кольору волосся над світлим, карих очей над голубими і т.д.

Неповне домінування, або проміжний характер успадковування, спостерігається в тому випадку, коли фенотип гібриду (гетерозиготи) відрізняється від фенотипу обох батьківських гомозигот. Тобто вияв ознаки виявляється проміжним. В основі цього явища лежить неактивність рецесивного алеля, а ступінь активності домінантного алеля недостатній для забезпечення прояву домінантної ознаки у повному обсязі.

Неповне домінування є доволі поширеним явищем. Воно спостерігається при успадкуванні хвилястого волосся у людини, масті великої рогатої худоби, кольору пір'я у курей, а також багатьох інших морфологічних і фізіологічних ознак у рослин, тварин і людини.

Наддомінування – більш сильний вияв ознаки у гетерозиготної особи (Aa), порівняно з будь-якою із гомозигот (AA) або (aa). Вважається, що це явище лежить в основі гетерозису.

Кодомінантність. Не завжди один алель домінує над іншим. Іноді виявляють свою дію обидва. Таке явище отримало назву кодомінантності. Розглянемо це на прикладі груп крові людини.

Група крові у людини кодується трьома алелями: I^A , I^B та i^o . Ген i^o не обумовлює синтезу специфічного білка, тому індивіди з генотипом $i^o I^B$ I групу крові. У людей з генотипом $I^A I^A$ або $I^A I^B$ специфічний білок А; вони мають II групу, або А-групу. У осіб з генотипом $I^B I^B$ або $I^B i^o$ еритроцити містять білок типу В і вони мають III, В-групу крові. У індивідів з генотипом $I^A I^B$ синтезуються обидва білки, що і обумовлює IV, АВ-групу. Тобто можна сказати, що алелі I^A і I^B домінують над i^o , тоді як один одного вони не пригнічують (кодомінують).

Знаючи групи крові батьків, можна визначити, які групи крові можливі у їхніх дітей. Розглянемо випадок, коли мати має I, а батько IV групу.

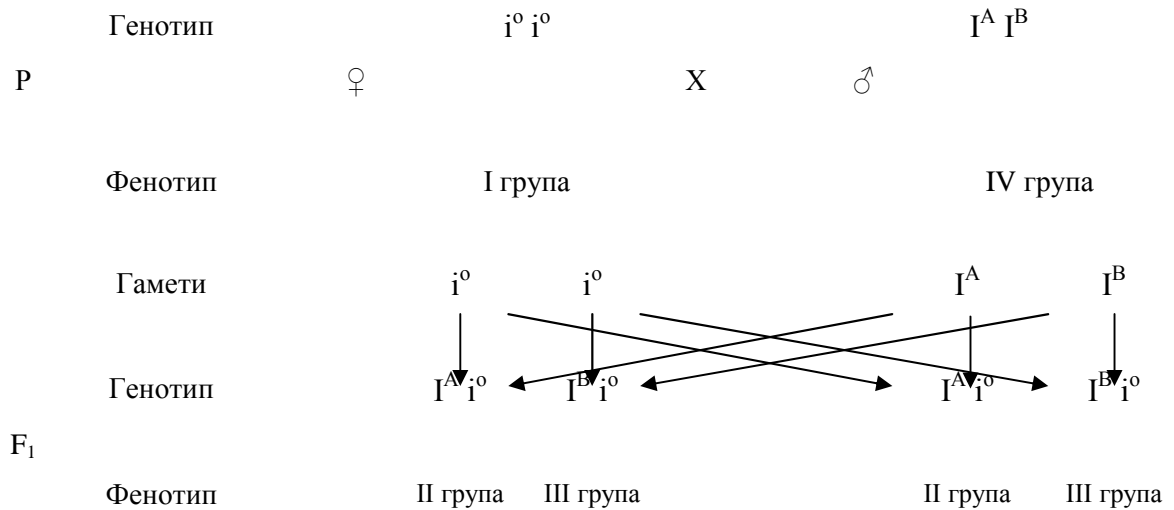
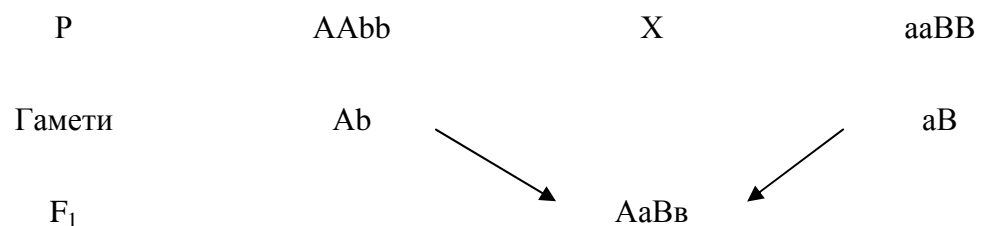


Схема 2.8. Успадкування груп крові у дітей

Отже, їхні діти можуть мати лише другу і третю групи крові. Цей приклад яскраво показує, що успадковуються не ознаки, як такі, а їхні матеріальні носії (гени).

Взаємодія неалельних генів. Це явище описане у багатьох рослин і тварин. Воно призводить до появи у потомстві дигетерозиготи незвичного розщеплення за фенотипом, наприклад, 9 : 3 : 4; 9 : 6 : 1; 13 : 3; 12 : 3 : 1, тобто модифікації загальної менделівської формули 9 : 3 : 3 : 1. Відомі випадки взаємодії двох, трьох і більшої кількості неалельних генів. Серед них виділяють такі головні типи: комплементарність, епістаз і полімерія.

Комплементарною або додатковою називають таку взаємодію неалельних домінантних генів, в результаті якої виявляється ознака, що відсутня у обох батьків. Наприклад, при схрещуванні двох сортів духмяного горошку з білими квітами з'являється потомство з пурпуровими квітами. Якщо позначити генотип одного сорту $AAbb$, а іншого – $aaBB$, то



Гібрид першого покоління з двома доміантними генами А і В почав виробляти пурпуровий пігмент антоціан, тоді як поодиноці ані ген А, ані ген В не можуть забезпечити його синтез. Синтез антоціану являє собою ланцюг послідовних біохімічних реакцій, що контролюються декількома неалельними генами і тільки за наявності як мінімум двох доміантних генів (А і В) сукупність цих реакцій починає діяти.

Іншим класичним прикладом цього явища може служити успадкування форми гребеня у курей. Доміантний алель А визначає розвиток трояндоподібної форми гребеня, в той час як інший доміантний алель В – гороховидної форми. Наявність в генотипі двох доміантних алелей (АВ) забезпечує новоутворення – горіховидний гребінь.

Епістаз (від грец. зупинка, затримка) – це такий тип взаємодії генів, за якого алелі одного гена пригнічують прояв алельної пари іншого гена. Гени, які пригнічують дію інших генів, називаються епістатичними, інгібіторами або супресорами. Пригнічений ген називається гіпостатичним. Епістаз буває доміантним і рецесивним. Доміантний епістаз має місце тоді, коли відбувається пригнічення доміантним алелем (А) одного гена дії доміантного алеля (В) іншого гена. Рecessивний епістаз – це пригнічення рецесивним алелем (а) одного гена, що перебуває в гомозиготному стані, вияву доміантного (В) або рецесивного (b) алеля іншого гена.

Полімерія виявляється в тому, що одна ознака формується під впливом декількох неалельних генів з однаковим фенотиповим проявом. Такі гени називаються полімерними (полігени). В цьому випадку приймається принцип однозначної дії генів на розвиток ознаки. Ступінь вияву ознаки в організмі залежить від кількості однозначних генів в геномі, оскільки їхня дія підсумовується (кумулятивна полімерія). Полігени прийнято позначати A_1 , A_2 , A_3 тощо.

Однак є гени з однозначною дією, які визначають ще й якісні ознаки. У цьому випадку навіть одного доміантного алеля такого гена досить, щоб викликати розвиток ознаки (некумулятивна полімерія). Наприклад, при

схрещуванні рослин пастушачої сумки з трикутними і овальними стручками, у гібридів першого покоління стручки трикутної форми. При їх самозапиленні у другому поколінні відбувається розщеплення на рослини з трикутними і овальними стручками у співвідношенні 15 : 1. Це пояснюється тим, що існують два гени, які діють однозначно.

За типом полімерії успадковується більшість кількісних ознак, у тому числі таких, які мають господарську цінність (наприклад, несучість курей, довжина колоса, вміст цукру в коренях буряків). Тому вивчення полімерії має не тільки теоретичне, а й важливе практичне значення.

Таким чином, узагальнюючи все вищевикладене, можна зробити висновок, що фенотип – це результат взаємодії генотипу як цілісної системи із зовнішнім середовищем в процесі індивідуального розвитку особини. Той факт, що генотип реагує на зміни параметрів зовнішнього середовища як єдине ціле, свідчить про еволюційний характер цього пристосування. Очевидно, що переваги у процесі історичного розвитку органічного світу отримували ті особини, які оперативні і гнучко реагували на «зовнішні виклики». Забезпечити таку реакцію-відповідь найкраще може в сукупності весь генотип.

Біотехнологія.

Біотехнологія є окремою галуззю знань і практичної діяльності людини. Основу біотехнології складають теоретичні знання і технології, що використовуються у таких науках як молекулярна біологія, цитологія, ембріологія, мікробіологія, генетична інженерія. Однак на відміну від названих наук, біотехнологія має чітку прикладну спрямованість. Суть біотехнології у практичному використанні новітніх досягнень біологічних наук з користю для людини і отриманні в кінцевому підсумку економічного зиску.

Біотехнологію можна визначити як галузь людської діяльності, що спрямована на використання досягнень біологічної науки для задоволення практичних потреб людини.

На сьогоднішній день біотехнологію використовують в багатьох важливих галузях економіки, наприклад таких як сільське господарство, харчова промисловість, виробництво лікарських препаратів (вакцини, антибіотики).

Зазвичай біотехнологію поділять на дві галузі – традиційну і сучасну. До традиційної біотехнології відносять ті процеси, які люди використовують уже декілька тисяч років (наприклад, виробництво вина, пива, випікання хліба). Натомість сучасна біотехнологія пов'язана з використанням людиною найновіших досягнень біологічної науки, зокрема молекулярної біології, генетики, цитології, гістології, ембріології. Найважливішими галузями застосування сучасної біотехнології є сільське господарство і медицина. За допомогою методик сучасної біотехнології створюють генетично модифіковані організми, виробляють гормони, амінокислоти, антибіотики, біопаливо.

Історія розвитку біотехнології

До сьогоднішнього дня доволі поширеною є думка, що біотехнологія з'явилася зовсім недавно, а її поява, розвиток і успіхи тісно пов'язані з новітнім досягненням біологічної науки. Однак таке твердження є хибним. Людина вперше розпочала використовувати біотехнологічні прийоми декілька тисяч років тому, ще навіть не розуміючи їх суті (наприклад, коли випікала хліб, виробляла вино чи пиво, виготовляла сир). До речі, процеси вирощування рослин чи годівлі тварин, виготовлення ліків з трав чи мінералів також можна віднести до біотехнологічних. Твердження про сучасний характер біотехнології ґрунтується, очевидно, на тому, що лише за останні десятиліття цей напрямок набув бурхливого розвитку і небачені можливості для використання своїх досягнень. Це безпосередньо пов'язане з успіхами багатьох біологічних наук і створенням технологій практичного застосування цих досягнень для потреб людини.

Слід зазначити, що прискореному розвитку біотехнології сприяли також наукові відкриття і в інших галузях знань, наприклад у фізиці. Як

приклад, можемо навести відкриття явища радіоактивності. Застосування радіаційного випромінювання для обробки біологічних об'єктів (бактерій, грибів) дозволило в сотні разів збільшити частоту їх мутацій. В свою чергу, це розширило базу для пошуку особин з певними властивостями, особливо цінними для людини. Наприклад, у гриба *Penicillium*, вдалося виділити штами, які виробляли в 20 разів більше пеніциліну, ніж вихідна форма.

Традиційно, історію біотехнології зазвичай поділяють три етапи. *Перший* розпочався ще в прадавні часи і був оснований на спостереженнях людини за природою і емпіричному досвіді. Людина в ті часи не розуміла суті біотехнологічних процесів, а просто використовувала їх. *Другий* період розпочався приблизно у XVIII ст., коли поступово почали пізнавати закони розвитку і функціонування живих організмів, а природничі науки розвивалися особливо бурхливо. Останній – третій період, бере свій початок в другій половині XX ст., коли були розроблені технології маніпуляції з клітиною та її складовими, зокрема ДНК.

Подією, що поклала початок біотехнології можна вважати відкриття процесу спиртового бродіння. Авторами цього відкриття були стародавні шумери, які декілька тисяч років тому до нашої ери використали цей процес для виробництва пива. Приблизно тоді ж, або трохи згодом, бродіння було застосовано для виробництва вина, сирів і молочних продуктів, а також для виробництва пухкого хліба. Не підлягає сумніву, що ані шумери, ані їх наступники не розуміли суті явища бродіння, але це не завадило їм його використовувати. Ще однією галуззю, де біотехнологію використовують з давніх-давен є медицина. Люди давно помітили лікувальні та інші цілющі властивості багатьох рослин. Ці дані накопичувалися і передавалися з покоління в покоління, творячи основу сучасної народної медицини.

Другий період розвитку біотехнології ознаменувався подальшим розвитком процесу виробництва вина (люди навчилися дистилювати вино і отримувати спирт). В кінці XIX ст. було встановлено, що для спиртового бродіння не обов'язково використовувати цільні дріжджі, для цього

достатньо застосувати екстракт з дріжджових клітин. Екстракт містить всі ферменти, які необхідні для здійснення комплексу реакцій процесу спиртового бродіння. Це відкриття мало величезний вплив на вдосконалення біотехнологічних процесів. В даний час замість дріжджів доволі часто використовують ферменти, які вони містять, або які синтезовані штучно. Наприклад, за допомогою ферменту інвертази розкладають дисахарид сахарозу на глюкозу і дуже солодку фруктозу. Останню використовують в процесі виробництва багатьох кондитерських виробів. На межі XIX і XX ст. було відкрито, що за допомогою бактерій можна виробляти певні речовини, які використовуються в хімічній промисловості (гліцерол, ацетон, бутанол).

До цього ж періоду належить ще одне видатне біотехнологічне відкриття – початок виробництва вакцин. В кінці XVIII ст. англійський лікар Едвард Дженнер здійснив перше щеплення людини від грізного на той час вірусного захворювання – віспи. Він заразив людей вірусом коров'ячої віспи, що не викликає захворювання у людей, але створює у них імунітет до цієї інфекції. Довший час у вакцинах застосовували вбиті або ослаблені збудники захворювань. Досягнення генетичної інженерії та імунології дозволили створити сучасні вакцини, що зазвичай містять фрагменти білкових молекул оболонки збудника (іноді синтезовані штучно), які викликають імунну реакцію-відповідь в організмі куди їх вводять.

Наступним величезним успіхом біотехнології стало відкриття антибіотиків. Антибіотики були відкриті в 1928 р. Олександром Флемінгом, який вперше зауважив негативний вплив пліснявого гриба *Penicillium* на ріст бактерій. Через 10 років був виділений пеніцилін, а згодом стрептоміцин та інші антибіотики, які зробили справжню революцію в лікуванні багатьох захворювань. Сучасні антибіотики – синтетичні та напівсинтетичні, отримують в тому числі з використанням біотехнологій.

Для того аби зрозуміти наступний – третій етап розвитку біотехнології, слід коротко зупинитися на тих сучасних технологічних прийомах, що лежать в її основі.

Сучасна біотехнологія виникла і розвинулася після створення методик виділення ДНК, маніпулювання нею та внесення її фрагментів в інші клітини. Першим етапом цієї роботи є виділення препарату чистої ДНК з тканини. З цією метою кусочок тканини, з якої потрібно виділити ДНК, подрібнюють в спеціальному розчині, який руйнує структуру клітин і робить можливим вихід ДНК у розчин. Після цього слід відділити ДНК від інших речовин, що містяться у розчині і в першу чергу від білків. Для цього додають фермент протеазу (він розщеплює білки) та інші реагенти. В результаті отримують водний розчин чистого препарату ДНК. Як Ви пам'ятаєте, молекула ДНК – це двониткова спіраль біополімера мономерами якого є нуклеотиди (кожен нуклеотид складається з азотної основи, яких є чотири види – аденін, гуанін, тимін і цитозин, залишку фосфорної кислоти і цукру рибози). Таким чином нуклеотиди відрізняються один від одного лише азотною основою. Нуклеотиди в паралельних ланцюгах ДНК розташовуються один навпроти одного за принципом комплементарності (навпроти аденіну – завжди тимін, а навпроти гуаніну – цитозин). Полінуклеотидний ланцюг ДНК містить різні за своїм значенням ділянки: гени – ділянки ДНК, де записана інформація про структуру окремого білка, промотори – ділянки, які запускають процес транскрипції з окремого гена та інші.

Макромолекула ДНК складається із сотень тисяч і навіть мільйонів пар нуклеотидів, тому працювати з такою гігантською молекулою незручно. Для більшості біотехнологічних маніпуляцій існує потреба працювати з окремим геном. В середньому ген має декілька тисяч нуклеотидів. Для поділу молекули ДНК на фрагменти використовують спеціальні ферменти – рестриктази. Особливість дії цих ферментів в тому, що вони розрізають ланцюг ДНК лише в певних місцях – там, де існує визначена послідовність нуклеотидів, яку молекула ферменту «розпізнає». Наприклад, рестриктаза Eco RI розрізає ДНК тільки в межах ділянки, що налічує 6 пар нуклеотидів в наступній послідовності:

Г – А – А – Т – Т – Ц

Ц – Т – Т – А – А – Г

Зрозуміло, що інша рестриктаза буде працювати в іншому місці ланцюга ДНК, з іншою послідовністю нуклеотидів. Встановлено, що такі визначені для кожної рестриктази послідовності зустрічаються в молекулі ДНК що кілька тисяч пар нуклеотидів. Таким чином, використовуючи набір рестриктаз можна розрізати молекулу ДНК на короткі ділянки. Однак чудові властивості рестриктаз на цьому не вичерпуються. Деякі з них розрізають дві нитки молекули ДНК не в одному місці, а зі зміщенням в декілька нуклеотидів. Це призводить до появи на обох фрагментах розрізаної ДНК так званих «липких кінців»:

Г – Г – А – А – Т – Т – Ц – Г

Г – Г

А – А – Т – Т – Ц – Г

Ц – Ц – Т – Т – А – А – Г – Т

Ц – Ц – Т – Т – А – А

Г – Т

За принципом комплементарності такі «липкі кінці» можуть швидко «пізнавати» один одного і знову утворювати цілу двониткову молекулу.

Наступним етапом є поділ отриманої суміші фрагментів молекули ДНК за їх розмірами. Для цього використовують метод електрофорезу в агарозі. Метод електрофорезу базується на тому, що молекули органічних речовин містять на своїй поверхні електрично заряджені групи. Якщо помістити ці молекули в електричне поле, то вони почнуть рухатися в ньому. У випадку молекул ДНК середовищем, в якому здійснюється їх розділення, є агароза – полісахарид, що має просторову молекулярну структуру подібну на мереживо. Опір агарози призводить до того, що дрібніші фрагменти ДНК будуть рухатися швидше, а великі – повільніше. Після закінчення процедури розділення електричний струм відключається, агарозна пластинка занурюється в барвник, який зафарбовує ділянки, що містять фрагменти ДНК. Якщо тепер акуратно вирізати ці зафарбовані ділянки і помістити їх в сольовий розчин, то ми отримаємо окремі розділені фрагменти молекули ДНК в розчині.

Клонування ДНК. В результаті поділу молекули ДНК рестриктазами ми отримуємо суміш із тисяч її фрагментів. Як серед них знайти той єдиний, що кодує білок, який нам потрібний? Для цього використовують наступну методику. Кожен фрагмент молекули ДНК поміщають в окрему клітину бактерії. Оскільки фрагментів є дуже багато, то відповідно і кількість бактерій, необхідних для такої маніпуляції, обчислюється десятками або й сотнями тисяч. Далі кожну таку бактерію з модифікованою ДНК поміщають у відповідне поживне середовище в лабораторних умовах, аби вона розмножилась і утворила колонію. Після цього, за допомогою спеціальних методик визначають ту колонію, мікробні клітини якої синтезують необхідну речовину. Таким шляхом можна отримати практично будь-який білок людського організму.

Додатковою і надзвичайно важливою перевагою мікробного синтезу людських білків є те, що мікробна клітина не містить збудників небезпечних для людини інфекцій (наприклад вірусу СНІД, або пріонів, що викликають важкі нейродегенеративні захворювання, наприклад, хворобу Крейцфельда-Якоба). Якби синтезовані білки виділяли з тканин людини або тварин, то небезпека такого забруднення була б дуже реальною.

Основні напрями застосування сучасних біотехнологічних методик.

Багато років пошук біотехнологічно придатних штамів мікроорганізмів, видів рослин і порід тварин та їх вдосконалення базувалося на використанні їх природної мінливості. Суть цього процесу полягала на відборі особин з найкраще вираженими корисними властивостями і схрещуванні їх між собою. Однак розробка технологій генетичної інженерії, що дозволяли вносити в клітину певний ген і викликати його експресію, радикально змінила ситуацію. Завдяки цьому виникли нові можливості отримання організмів з бажаними властивостями для біотехнологічних цілей. Пошук серед великих популяцій організмів з найкраще вираженими бажаними властивостями поступився місцем конструюванню організмів з тими ознаками, які потрібні для людини.

Сучасна біотехнологія дозволила розв'язати багато проблем людини, або принаймні здешевити і пришвидшити процес їх вирішення. На сьогоднішній день з використанням описаної вище методики, отримують цілий ряд білків та біологічно активних речовин, які використовують з лікувальною метою. Наприклад, інсулін, фактор VIII (білок, який бере участь у процесі згортання крові), гормон росту людини, еритропоетин (білок, що стимулює дозрівання еритроцитів – застосовують при лікуванні анемії) та ряд інших.

Ще одним важливим напрямом застосування сучасних біотехнологічних методик є встановлення тотожності на основі аналізу ДНК. Даний аналіз базується на тому, що організми, які належать до одного виду, хоча й мають подібні молекули ДНК, однак вони відрізняються багатьма одиничними основами. Ці відмінності зумовлені так званими точковими мутаціями, які можуть викликати заміну азотної основи в будь-якому місці ланцюга ДНК. За такими точковими замінами, ДНК кожної особи даного виду є унікальною.

Якщо така точкова мутація зачепила послідовність, через яку певна рестриктаза розрізає молекулу ДНК, то в цьому місці рестриктаза не спрацює. Однак вона розріже в цьому місці ланцюг ДНК інших людей, в яких така мутація відсутня. Саме на цьому явищі побудований метод визначення тотожності, що називається RFLP (від англ. Restriction Fragments Length Polymorphism) – поліморфізм довжини рестрикційних фрагментів. Він полягає на розрізанні зразків ДНК певним набором рестриктаз з наступним розділенням отриманих фрагментів шляхом електрофорезу в пластинках агарози. Порівнюючи довжину міграції окремих фрагментів ДНК різних зразків можна зробити висновок про їх ідентичність або відмінність. Даний метод широко використовують в криміналістиці (наприклад порівнюючи ДНК крові вбивці, знайдену на місці злочину, з ДНК крові підозрюваного), або при визначенні батьківства.

Ще одним важливим напрямом застосування біотехнологій у житті сучасної людини є використання мікроорганізмів для знезараження побутових і промислових відходів. Скупчення людей у сучасних містах продукують велику кількість відходів, які за нормальних умов бактерії переробити не в стані. Тому рідкі відходи скеровують на спеціальні очисні споруди, де застосовують різноманітні технології, в тому числі і біологічні. З їх допомогою зменшують кількість шкідливих речовин до концентрацій, які дозволяють скидати очищені відходи у відкриті водойми.

Трансгенні організми.

Вносити фрагменти чужої ДНК можна не тільки в мікробні клітини, але й в клітини тварин або рослин. Організми, всі клітини якого в своїх хромосомах містять фрагменти чужої ДНК (трансген) називаються трансгенними, а процес внесення «чужої» ДНК в клітину називається трансформацією. Скорочено такі організми позначаються аббревіатурою ГМО (Genetically Modified Organisms), в українській транскрипції – ГМО (генетично модифіковані організми).

З якою метою вносять трансген в клітини тварин чи рослин? У більшості випадків для покращення споживчих (господарських) якостей. Зміни внесені в ДНК деяких важливих сільськогосподарських культур (рис, соя, кукурудза, бавовна) збільшили врожайність, підвищили стійкість до захворювань, що дозволило зменшити внесення в ґрунт шкідливих хімічних речовин. Генетичні модифікації, що здійснюються із сільськогосподарськими культурами мають на меті збільшити їх стійкість до шкідників, різноманітних захворювань, дії гербіцидів, впливу несприятливих факторів зовнішнього середовища (посуха, засолення ґрунтів), а також підвищити врожайність, швидкість досягання та покращити їхні споживчі якості.

Наприклад, при вирощування деяких видів рослин, втрати від різноманітних вірусних захворювань можуть сягати до 80% врожаю. Внесення фрагментів ДНК патогенних вірусів до клітин рослин робить їх стійкими до дії даного вірусу. Подібним чином борються і з шкідниками

сільськогосподарських культур. Було встановлено, що деякі бактерії виробляють речовини, які є дуже токсичними для комах-шкідників. Внесення гену, що кодує цей токсин до геному рослин, забезпечує їх від нищення цими комахами. Таким чином вже вивели сорти кукурудзи, бавовни та картоплі, які не поїдаються комахами – шкідниками. На сьогодні близько 80% трансгенних сільськогосподарських культур є нечутливими до дії гербіцидів, зокрема такого популярного як «Раундап». Цього досягли шляхом перенесення генів, які обумовлюють стійкість до дії гербіцидів від бактерій до рослин. Вже набули поширення соя, кукурудза, бавовна, рис, ріпак, що нечутливі до дії гербіцидів.

Медицина отримала нові методи діагностики захворювань, з'явилися шанси на використання певних видів клітин для вирощування і регенерації окремих органів і тканин. Технологія клонування тварин дозволяє отримувати точні копії існуючих організмів. З іншого боку, досягнення сучасної біотехнології викликають у багатьох людей занепокоєння. Це пояснюється непередбачуваними наслідками використання генетично модифікованих організмів для навколишнього середовища та для здоров'я самої людини.

Клонування організмів. Ми вже розглядали клонування ДНК. Аналогічна процедура отримання копії цілого організму називається клонуванням організму. Методи клонування були розроблені ще на початку 60-х років минулого століття. Ці методи розробили для того щоб довести, що ядра зрілих клітин містять усю інформацію необхідну для кодування всіх ознак організму і що спеціалізація клітин зумовлена включенням і виключенням певних генів, а не втратою деяких з них.

Перший успіх з клонування був досягнутий на моркві. Вирощуючи окремі клітини кореню моркви (їстівної частини) в спеціальному середовищі, що містило поживні речовини і гормони, вдалося виростити цілу рослину. Після рослин настала черга хребетних тварин. Ядро з клітини кишечника жаби пересадили в яйцеклітину жаби, власне ядро якої було зруйноване. З

цієї яйцеклітини вдалося виростити головастика, а згодом і жабу, яка була ідентична тій жабі з клітини кишечника якої взяли ядро. Через деякий час в університеті м.Едінбург у Шотландії була клонована знаменита вівця Доллі.

Однак коли ейфорія після перших успіхів вщухла, виявилось, що розвиток клону відбувається неправильно. Клон, як правило, має численні дефекти, передчасно старіє, часто хворіє на різноманітні захворювання, в тому числі і ракові. Побоювання щодо можливості клонування людини виявилися передчасними. Методика, застосована для клонування овець та деяких інших тварин не спрацьовує у випадку людини.

Етичні проблеми сучасної біотехнології. Сучасна біотехнологія зробила справжню наукову революцію, технологічний прорив, всі наслідки якого нам ще слід оцінити. Разом з тим, ці досягнення породили і невідомі людству серйозні проблеми етичного характеру.

Якщо говорити про сільське господарство, то найбільші побоювання пов'язані з тим, що широке застосування трансгенних організмів в раціонах харчування сучасної людини буде мати серйозний негативний вплив на її здоров'я. Заради справедливості слід сказати, що кількість людей, які на протязі останніх 10 років споживають генетично модифіковані продукти обчислюється сотнями мільйонів. Дотепер у них не зафіксовано якихось захворювань, або погіршення стану здоров'я, що можна було б пов'язати із вживанням ними ГМО. Однак це зовсім не означає, що такі проблеми не виникнуть в майбутньому.

У більшості розвинутих країн світу діють суворі норми, які вимагають докладного опису хімічного складу продуктів з ГМО і попередженням про можливі наслідки їх вживання. Повсюдно визнаним у світі є право споживача самому вирішувати вживати чи не вживати продукти з ГМО. Тому у більшості країн діють вимоги щодо обов'язкового маркування продуктів з ГМО (відповідні позначки на етикетках).

Іншою небезпекою є поширення генетично трансформованих організмів в природі і їх змішування з геномами не модифікованих

організмів. Наслідки такого генетичного «забруднення» навколишнього середовища важко передбачити, хоча дотепер не зафіксовано жодних проблем.

Розвиток традиційної біотехнології

Хоча прийоми, що застосовуються в традиційній біотехнології за останні декілька тисяч років кардинально не змінилися, однак це не означає, що традиційна біотехнологія є «мертвою» галуззю знань, що не зазнає жодних змін. Розвиток науки і технологій дозволяє постійно вдосконалювати біотехнологічні процеси, підвищувати їх продуктивність, знижувати затрати. Нижче ми розглянемо деякі галузі, де застосовуються традиційної біотехнології.

У більшості біотехнологічних процесів використовуються мікроорганізми. З їх допомогою можна отримувати багато речовин різноманітного призначення. В промислових умовах для розмноження мікроорганізмів використовують спеціальні пристрої, які називаються ферментерами. Потреба у їх використанні зумовлена цілим рядом причин. По-перше, за допомогою ферментера можна створити оптимальні умови для швидкого розмноження мікроорганізмів; по-друге, вчасно зупинити процес, коли кількість необхідного продукту в мікробній біомасі стане максимальною; по-третє, відділити продукт від супутніх речовин і домішок.

Ферментер представляє собою двостінний бак виготовлений з металу. Між стінками баку під тиском подається вода з метою охолодження внутрішнього середовища, оскільки процес інтенсивного розмноження мікробних клітин супроводжується виділенням тепла. Спеціальне обладнання, яким забезпечується ферментер, дозволяє контролювати і за потреби регулювати такі параметри, як температура, рН середовища, рівень аерації (забезпечення киснем). На валу, який проходить по центру ферментера і обертається за допомогою електродвигуна, розташовані спеціальні лопатки для перемішування його вмісту. Оскільки переважна більшість бактерій, які використовуються в біотехнологічних процесах

мікробного синтезу, потребують для свого життя і розмноження кисень, його продувають крізь поживне середовище. Внизу ферментера влаштовують отвір для евакуації його вмісту.

Завдяки використанню у ферментерах генетично модифікованих мікроорганізмів, можна отримувати у промислових масштабах продукти, які в нормі ними не виробляються. В табл. 2.1 подані головні продукти, які отримують за допомогою мікроорганізмів, використовуючи біотехнологічні прийоми.

Табл. 2.1 Головні напрямки використання біотехнологій

Галузі застосування	Речовини
Промисловість	Етанол, ацетон, бутанол, ферменти
Сільське господарство	Гормони рослин
Споживча промисловість	Амінокислоти, органічні кислоти (напр. лимонна), нуклеотиди, вітаміни
Медицина	Антибіотики, алкалоїди, похідні стероїдів, інсулін, гормон росту, інтерферон
Транспорт	Біопаливо: етанол, метан, водень

Виробництво антибіотиків. На сьогодні виробництво антибіотиків становить важливу біотехнологічну галузь. Масове застосування антибіотиків розпочалося в 50-х роках минулого століття. Однак згодом виникла проблемна ситуація, а саме: поява мікроорганізмів стійких до дії антибіотиків (в результаті дії добору). Яскравим прикладом цього явища може бути еволюція патогенного мікроорганізму родини *Staphylococcus* (стафілокок). Якщо на початку ери застосування антибіотиків вони були чутливими до пеніциліну, то в даний час стафілокок не реагує на цей антибіотик. У зв'язку з цим існує постійна потреба у створенні нових антибіотиків (щороку їх реєструють близько 300), до яких патогенна мікрофлора ще не виробила стійкості. В табл. 2.2 наведені найважливіші антибіотики, які отримують за допомогою біотехнологічних методів, та їх продуценти.

Табл. 2.2 Найважливіші антибіотики та їх продуценти

Група організмів	Назва організмів	Антибіотик
Бактерії	Streptomyces	Еритроміцин, неоміцин, нистатін, стрептоміцин, тетрациклін
	Micromonospora	Гентаміцин
Гриби	Penicillium	Пеніцилін, грізеофульвін
	Cephalosporium	Цефалоспорини

Виробництво вина і сиру. Гриби або бактерії використовують для виробництва хліба, кисломолочних продуктів, сиру, йогуртів, а також вина, пива, оцту, деяких м'ясних виробів (наприклад, сирокочені ковбаси типу сервілад, салямі), деякі соуси. Вказані продукти виробляють переважно за допомогою традиційних технологій.

Вино виготовляють шляхом перетворення виноградного цукру в етиловий спирт дріжджами, які знаходяться на поверхні ягід винограду. Під час витискання соку з ягід, дріжджі потрапляють у сік. Якщо після цього помістити сік в анаеробні умови (без доступу кисню), то розпочнеться процес утворення вина. Однак у виробничих умовах такий шлях не використовують, оскільки з дріжджами у сік потрапляє супутня мікрофлора (зокрема, гнильні бактерії), яка псує смак вина. Тому на виноробних заводах виноградний сік спочатку стерилізують (вбивають мікрофлору), пропускаючи крізь нього двоокис сірки, а потім вносять в нього певну культуру дріжджів, яка і формує неповторний букет певного виду вина.

Сири виробляють з молока. Білки, що знаходяться у молоці, осаджують, а потім обробляють в залежності від того, який вид сиру потрібно виготовити. При виробництві більшості сирів використовують технологію прокисання молока, коли у ньому накопичується молочна кислота і білок випадає в осад. Бродіння молочного цукру до молочної кислоти є результатом діяльності мікрофлори, переважно роду *Lactococcus*.

Інша технологія передбачає внесення в молоко ферментів, які колись традиційно отримували з шлунку телят, а зараз – за допомогою генетично модифікованих організмів. Отриманий з молока сир відгрівають,

відтискають, солять і піддають дозріванню. В залежності від застосовуваної технології отримують або м'який сир типу камембер, або твердий типу чеддер. На сьогодні в світі виробляють близько 2 000 різних видів сиру.

Молочнокислу ферментацію використовують також для приготування квашеної капусти, огірків та інших сільськогосподарських продуктів.

Біодеградація і очищення стічних вод. Біодеградація полягає на розкладанні органічних речовин мікроорганізмами. Мікроорганізми та гриби, які перетворюють органічні відходи, широко розповсюджені в природі. В умовах великих міст відходи накопичуються у великих кількостях, тоді і виникають проблеми з їх переробкою. У такому випадку застосовують спеціальні біотехнологічні методи знезараження. Рідкі побутові відходи скеровують на спеціальні очисні споруди.

Поняття біодеградації стосується органічних відходів отриманих з речовин, які мають природне походження. В залежності від виду відходів процес біодеградації може йти до кінця (тобто до утворення CO_2 і H_2O), або до утворення якихось проміжних продуктів. Однак сучасна людина створює відходи з речовин, які у природі не зустрічаються, а отже не існує природних шляхів їх розкладання. Однак, у ряді випадків, використання біологічних технологій може бути успішним і стосовно таких речовин. Прикладом може бути вилучення хлору з токсичних ароматичних хлорпохідних. В природі ці речовини не зустрічаються, однак широко використовуються у фарбах і розчинниках. Бактерії роду *Dehalospirillum* вилучають хлор з цих речовин у безкисневих умовах, отримуючи завдяки цій реакції необхідну їм енергію. Продукт цієї реакції, що не містить хлору, далі легко розкладається в присутності кисню.

Біодеградація відходів не завжди веде до зменшення небезпеки забруднення навколишнього середовища. Іноді наслідки бувають прямо протилежні. Це, зокрема, може відбуватися тоді, коли процес знезараження йде не до кінця, а зупиняється на проміжній стадії. Наприклад, якщо

трихлоретилен потрапляє в ґрунт, то в умовах браку повітря, мікроорганізми можуть перетворити його у вінілхлорид, що має канцерогенні властивості.

Тема 5. Індивідуальний розвиток організмів

Поняття про онтогенез та основні його етапи. Ембріональний розвиток організмів та його етапи. Гістогенез та органогенез.

Процес запліднення у людини розпочинається з проникнення одного сперматозоїда всередину яйцеклітини. З цього моменту у яйцеклітині розпочинається низка хімічних реакцій, які блокують проникнення інших сперматозоїдів. Оболонка і хвіст сперматозоїда залишаються назовні, а головка, що містить генетичний матеріал, продовжує рух до ядра яйцеклітини і зливається з ним. Утворюється зигота, що містить 46 хромосом (23 хромосоми сперматозоїда і 23 хромосоми яйцеклітини). Розмір зиготи людини близько 0,1 мм. З цього моменту розпочинається індивідуальний розвиток організму (онтогенез) в якому розрізняють ембріональний (зародковий) і постембріональний (після зародковий) періоди. Перший етап онтогенезу – ембріональний розвиток – може бути розділений на кілька періодів: дробіння, гаструляція, утворення тканин і органів зародка.

Дробіння. Після запліднення яйцеклітина ділиться на дві клітини, або два *бластомери* однакової величини. Перший поділ клітини відбувається в площині меридіана. Потім кожний із бластомерів знову ділиться у площині меридіана і утворюються 4 клітини однакової величини. Наступний поділ вже відбувається в площині екватора – утворюється 8 клітин. Після цього меридіональні і екваторіальні поділи чергуються і утворюється 16, 32, 64 бластомери, які щільно прилягають один до одного. Кількість клітин збільшується внаслідок мітозу, але оскільки інтерфаза дуже коротка і бластомери не ростуть, цей процес називають дробінням.

Стадії бластули і гаструли. Коли кількість бластомерів досягає 64, всередині зародка утворюється невелика порожнина (бластоцель), яка заповнена рідиною. При подальшому збільшенні кількості клітин порожнина

збільшується, а всі клітини розташовуються на поверхні зародка в один шар. Це і є бластула. Вона формується приблизно через 6 днів після запліднення.

Другий етап ембріонального розвитку – *гаструляція* – полягає в утворенні двох шарів клітин зародка, тобто *гаструла* – це двошаровий зародок. Найважливішим при цьому є процес диференціації клітин зовнішнього і внутрішнього шарів. На цьому етапі зародок складається з двох листків: зовнішнього (ектодерми) і внутрішнього (ентодерми). Оточена ентодермою порожнина – це первинна кишка, яка відкривається назовні первинним ротом або *бластопором*.

Наступний етап – формування тканин (гістогенез) і процес утворення і розвитку органів (органогенез) – пов'язаний з подальшим диференціюванням клітин. Із ентодерми утворюється третій зародковий листок – мезодерма, який востає між екто- і ентодермою, розділяючи їх. Потім у зародків хребетних тварин розпочинається формування нервової трубки на майбутньому спинному боці зародка шляхом утворення жолобка в ектодермі, краї якого згодом змикаються. Подальше диференціювання приводить до формування із ентодерми епітелію кишок, травних залоз, а також легень. Із мезодерми утворюються кровоносна, видільна системи, скелет, хрящі, м'язи. Із ектодерми окрім нервової трубки утворюються органи чуттів, покривний епітелій, шкіра, волосся, нігті, емаль зубів.

Протягом перших восьми тижнів розвитку ненароджена дитина називається зародком, а решту терміну вагітності – плодом. На третьому тижні формується нервова трубка, яка дає початок спинному і головному мозкові. З четвертого тижня починається серцебиття, можна розрізнити печінку і легені. З восьмого тижня зародок починає рухатись.

У процесі ембріонального розвитку одні тканини або органи зародка впливають на розвиток інших, розташованих поряд. Така спрямовуюча дія тканин, що розвиваються, на хід подальшого розвитку носить назву *індукції*.

Ембріональний розвиток завершується виходом зародка із яйцевих оболонок або народженням у організмів, в яких яйцевих оболонок немає (ссавці). Далі починається постембріональний розвиток.

Постембріональний розвиток та його етапи. Прямий та непрямий розвиток тварин.

Постембріональний розвиток характеризується переходом організмів до самостійного живлення і активного руху. Завершується постембріональний розвиток статевою зрілістю і припиненням росту.

Розрізняють *прямий і непрямий постембріональний розвиток*. Непрямим називається розвиток з перетворенням (метаморфозом).

При першому типі органи зародка в постембріональний період продовжують розвиватися і безпосередньо перетворюються на органи дорослої особини. В цьому випадку вже на початку постембріонального періоду організм має багато подібного з дорослою особиною і відрізняється від неї лише меншими розмірами. За таким типом розвиваються деякі безхребетні (павуки, деякі кільчасті черви, частина комах) і багато хребетних (гризуни, птахи, ссавці).

При непрямому типі постембріонального розвитку із зародкових оболонок виходить личинка, яка дуже відрізняється за будовою і способом життя від дорослої особини. Вона може жити в іншому середовищі і мати інший тип живлення. Наприклад, дорослі особини живуть на суші, а личинки – у воді, або навпаки. У процесі перетворення личинки на дорослу особину відбувається суттєва перебудова всього організму (метаморфоз). Цей тип розвитку характерний для більшості червів, молюсків, багатьох членистоногих, деяких риб і земноводних. Залежно від глибини і форми перебудови, яка відбувається в процесі перетворення личинки на дорослу форму, розрізняють розвиток з *повним та неповним метаморфозом*.

При повному метаморфозі личинка має спеціальні органи, які не властиві дорослим особинам, а її ріст і розвиток супроводжуються

перебудовою всіх органів і систем. Такий тип розвитку має місце у комах (двокрилих, твердокрилих та ін.), а також у таких хребетних тварин, як земноводні.

При неповному метаморфозі личинки мають спільні риси будови з дорослими особинами, але відрізняються від них рядом суттєвих ознак (відсутністю крил, статевого апарату, іншим типом органів дихання). Такий тип розвитку характерний для деяких комах (клопи, воші) і для більшості кліщів. Личинка в процесі перетворення на дорослу особину кілька разів линяє.

Регуляція функцій багатоклітинних організмів. Поняття про гормони.

Важливою умовою існування живих організмів є забезпечення сталості параметрів їх внутрішнього середовища (гомеостазу). Сталість хімічного складу і фізико-хімічних параметрів підтримується безперервною роботою систем органів (кровообігу, дихання, травлення, виділення тощо). Координація і злагоджена діяльність цих систем в організмі забезпечується процесами саморегуляції. Існує два основні механізми саморегуляції – гуморальний та нервовий.

Гуморальний механізм саморегуляції (від лат. humor – рідина) є еволюційно більш давнім. Він зводиться до того, що в різних клітинах організму утворюються певні хімічні сполуки, які володіють дуже високою біологічною активністю і можуть впливати на діяльність інших клітин, тканин, органів і систем органів. Таким чином здійснюється взаємозв'язок і взаємодія між різними частинами організму, забезпечується злагоджена діяльність організму, як єдиного цілого у відповідь на подразнення, які надходять із зовнішнього середовища, або від внутрішніх органів.

Іншим механізмом саморегуляції є регуляція за допомогою нервової системи. Цей вид регуляції виник на пізніших етапах розвитку живих організмів, по мірі ускладнення їх будови і функцій. Виникла потреба в більш оперативній, тонкій і точній відповіді на подразнення. Гуморальний механізм не зміг в повній мірі задовольнити ці вимоги, адже потребував

досить часу на виділення біологічно активної речовини в кров, її транспортування до органу-мішені і формування реакції-відповіді. Окрім цього, молекули, наприклад, гормонів, доволі швидко руйнуються в організмі і для підтримання тривалого ефекту дії необхідно постійне їх надходження в кров. Всіх цих недоліків позбавлений нервовий механізм регуляції. Нервова система здатна дуже швидко, тонко і точно сприймати подразнення, аналізувати їх і формувати відповідь, яка негайно передається по нервових волокнах до відповідних органів, або систем органів.

Одним із класів біологічно активних речовин є гормони. Вони синтезуються у залозах внутрішньої секреції і виділяються безпосередньо в кров. Розносячись плином крові по всьому організму справляють на нього відповідний вплив. Усім гормонам властиві певні риси. По-перше, це невеликий розмір молекули. Це зумовлено потребою проникнення із кровоносного русла в міжклітинний простір до відповідних органів-мішеней. По-друге, як вже було сказано, гормони доволі швидко руйнуються в організмі. Це зумовлено потребою дозувати вплив гормону; адже, якщо б молекули гормонів діяли тривалий час, не було б змоги швидко припинити їх вплив.

Гормони можуть справляти на організм різноманітні види впливів. Вони змінюють обмін речовин, регулюють клітинну активність, змінюють проникність клітинних мембран, впливають на ріст і диференціацію клітин. В організмі немає такої системи органів, яка б не перебувала під гормональним впливом. Зміни в роботі систем органів дихання, травлення, виділення, репродукції, кровоносно-судинній системі та багатьох інших контролюються певними гормонами. Ріст і розвиток організму в цілому, зміна різних вікових періодів також пов'язані із діяльністю залоз внутрішньої секреції.

В організмі нервовий і гуморальний механізми регуляції тісно пов'язані. Активні біологічні речовини, які утворюються в організмі, здатні впливати на функціональний стан нервової системи. З іншого боку, утворення і надходження в кров біологічно активних речовин, перебувають

під контролем центральної нервової системи. Свідченням цього є дуже добра іннервація всіх залоз внутрішньої секреції. Таким чином є всі підстави говорити про єдину нервово-гуморальну систему регуляції функцій організму.

Як свідчення цього ми можемо розглянути реакцію організму на підвищення вмісту цукру в крові. Цей показник є дуже важливим і перебуває під постійним контролем. Збільшене надходження цукру в кров'яне русло викликає подразнення відповідних рецепторних клітин, про що надходить інформація в центральну нервову систему. Звідти по нервових волокнах надходять сигнали до підшлункової залози, яка починає виробляти підвищену кількість гормону інсуліну. Інсулін стимулює процеси зв'язування глюкози і перетворення її в глікоген, який відкладається в печінці і м'язах. Рівень цукру в крові знижується до норми.

Неплідність. Приблизно кожна шоста подружня пара звертається по медичну допомогу з приводу неплідності. За останній час ця кількість виявляє тенденцію до зростання. Причин цього явища багато: погіршення загального стану здоров'я людей (в т.ч. репродуктивного), незадовільний стан навколишнього середовища, неповноцінне та неякісне харчування, поширення інфекційних захворювань, які вражають статеву сферу людини. Багато жінок з різних причин відкладають народження дитини, але після 30-річного віку здатність до запліднення і народження здорового потомства у жінки знижується.

Згідно з даними медичної статистики, близько третини випадків неплідності спричинені порушеннями у статевій системі жінки; інша третина зумовлена порушеннями у чоловіків (найчастіше – зменшенням кількості сперматозоїдів). Приблизно у половині випадків лікування неплідності є ефективним і завершується вагітністю. Тести на неплідність застосовують, якщо жінка не може завагітніти щонайменше на протязі року. При цьому обстежують обох партнерів: жінку для виявлення того, чи виділяються у неї яйцеклітини; чоловіка – на здатність продукувати нормальні сперматозоїди.

Якщо у жінки виявили непрохідність фаллопієвих труб, то може бути застосований такий метод як запліднення у пробірці. При цьому отриману у жінки яйцеклітину змішують у пробірці зі сперматозоїдами та певний час інкубують. Запліднену яйцеклітину вміщують у матку жінки. Можливий також варіант підсаження зародків. Для підвищення ймовірності вагітності можуть одночасно підсаджувати декілька зародків.

Іноді у медичній практиці зустрічаються з такими патологіями, коли жінка не може виношувати плід. У цьому випадку може бути застосована технологія використання сурогатної матері. При цьому отриману від жінки зиготу підсаджують у матку іншої жінки, яка і виношує плід.

Розділ II. Надорганізмові рівні організації життя

Тема 1. Популяція. Екосистема.

На території, яку займає вид, окремі особини зібрані в більш-менш відмежовані одна від одної групи – *популяції*. *Популяція* – (від лат. *популюс*. – народ, населення) – сукупність особин одного виду, що вільно схрещуються між собою, тривалий час мешкають у певній частині ареалу всередині виду і частково або повністю відокремлені від інших подібних угруповань.

Популяція є першою надорганізмовою системою, елементарною одиницею з якої власне розпочинається екологія організмів будь-якої екосистеми.

Отже, вид у межах свого ареалу (зона поширення) розпадається на окремі популяції, пристосовані до певного місцезалежання (екологічні ніші). Одні з них живуть ближче до півночі, інші – до півдня, треті – у помірній зоні. Різні умови середовища спричиняють виникнення більш-менш виражених розбіжностей в популяції і загалом всього виду. Чим різноманітніші умови існування на території поширення виду, тим більшою буде кількість популяцій з яких він складається. Таким чином, популяція є формою існування виду в конкретних умовах середовища, одиницею його еволюції.

Механізми ізоляції окремих популяцій бувають двох типів: територіальні та репродуктивні. У першому випадку межами між популяціями виступають певні бар'єри: гірський хребет, річка. У другому випадку ізоляція відбувається через неможливість схрещування між особинами різних популяцій. Наприклад, рослини конюшини гірської на південному і північному схилах одного й того ж пагорба можуть належати до різних популяцій, оскільки на північному схилі цвітіння починається тоді, коли на південному схилі рослини вже відцвіли.

Вивчення популяційної структури виду має важливе значення при здійсненні заходів з раціонального природокористування. Знання екології

популяцій необхідні при інтродукції (штучне розселення видів за межами їх природного ареалу). Досвід свідчить, що непродумана інтродукція може призвести до повної перебудови екосистеми та зникнення багатьох аборигенних видів. Приклад – розселення кролика в Австралії.

Динаміка популяцій. Загальні уявлення та поняття.

Існує багато чинників, які можуть впливати на чисельність популяції. Чисельність популяції – це загальна кількість особин, які належать до однієї популяції на даній території або в даному об'ємі. Серед них – абіотичні – насамперед це стихійні лиха (повені, пожежі, раптові різкі коливання температури, посухи і т.п.); біотичні (вселення нових видів хижаків, паразити, епідемії); антропогенні (реконструкція ландшафту, застосування хіміопрепаратів).

Всі ці чинники можуть призвести до різкого скорочення чисельності популяції і навіть до її загибелі. Якщо гине популяція, то це викликає ланцюгову реакцію в біоценозі і може спричинити коливання чисельності інших видів. Дослідження свідчать, що загибель одного виду рослин викликає загибель від 3 – 4 до 20 – 30 видів тварин.

Зменшення чисельності популяції призводить до зниження її життєздатності (обмін генетичною інформацією). Чисельність залежить також від співвідношення народжуваності і смертності. Народжуваність – кількість нових особин, які з'явилися за одиницю часу у процесі розмноження. Смертність – кількість особин, які загинули за одиницю часу.

Швидкість зростання популяції визначається біотичним потенціалом. *Біотичний потенціал* – це кількість нащадків, яку здатна дати одна материнська особина за одиницю часу. В одних видів біотичний потенціал може сягати мільйонів, а в інших обмежуватися кількома десятками.

Існує поняття мінімальної чисельності популяції, нижче якої популяція перестає існувати. В деяких випадках (рослинні угруповання) доцільно використовувати не показник кількості особин у популяції, а їх біомасу.

При характеристиці популяцій часто використовують поняття *густоти* або *щільності*, тобто кількості особин певного виду на одиницю площі або об'єму. Особливо активно цей показник використовується в лісовому господарстві для розрахунку ємності мисливських угідь.

Структура популяцій

Кожна популяція характеризується певною структурою, яка її характеризує: статевою, віковою, просторовою. Структура популяції має пристосувальне значення, оскільки формується внаслідок взаємодії особин популяції з умовами довкілля. Вона динамічна, тобто зміни умов середовища життя спричиняють і відповідні зміни структури популяції.

До найважливіших структурних характеристик популяції належить її *розмір* (кількість особин). Розмір популяції має безпосереднє відношення на здатність популяції до виживання. Тут має місце пряма залежність: чим більшим є розмір популяції, тим вищі у неї шанси на виживання. І навпаки. Ймовірність вимирання малих популяцій є набагато вищою, ніж великих.

Кожна популяція в біогеоценозі займає певну площу або об'єм (популяції мешканців водойм). Підтримання меж ділянки досягається завдяки територіальності. *Територіальність* – це будь-який метод підтримання меж ділянки, яка необхідна для повноцінного функціонування особини (спів птахів, мічення території деякими ссавцями). Явище територіальності сприяє регуляції чисельності популяції на рівні, який є нижчим від рівня насичення.

Біомаса – це маса особин у перерахунку на одиницю площі або об'єму.

Накінець існує ще така характеристика популяції як її *дисперсія* або *просторова структура*. Дисперсія популяції – це ще одна ключова її характеристика. Вона визначає просторове розміщення окремих представників популяції по території, яку вона займає. Дисперсія може бути *випадковою* (зустрічається вкрай рідко, коли середовище рівномірне, а організми не намагаються об'єднатися в групи), *рівномірною* (зустрічається

там, де між особинами дуже сильна конкуренція, яка сприяє рівномірному розподілу в просторі) чи груповою (коли індивіди живуть групами, зграями).

Особинам різних видів властивий поодинокий або груповий спосіб життя. У першому випадку особини популяції живуть відокремлено і збираються разом лише на період розмноження, міграцій (скорпіони, дикі качки). Груповий спосіб життя пов'язаний з утворенням постійних родин, колоній, зграй. Спільне існування організмів сприяє кращому пристосуванню до умов довкілля і полегшує умови виживання.

Демографія популяцій. Термін «демографія» походить від двох грецьких слів: «демос» - люди і «графос» - вимірювання. Найважливішими демографічними характеристиками популяції є її вікова структура і статевая структура.

Статевая структура популяції визначається співвідношенням особин різних статей, а вікова – розподіл її особин за віковими групами. Вікова структура дає можливість робити прогнози щодо приросту популяції в майбутньому (наприклад, якщо різко скорочується частка молодих особин, то це свідчить про можливе зниження чисельності популяції в майбутньому). Вікова структура визначає ріст популяції та його швидкість. Народжуваність – кількість особин популяції, які народилися за певний час, а смертність - кількість особин, яка гине за цей самий час. Різниця між народжуваністю і смертністю становить приріст популяції. В залежності від обставин він може бути позитивним або негативним.

Ієрархічна структура – виявляється у ступені домінантності особини та функціональних обов'язках, які виконує дана особина. Ієрархія популяції проявляється у формі організації популяції: поодинокий спосіб життя, стадо, колонія, прайд. Деякі організми мають дуже складну ієрархічну структуру (бджоли, мурашки).

Типи взаємовідносин між популяціями.

Усі популяції організмів, які входять до складу певного біоценозу, пов'язані між собою. Ці зв'язки можна поділити на антагоністичні, мутуалістичні і нейтральні.

За *антагоністичних взаємовідносин* (напр. конкуренція, паразитизм, хижацтво) кожна з взаємодіючих популяцій різних видів відчуває негативний вплив іншої. Взаємозв'язки хижака і здобичі, паразита і хазяїна можуть спричинити періодичні коливання їхньої чисельності (популяційні хвилі). Наприклад, хижаки, що активно виїдають здобич, знижують щільність її популяції, але тим самим підривають свою кормову базу. Тому щільність популяції хижаків з часом також знижується. Це, в свою чергу, зменшує тиск на популяцію здобичі і створює сприятливі умови для її розмноження. Отже такі взаємозв'язки зумовлюють взаємопов'язані коливання чисельності популяцій хижака і здобичі (напр. рись і заєць).

Конкуренція (від лат. конкурентіо – стикатись) – взаємозв'язки між популяціями одного (внутрішньовидова) або різних (міжвидова) видів, за яких використання певного ресурсу докільля одним з них зменшує його доступність для інших. Найгостріша конкуренція відбувається між представниками одного виду або різних видів із подібними екологічними вимогами. Такі угруповання не можуть тривалий час існувати в одному біоценозі. Внаслідок такої конкуренції один, конкурентноспроможніший вид, витискатиме інший, або ж їхні екологічні ніші розійдуться.

За *нейтральних зв'язків* існування на спільній території популяцій двох видів жодний із них не відчуває на собі безпосереднього негативного чи позитивного впливу іншого. Наприклад, популяції хижаків різних видів, які живляться різними видами здобичі, не конкурують між собою.

За *мутуалістичних* (взаємовигідних) взаємозв'язків кожен із взаємодіючих видів має певну користь (бульбочкові бактерії – бобові рослини).

Отже, між популяціями різних видів, що входять до складу певного біоценозу, виникають складні й різноманітні взаємозв'язки. Саме вони

забезпечують функціонування біоценозу як єдиної цілісної системи і його саморегуляцію.

Регуляція чисельності популяцій.

Чисельність популяції залежить від багатьох чинників, насамперед від ресурсів, потрібних для її існування (наявність їжі, води, життєвого простору і т.д.). Якщо густина популяції є низькою і є надлишкові ресурси, потрібні для її існування, приріст популяції буде позитивним. Таке явище буде спостерігатися доти, доки не настане виснаження ресурсів середовища існування.

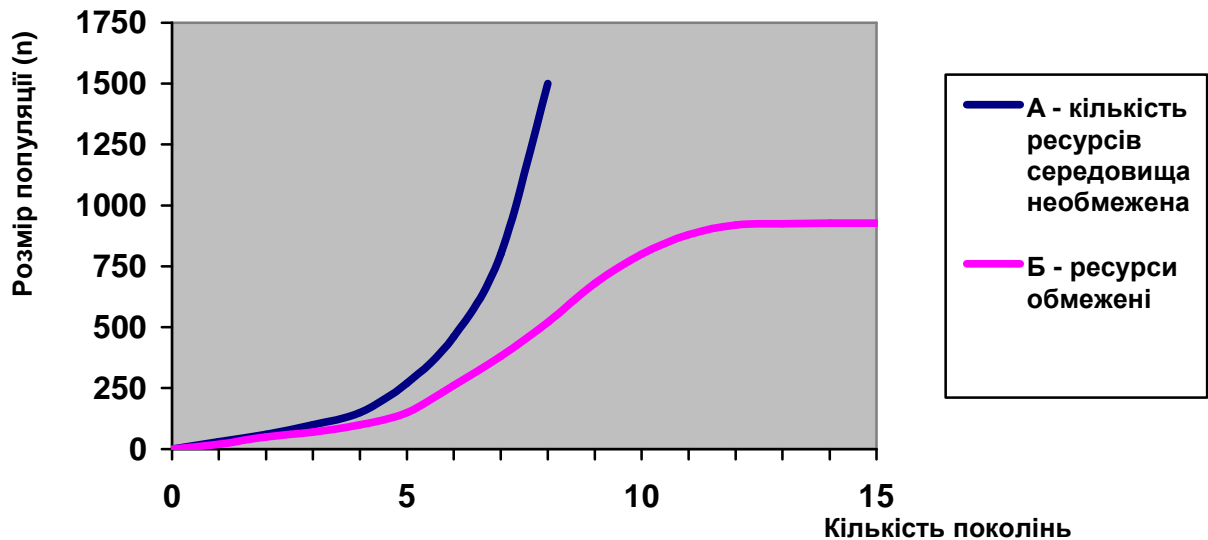


Рис. 2.1. Залежність розміру популяції від наявних ресурсів середовища існування

Прикладом різкого зростання популяції (варіант А) є ріст населення Землі за період ХХ ст. (більш ніж удвічі).

Для кожного конкретного середовища існування є певна оптимальна густина популяції того чи іншого виду. В цьому випадку чисельність популяції стабільна (народжуваність дорівнює смертності). Такий врівноважений стан популяції відповідає поняттю *ємності середовища існування*. Це здатність середовища забезпечити нормальну життєдіяльність

певній кількості особин популяції без помітних зрушень у довкіллі. При цьому рівень споживання певного виду ресурсу врівноважується його відтворенням. Якщо густота популяції знижується чи, навпаки, підвищується, то в ній спрацьовують процеси саморегуляції, що приводять цей показник у відповідність до ємності середовища існування.

Якщо чисельність популяції перевищує критичний рівень, то в особин, які її складають спостерігають підвищену агресивність (боротьба за ресурси) і навіть канібалізм (поїдання особин свого виду). Уникненню надмірної густоти популяції сприяє розселення, коли частина особин мігрує на незайняті території, або до інших популяцій з низькою густиною. Особливо інтенсивне розселення відбувається у роки масового розмноження організмів. Наприклад, перелітна сарана утворює численні зграї, здатні долати значні відстані.

Зміни чисельності популяцій проявляються у вигляді популяційних хвиль. Популяційні хвилі можуть бути *сезонними* або *несезонними*. *Сезонні популяційні хвилі* зумовлені особливостями життєвого циклу організму або сезонними змінами кліматичних факторів. Наприклад, розмноження організмів припадає на сприятливі для них пори року, а в несприятливі, навпаки, спостерігають підвищену смертність і зменшення чисельності популяції (сухі і теплі роки – зростання популяції змій; зими без морозів – зростає чисельність шкідників с/г угідь). *Несезонні популяційні хвилі* можуть бути спричинені зміною інтенсивності дії різних екологічних факторів (наприклад, вплив паразитів, хижаків, господарська діяльність людини).

Густота популяції залежить і від дії кліматичних факторів. Якщо популяція має тривалий період розвитку (повільно розмножується), то вона слабо реагує на зміни кліматичних факторів. Навпаки, організми з нетривалим періодом розвитку (швидко розмножуються) чутливіші до змін кліматичних факторів і їхня чисельність може значно змінюватися за короткий проміжок часу.

На чисельність популяцій впливають також взаємозв'язки з популяціями інших видів (чисельність хижаків залежить від популяцій їхньої здобичі).

Чисельність популяції регулюється також їхньою територіальною поведінкою. Є деякі види, які для свого нормального існування потребують певної мінімальної території. Якщо ріст популяції призводить до зменшення цього показника, то включаються інші механізми регуляції: агресивність, зниження репродуктивної активності. Цікавим є факт, що навіть штучне підтримання харчового ресурсу (в лабораторних умовах, умовах зоопарків) не може компенсувати явище територіальності.

Одним із основних факторів, які впливають на чисельність популяції є процент особин, які гинуть до досягнення ними репродуктивного віку. Для того, щоб чисельність популяції залишалася сталою необхідно, щоб хоча б два потомки кожної пари доживали до репродуктивного віку. Процес коливання чисельності популяції є безперервним і може змінюватися в часі, як наслідок адаптаційних змін. Питання динаміки популяцій є основою для розуміння більш складних питань, таких як динаміка угруповання, екосистеми чи біосфери в цілому.

Поняття про екосистему. Структура і властивості екосистеми. Взаємодія організмів в екосистемі.

Екосистема – це ділянка простору, що охоплює історично сформований комплекс живих істот, взаємозв'язаних між собою трофічними ланцюгами, та неживих компонентів оточуючого середовища, які залучаються у процес обміну речовин та енергії. Іншими словами, це біологічна система, що передбачає функціональну єдність угруповання організмів і навколишнього середовища.

Із визначення терміна випливає, що екосистема повинна складатися як мінімум з двох компонентів – живих організмів (біотична складова), які постійно перебувають у взаємодії один з одним, та з неживого оточуючого

середовища (абіотична складова). В екології ці дві складові ще називають біоценозом та біотопом.

Біоценоз (або *біота*) – це історично сформована сукупність рослин, тварин та мікроорганізмів, що населяють біотоп. Тобто кожен біоценоз складається з фітоценозу (угруповання рослин), зооценозу (угруповання тварин) та мікробіоценозу (угруповання мікроорганізмів).

Біотоп – це ділянка земної поверхні (суходолу або водойми) з однотипними абіотичними умовами існування (рельєфу, типу ґрунту, мікроклімату), що її займає певне угруповання організмів.

Головними властивостями екосистем є їхня цілісність і відносна стійкість, що виявляється у здатності до саморегуляції і самовідновлення.

Кожен біоценоз відзначається власною структурою. Структура будь-якого біоценозу налічує певні параметри, за якими можна його охарактеризувати.

1. **Видова структура.** Під видовою структурою біоценозу розуміють різноманітність в ньому видів і співвідношення їхньої чисельності або маси. Розрізняють біоценози бідні і багаті видами. В умовах, де головні чинники середовища відрізняються від середнього, оптимального щодо життя організму рівня (наприклад тундра або пустеля), видовий склад обмежений. Адже не всі види можуть пристосуватись до критичних умов життя. І навпаки, там, де умови абіотичного середовища наближаються до оптимальних, виникають надзвичайно багаті за видовим складом угруповання. Прикладом можуть бути тропічні ліси, коралові рифи, долини річок у пустелях. Видовий склад також залежить від часу існування біоценозу. Молоді угруповання мають, зазвичай, бідніший видовий склад, ніж зрілі угруповання.

Залежно від кількості видів, які населяють певний біоценоз, розрізняють біоценози насичені (коли зайняті всі екологічні ніші і вселення нового виду неможливе без знищення якогось іншого) та ненасичені (коли

вселення нових видів можливе й без знищення інших компонентів біоценозу).

2. Просторова структура біоценозу відрізняється за висотою (наприклад, розподіл рослин в лісі за ярусами), за особливостями розміщення території. Вертикальна структура лісових біоценозів налічує чотири головні яруси:

Ярус крон (розташований найвище). Його товщина і віддаленість від поверхні землі залежить від видового складу дерев. В однопородних та одновікових лісах шар крон є одноярусним. Багатовидові деревостани зі складною віковою структурою мають дво- триярусний намет;

Чагарниковий або підлісковий ярус (охоплює як чагарники, так і дерева, які у певних умовах можуть розвиватись як чагарник).

Трав'яний ярус (налічує однорічні та багаторічні трави, а також чагарники).

Приземний ярус (складається з мохів і лишайників).

Просторове розміщення рослин за ярусами спостерігається також і в підземній частині фітоценозу. Підземні яруси розрізняють за глибиною всмоктуючих частин коріння. Коріння різних видів рослин завдяки підземній ярусності поглинає воду і поживні речовини в різних горизонтах ґрунту. Це дає змогу на одній і тій самій території розмістити велику кількість рослин і зменшити конкуренцію між рослинами.

Розчленованість у горизонтальному напрямі називають *мозаїчністю*.

3. Екологічна структура залежить від особливостей зв'язків, які формуються між окремими видами, організмами, живою і неживою природою у біоценозі. Вирізняють такі форми зв'язків в угрупованні:

- трофічні – коли один вид живиться іншим або живими особинами чи продуктами їх життєдіяльності;

- топічні – будь-яка хімічна або фізична зміна умов мешкання одного виду внаслідок життєдіяльності іншого. Наприклад, листяний покрив у лісі

створює особливі умови життя під покривом – збільшення вологи, затіненості і т.п.;

- форичні – це участь одного виду у поширенні іншого (наприклад, перенесення тваринами насіння або комахами пилку);

- фабричні – один вид використовує для власних споруд – фабрикацій – продукти виділення, мертві рештки і т.п. (наприклад, використання птахами для побудови гнізда гілок дерев, вовни, трави і т.д.).

Класифікація екосистем. За розмірами розрізняють *мікроекосистеми, мезоекосистеми і макроекосистеми.*

У *мікроекосистемах* біоценоз перебуває в обмеженому просторі. Такими екосистемами можна вважати пляму солончаку, пеньок.

Наступними за розмірами є *мезоекосистеми.* Це найпоширеніший тип екосистем. Тут біоценоз займає однотипні ділянки земної поверхні з однаковими фізико-хімічними умовами, межі яких, зазвичай, збігаються з межами відповідних фітоценозів. Прикладом екосистеми такого типу можна вважати діброву, озеро.

Макроекосистеми охоплюють величезні території чи акваторії, що відзначаються притаманним щодо них макрокліматом і відповідають цілим природним зонам. Біоценоз таких екосистем називають *біомом.* До макроекосистем належать екосистеми тундри, тайги, степу, пустелі, саван, листяних і змішаних лісів помірного поясу, субтропічного і тропічного лісів, а також морські екосистеми. Прикладом глобальної екосистеми є біосфера нашої планети.

Колообіг речовин та потік енергії в екосистемах. Продуктивність екосистем. Ланцюги живлення та екологічні піраміди.

Характерною ознакою будь-якої екосистеми є постійний процес обміну речовин та енергії як всередині самого біоценозу, так і між біоценозом та біотопом. Результатом цього є встановлення загальної рівноваги (балансу) між живою та неживою частинами екосистеми. Зміна будь-якого екологічного чинника спричинить порушення рівноваги і збурення у системі.

Проте з часом система стабілізується і знову набуде зрівноваженого стану. Наприклад, вирубування лісу або осушення болота, безумовно, внесуть збурення в екосистему. Відбудуться значні зміни в біотичній складовій (зміниться видовий склад рослинності, тварин, мікроорганізмів), а також в абіотичній (зміниться вологість ґрунту, рівень сонячного опромінення). Однак з часом екосистема знову набуде рівноваги (на місці зниклих видів рослин і тварин з'являться нові або існуючі пристосуються до нових умов життя). Тобто будь-яка екосистема здатна до саморегуляції.

Незважаючи на значну різноманітність – від пустель до тундри – усім екосистемам властива приблизно однакова біотична структура. Іншими словами, загалом вони налічують одні й ті ж категорії організмів, які подібно функціонують та взаємодіють в усіх екосистемах. Цими категоріями є продуценти, консументи і редуценти.

Первинною ланкою екосистеми є продуценти або автотрофні організми (ті, що себе самі харчують). Саме вони, акумулюючи сонячну енергію, воду, вуглекислий газ атмосфери та біогенні елементи (азот, водень, кисень, вуглець), синтезують складні органічні речовини (вуглеводи, білки, жири). Окрім цього, завдяки їхній життєдіяльності в атмосферу надходить молекулярний кисень. За розмірами вони можуть бути великими, укоріненими у ґрунт рослинами або дрібними (наприклад, фітопланктон у воді).

Наступною ланкою є споживачі (консументи). Це гетеротрофні організми, які живляться за рахунок інших. Вони не здатні синтезувати складні органічні речовини та потребують їхнього постійного надходження ззовні. Поживою для них слугують автотрофні організми (рослиноїдні споживачі, первинні споживачі) чи інші гетеротрофи (м'ясоїдні споживачі, вторинні споживачі). Тобто первинні, живлячись автотрофами, є поживою для вторинних.

Третя група (редуценти) налічує сапрофітні бактерії, гриби, найпростіші. Вони живляться продуктами життєдіяльності консументів, а

також рештками перших двох груп організмів після їхньої загибелі. Завдяки їхній діяльності частина поживних речовин з відмерлих решток трансформується у доступні для використання продуцентами форми. Отже, живі організми в екосистемі утворюють замкнену систему живлення.

Для того, щоб будь-яка екосистема функціонувала і в ній здійснювався кругообіг речовин, вона потребує безперервного притоку енергії ззовні. Таким джерелом енергії слугує сонячне проміння.

Співвідношення поміж продуцентами, консументами (першого, другого порядків) та редуцентами в екосистемі, віддзеркалене у їхній масі й зображене як і графічна модель, називають пірамідою біомас. Якщо трофічні зв'язки зобразити з урахуванням співвідношень у кількості осіб або видів, то кажуть про піраміду чисел; якщо йдеться про співвідношення кількості енергії, акумульованої одиницею поверхні за одиницю часу та використаної організмами на кожному трофічному рівні, то ці дані називають пірамідою енергії. Такі моделі називають *екологічними пірамідами*. Можливість застосування такого підходу пояснюється тим, що в наземних екосистемах вага продуцентів (на одиницю площі і в абсолютних цифрах) більша, ніж вага консументів, консументів першого порядку – більша, ніж консументів другого порядку і т.д., отож графічна модель, зазвичай, набуває форми піраміди.

Піраміда чисельності. Якщо представити кормовий ланцюг хижаків у формі прямокутників однакової висоти, розташованих один на одному, довжина яких пропорційна кількості особин у кожному трофічному рівні, то отримаємо фігуру, яку називають пірамідою чисельності. Вона тим вища, чим більшу кількість трофічних рівнів налічує цей ланцюг.

хребетні	3
м'ясоїдні	354904
трав'яїдні безхребетні	708624
продуценти (рослини)	5842424

Рис. 2.2. Піраміда чисельності для лучної екосистеми
(цифри – кількість особин)

Зазвичай, кількість особин від першого трофічного рівня до останнього зменшується, оскільки дрібні тварини кількісно переважають крупніших і розмножуються швидше, отож піраміда має форму трикутника, оберненого вершиною вгору.

Піраміда біомас. Піраміда чисельності не дає уяви про потік енергії та речовин у біоценозі, оскільки кількість особин не дає уяви про енергетичні можливості виду. Метод зображення структури біоценозу у формі піраміди біомас дає змогу відображати розміщення біомаси відповідних організмів на кожному трофічному рівні. Якщо піраміда чисельності відображає щільність особин на кожному трофічному рівні, то піраміда біомаси – біомасу на 1 м² або в 1 м³. Зазвичай, цей показник розраховують у грамах сухої маси.

Елементи піраміди	Піраміда біомас	Суха маса, г/м ²
Хижаки		0,1
Трав'ядні		0,6
Продуценти		470,0

Рис. 2.3. Типова піраміда біомас біоценозу

Загалом екологічні піраміди відображають зменшення видового різноманіття, кількості біомаси та енергії від нижчих до вищих трофічних рівнів, тобто головну спрямованість трансформації енергії в екосистемах.

З одного трофічного рівня екологічної піраміди переходить на інший рівень в середньому не більше, ніж 10% енергії або речовини в енергетичному виразі. Це, зазвичай, не спричинює до несприятливих наслідків для екосистеми загалом і того трофічного рівня, який, зокрема, втрачає енергію. Знання законів продуктивності екосистем має велике практичне значення. Воно дає змогу науково обґрунтувати кількість продукції, яку людина може використати для власних потреб, не завдаючи шкоди природним системам. Це також дає змогу виконати деякі еколого-економічні підрахунки, зокрема необхідної земельної площі для забезпечення населення продовольством.

Тема 2. Біосфера

Загальна характеристика біосфери. Роль живих організмів в біосфері. Біогенні міграції речовини.

Поняття «біосфера» (від грец. *біос* – життя, тобто сфера життя) вперше запропонував австрійський учений Едуард Зюсс в 1875 році, але поширення цей термін набув на початку ХХ ст. завдяки працям нашого видатного земляка академіка В.І.Вернадського. Саме В.І.Вернадський перший звернув увагу на значення живих організмів як могутнього геологічного чинника і з'ясував роль живої речовини в перетворенні земної поверхні.

Біосфера – оболонка Землі, населена живими організмами. Це сукупність усіх біогеоценозів Землі, єдина глобальна екосистема вищого порядку. Біосфера включає частини атмосфери, гідросфери і літосфери.

На Землі розрізняють кілька геосфер: *літосферу* – зовнішню тверду оболонку земної кулі; *гідросферу* (океани, моря, озера, ріки); *атмосферу*, яка сягає вгору до 100 км: у ній розрізняють тропосферу, висотою 15 км, а над нею – стратосферу, висотою до 100 км.

Біосфера не утворює окремої оболонки Землі, а є частиною геологічних оболонок земної кулі, заселених живими організмами. Біосфера охоплює поверхню Землі, верхню частину літосфери, усю гідросферу, тропосферу і нижню частину стратосфери. Межі біосфери визначаються наявністю умов, необхідних для життя різних організмів. Верхня її межа обмежується інтенсивним УФ випромінюванням і починається від нижньої частини озонового екрану атмосфери, що розташований на висоті 20 – 25 км над рівнем моря; нижня – високою температурою земних надр. Крайніх меж біосфери сягають тільки бактерії (спори бактерій можуть потрапляти на висоту 20 км, а анаеробні бактерії виявлені на глибині понад 3 км у водах нафтових родовищ, іноді – до 7,5 км). В цих крайніх межах зосереджено 98% всієї живої речовини планети.

Найбільшою є концентрація життя на поверхні суходолу й океану, на межі літосфери й атмосфери, гідросфери і атмосфери, гідросфери і літосфери,

тобто на межі фаз. Усі живі організми в сумі складають *живу речовину планети*.

Біосфера у сучасному розумінні – це глобальна відкрита система, зі своїм «входом» (потік сонячної енергії) і «виходом» (утворені в процесі життєдіяльності організмів речовини, які з різних причини «випали» із біологічного колообігу – кам'яне вугілля, нафта, осадові породи). Функціонування біосфери як єдиного цілого підлягає дії цілого ряду законів. Можна з впевненістю сказати, що система ця є самоорганізованою і саморегульованою. Дія закону саморегуляції і самоконтролю біосфери забезпечується живими організмами, які відіграють домінуючу, центральну роль у функціонуванні системи в цілому. Такі процеси як боротьба за існування, природній добір, адаптації, екологічна пластичність, еволюція і коеволюція в підсумку оптимізують потоки речовини та енергії в межах кожної екосистеми, а в загальному призводять до збереження і розвитку біосфери в цілому, її саморегуляції і самоконтролю.

Біосферу формують в основному не зовнішні чинники, а внутрішні закономірності. Найважливішою властивістю біосфери є взаємодія живого та неживого. Кількість живої речовини в біосфері помітно не змінюється. Ця закономірність була сформульована у вигляді закону константності живої речовини В.І.Вернадського: кількість живої речовини біосфери для певного геологічного періоду є постійною. Цей закон впливає з іншого закону – внутрішньої динамічної рівноваги для глобальної екосистеми (біосфери). Жива речовина як акумулятор сонячної енергії повинна реагувати як на зовнішні (космічні) впливи, так і на внутрішні зміни. Зменшення або збільшення кількості живої речовини в одному місці біосфери повинно викликати протилежно спрямовані зміни в іншому місці.

Окрім закону постійності живої речовини біосфери, в живій природі спостерігається постійне збереження інформаційної та соматичної структури, хоча в процесі еволюції і спостерігаються деякі коливання. Ця властивість

отримала назву закону збереження структури біосфери, або першого закону екодинаміки.

Для збереження стабільної структури біосфери її жива речовина намагається досягти стану зрілості або екологічної рівноваги. Закон спрямованості до клімаксу – другий закон екодинаміки, який відноситься як до біосфери в цілому, так і до окремих її структурних рівнів.

Такі системи як біосфера можна описати за допомогою законів кібернетики. Один із таких законів – закон необхідної різноманітності – говорить, що кібернетична система лише тоді володіє стійкістю для блокування зовнішніх і внутрішніх збурень, коли вона має достатнє внутрішнє різноманіття. Це різноманіття створюється живими організмами і його необхідно зберегти, якщо ми хочемо щоб біосфера нормально функціонувала в майбутньому і мала необхідний резерв стійкості до негативних зовнішніх впливів.

На сьогодні на Землі існує близько 2 млн. видів організмів, з них частка рослин становить 500 тис. видів, а тварин – 1,5 млн. видів. 95% всієї біомаси планети припадає на рослинні організми і тільки близько 5% - на тварин.

Однією із властивостей живих організмів є постійний обмін із навколишнім середовищем речовиною та енергією. Це пов'язано з тим, що для здійснення процесів життєдіяльності живим істотам необхідні певні речовини та енергія, які вони повинні одержувати з довкілля. При цьому вони змінюють середовище свого існування.

Зелені рослини і деякі види бактерій вловлюють енергію сонячного світла і перетворюють її в енергію хімічних зв'язків синтезованих ними органічних сполук. Саме ця первинна продукція автотрофних організмів визначає біомасу біосфери в цілому. Підраховано, що завдяки фотосинтезу щорічно створюється 160 млрд. тонн сухої органічної речовини в якій акумульовано 1800×10^{15} кДж енергії (1/3 припадає на екосистеми Світового океану, а 2/3 – суходолу). Енергія, що знаходиться там надходить від рослин до рослиноїдних організмів, від них – до хижаків і т.д. Таким чином

постійний колообіг речовини і потоки енергії забезпечують функціонування біосфери як єдиної цілісної екосистеми.

Життя на нашій планеті пов'язане з постійною міграцією речовини у біосфері. Міграція хімічних елементів за участю живих організмів називається біогенною, а та, що відбувається поза ними – абіогенною.

Абіогенний колообіг хімічних елементів, рушійною силою якого є тектонічні процеси і сонячна енергія отримав назву *великого (геологічного) колообігу*. Він триває на Землі вже близько 4 млрд. років і його потужність оцінюють у 2×10^{16} тонн/рік.

Виникнення життя на Землі спричинило появу на Землі нової форми міграції хімічних елементів – біогенної. На великий (геологічний) колообіг наклався *малий (біогенний) колообіг*. У ньому переміщуються в основному вуглець (10^{11} тонн/рік), кисень (2×10^{11} тонн/рік), азот (2×10^{11} тонн/рік) та фосфор (10^8 тонн/рік).

Зараз обидва колообіги протікають одночасно та тісно пов'язані між собою. Живі організми в біосфері ініціюють колообіг речовин та призводять до виникнення біогеохімічних циклів. *Біогеохімічний цикл* – це циклічне перетворення речовин та зміни потоків енергії, яке здійснюється за рахунок спільної дії біотичної та абіотичної трансформації речовин.

Принцип циклічності в перетвореннях та переміщеннях речовин в біосфері є основоположним. Збереження циклічності – це умова існування біосфери. Введення в біосферу однонаправлених процесів, які здійснює людина в процесі своєї діяльності є небезпечним і в перспективі згубним.

Переміщення речовин у біогеохімічних циклах забезпечує життєдіяльність живих організмів, а рушійною силою цього переміщення є потік сонячної енергії. Міграція речовин у межах біосфери поділяється на п'ять основних типів:

1. Механічна
2. Водна (міграція здійснюється за рахунок розчинення речовин та їх наступного переміщення)

3. Повітряна (перенесення речовин у формі газів, пилу, аерозолів із потоками повітря)
4. Біогенна (перенесення здійснюється за активної участі живих організмів)
5. Техногенна (як результат господарської діяльності людини)

Чи існують методи оцінки колообігу речовин? Зважаючи на складність цього процесу оцінити його непросто, але приблизну оцінку зробити можна. Для цього можна використати індекс, який показує співвідношення маси підстилки та іншого органічного опаду, який є в будь-якій екосистемі до маси опаду, що утворюється за один рік. Чим більший буде цей індекс, тим, очевидно, нижча інтенсивність біологічного колообігу. Наприклад, в тундрі значення цього індексу максимальні, отже, інтенсивність біогеохімічних циклів тут мінімальна. У зоні тайги інтенсивність біологічного колообігу зростає, в лісовій зоні ще більша, а найбільша швидкість колообігу речовин реєструється в тропічних екосистемах.

Жива речовина біосфери виконує в ній різноманітні функції: газову, окисно-відновну, концентраційну. Всі вони є наслідком процесів обміну речовин у живих істотах. Наприклад газова функція живої речовини полягає у її впливі на газовий склад атмосфери, Світового океану та ґрунтів. Всі аеробні істоти у процесі життєдіяльності поглинають кисень і виділяють вуглекислий газ, тоді як зелені рослини і деякі бактерії в процесі фотосинтезу поглинають вуглекислий газ і виділяють кисень. Окрім балансу кисню і вуглекислого газу, живі істоти (зокрема, деякі види бактерій) впливають також на концентрацію інших газів (сірководню, метану, азоту). Хоча слід зазначити, що вплив цей не є суттєвим.

Окисно-відновна функція полягає у тому, що за допомогою живих організмів у ґрунті та атмосфері відбуваються окисно-відновні реакції перетворення деяких речовин. Наприклад, залізобактерії здатні окислювати сполуки заліза, сіркобактерії – сполуки сірки, денітрифікуючі бактерії – відновлювати нітрати ґрунту до молекулярного азоту.

Концентраційна функція полягає у поглинанні живими істотами певних речовин з навколишнього середовища і накопичення їх у своєму організмі. Так молюски та хребетні здатні накопичувати в своїх черепашках і кістках сполуки кальцію, фосфору, магнію, радіолярії – сполуки стронцію та кремнію, ряска – радію, ракоподібні – міді, морські водорості – сполуки йоду. Концентраційна функція тією чи іншою мірою властива всім жителям водойм, особливо молюскам, нитчастим водоростям і вищим водяним рослинам. Це явище лежить в основі процесу біологічного самоочищення водойм.

Вчення В.І.Вернадського про ноосферу. Ще в першій половині ХХ ст. В.І.Вернадський висловив припущення, що біосфера з часом трансформується в ноосферу (від грецького ноос – розум). Це перетворення стане можливим тоді, коли інтелектуальна діяльність людини стане вирішальним фактором розвитку біосфери. В процесі свого розвитку, людина все більше відрізняється від інших біогенних компонентів біосфери як нова могутня сила. Завдяки своїй думці втіленій у технічних рішеннях та нових технологіях, людина проникла і почала освоювати ті частини земної кулі, куди не змогли проникнути жодні живі істоти. Однак для ноосфери, як якісно нового етапу розвитку біосфери, буде притаманне гармонійне поєднання законів природи і соціально-економічних чинників розвитку суспільства. Основою цього має бути науково обґрунтоване раціональне використання природних ресурсів, що буде передбачати максимальну «екологізацію» не тільки виробничої сфери, але й інших сфер людського життя, широке впровадження безвідходних та маловідходних технологій, замкнених циклів використання речовини, відновлювальних джерел енергії. При цьому має бути збережений природний колообіг речовин та енергії. Отже ноосфера – це якісно нова форма організації біосфери, яка буде ґрунтуватися на засадах гармонійного поєднання потреб людини та існування природи.

В.І.Вернадському належить також заслуга створення нової науки – вчення про геохімічну діяльність живих організмів. Вона досліджує роль

живих організмів у перетворенні планети Земля: руйнуванні гірських порід, ґрунтоутворенні, формуванні осадових порід, колообігу речовин та енергії, перерозподілі та концентрації хімічних елементів у біосфері.

Практичні роботи до розділу II

Задачі на правило екологічної піраміди. *Задача 1.* Користуючись правилом екологічної піраміди (внаслідок втрати енергії загальна біомаса кожної наступної ланки трофічного ланцюга приблизно в 10 разів менша за попередню), визначте, скільки гектарів луки потрібно, щоб прохарчувати людину масою 58 кг (із них 66% становить вода). Складіть ланцюг живлення.

Розв'язок.

1. Визначаємо суху масу тіла людини.

$$\begin{array}{r} 58 \text{ кг становить } 100\% \\ X \text{ кг} \quad \quad 34\% \end{array}$$

$$\text{Звідки } x = 19,72 \text{ кг}$$

2. Складаємо ланцюг живлення: трава – корова – людина

3. На підставі правила екологічної піраміди визначаємо, скільки необхідно трави, щоб відтворити таку масу:

$$\begin{array}{l} \text{трава - корова - людина} \\ 1972 \text{ кг} - 197,2 \text{ кг} - 19,72 \text{ кг} \end{array}$$

4. У додатку 1 знаходимо, що суха біомаса трави з 1 м² луки становить 200 г за рік. Отже:

$$\begin{array}{l} 1 \text{ м}^2 - 0,2 \text{ кг} \\ X \text{ м}^2 - 1972 \text{ кг} \end{array}$$

$$\text{Звідси } X = 9860 \text{ м}^2 = 0,986 \text{ га}$$

Відповідь: необхідно 0,986 га луки

Задача 2. Користуючись додатками 1, 2 і правилом екологічної піраміди, визначте, яка площа (в га) відповідного біоценозу може прогодувати одну особину останньої ланки в ланцюзі живлення:

а) планктон - риба - тюлень (300 кг);

б) планктон - нехижі риби - щука (10 кг);

в) планктон - риба - тюлень - білий ведмідь (500 кг);

г) рослини - заєць - лисиця - вовк (50 кг);

Розв'язок:

а) планктон - риба - тюлень (300 кг);

1. Визначаємо суху масу тіла тюленя:

$$300 \text{ кг} - 100\%$$

$$X \text{ кг} - 40\%$$

$$\text{Звідки } X = 120 \text{ кг}$$

2. На підставі правила екологічної піраміди визначаємо, скільки необхідно планктону, щоб прогодувати тюленя, суха маса тіла якого 120 кг.

$$12\,000 \text{ кг} - 1\,200 \text{ кг} - 120 \text{ кг}$$

$$\text{планктон} - \text{риба} - \text{тюлень}$$

3. У додатку 2 знаходимо, що суха біомаса планктону з 1 м^2 моря становить 600 г. Отже:

$$1 \text{ м}^2 - 0,6 \text{ кг}$$

$$X \text{ м}^2 - 12\,000 \text{ кг}$$

$$\text{Звідки } X = 20\,000 \text{ м}^2 = 2 \text{ га}$$

Відповідь: необхідно 2 га планктону

б) планктон - нехижі риби - щука (10 кг);

1. Визначаємо суху масу тіла щуки:

$$10 \text{ кг} - 100\%$$

$$X \text{ кг} - 40\%$$

$$\text{Звідки } X = 4 \text{ кг}$$

2. На підставі правила екологічної піраміди визначаємо скільки необхідно планктону, щоб прогодувати щуку, суха маса якої 4 кг:

$$400 \text{ кг} - 40 \text{ кг} - 4 \text{ кг}$$

$$\text{планктон} - \text{нехижі риби} - \text{щука}$$

3. У додатку 2 знаходимо, що суха біомаса планктону з 1 м^2 становить 600 г на рік.

Отже:

$$1 \text{ м}^2 - 0,6 \text{ кг}$$

$$X \text{ м}^2 - 400 \text{ кг}$$

$$\text{Звідки } X = 6,7 \cdot 10^2 \text{ м}^2 = 0,067 \text{ га}$$

Відповідь: необхідно 0,067 га планктону

в) планктон - риба - тюлень - білий ведмідь (500 кг);

1. Визначаємо суху масу тіла білого ведмедя:

$$500 \text{ кг} - 100\%$$

$$X \text{ кг} - 40\%$$

$$\text{Звідки } X = 200 \text{ кг}$$

2. На підставі правила екологічної піраміди визначаємо скільки необхідно планктону, щоб прогодувати білого ведмедя, суха маса тіла якого 200 кг:

$$200\ 000 \text{ кг} - 20\ 000 \text{ кг} - 2\ 000 \text{ кг} - 200 \text{ кг}$$

$$\text{планктон} - \text{риба} - \text{тюлень} - \text{білий ведмідь}$$

3. У додатку 2 знаходимо, що суха біомаса планктону з 1 м^2 становить 600 г на рік. Отже:

$$1 \text{ м}^2 - 0,6 \text{ кг}$$

$$X \text{ м}^2 - 2 \cdot 10^5 \text{ кг}$$

$$\text{Звідки } X = 3,3 \cdot 10^5 \text{ м}^2 = 33 \text{ га}$$

Відповідь: необхідно 33 га планктону

г) рослини - заєць - лисиця - вовк (50 кг);

1. Визначаємо суху масу тіла вовка:

$$50 \text{ кг} - 100\%$$

$$X \text{ кг} - 40\%$$

$$\text{Звідки } X = 20 \text{ кг}$$

2. На підставі правила екологічної піраміди визначаємо скільки необхідно наземної рослинності, щоб прогодувати вовка, суха маса тіла якого 20 кг:

$$20\ 000 \text{ кг} - 2\ 000 \text{ кг} - 200 \text{ кг} - 20 \text{ кг}$$

$$\text{рослини} - \text{заєць} - \text{лисиця} - \text{вовк}$$

У додатку 1 знаходимо, що суха біомаса наземної рослинності з 1 м^2 становить 200 г. Отже:

$$\begin{aligned} 1 \text{ м}^2 & - 0,2 \text{ кг} \\ X \text{ м}^2 & - 20\,000 \text{ кг} \end{aligned}$$

$$\text{Звідки } X = 100\,000 \text{ м}^2 = 10 \text{ га}$$

Відповідь: потрібно 10 га наземної рослинності

Задача 3. Протягом року 1 га кукурудзяного поля поглинає 76 650 000 кДж, з яких тільки 2,3% акумулюється у вигляді приросту сухої речовини. Складіть ланцюг живлення і визначте, скільки гектарів такого поля потрібно, щоб прогодувати людину протягом року, якщо на добу людині необхідно приблизно 10 000 кДж.

Розв'язок.

1. Знаходимо, яка кількість енергії акумулюється 1 га кукурудзяного поля у вигляді приросту сухої речовини:

$$\begin{aligned} 76\,650\,000 \text{ кДж} & - 100\% \\ X \text{ кДж} & - 2,3\% \end{aligned}$$

$$\text{Звідки } X = 1\,762\,950 \text{ кДж}$$

2. Визначаємо, скільки енергії необхідно людині протягом року:

$$\begin{aligned} 1 \text{ доба} & - 10\,000 \text{ кДж} \\ 365 \text{ діб} & - X \text{ кДж} \end{aligned}$$

$$\text{Звідки } X = 3\,650\,000 \text{ кДж}$$

3. Складаємо ланцюг живлення: кукурудза - корова - людина

4. На підставі правила екологічної піраміди визначаємо, яка кількість енергії має акумулюватись на рівні продуцентів (кукурудзяне поле), щоб забезпечити людину енергією (3 650 000 кДж) протягом року. Отже:

$$\begin{aligned} 3,65 \cdot 10^8 \text{ кДж} & - 3,65 \cdot 10^7 \text{ кДж} - 3,65 \cdot 10^6 \text{ кДж} \\ \text{кукурудза} & - \text{корова} - \text{людина} \end{aligned}$$

5. Знаючи кількість енергії, яка акумулюється 1 га кукурудзяного поля (1 762 950 кДж), визначаємо площу, необхідну для прогодування людини протягом року. Отже:

1 га - 1 762 950 кДж

X га - $3,65 \cdot 10^8$ кДж

Звідки X = 207 га

Відповідь: необхідно 207 га кукурудзяного поля

Додаток 1. Первинна біологічна продуктивність деяких біогеоценозів
(маса сухої речовини на 1 м² площі за рік)

Організм або продукція	Біогеоценоз	Суха маса за рік, г
Донна рослинність (водорості)	Прісне водоймище або море	1 000
Рослинність наземна	Луки, степ	200
Рослинність наземна	Пустеля	40
Культура зернових, картопля	Поле	500 – 800
Культура цукрової тростини	Плантація	3 000 – 5 000
Опале листя	Діброва	400
Дерева	Листяні ліси помірних зон	2 500 – 3 000
Дерева	Хвойні ліси	1 500 – 1 600
Дерева	Тропічні ліси	5 500 – 6 500
Деревина (річний приріст дерева)	Листяні ліси помірних зон	500
Деревина дерев	Листяні ліси тропічних зон	1 300

Додаток 2. Маса первинних і вторинних споживачів (макроконсументів) у деяких біогеоценозах (маса сухої речовини на 1 м² площі за рік)

Організми	Біогеоценоз	Суха маса за рік, г
Планктон (весь)	Прісне водоймище або море	600
Риба (всі види)	Прісне озеро або море	15
Короп	Ставок (для штучного розведення риби)	150
Грунтова фауна (вся)	Діброва	100
Травоїдні ссавці	Діброва	1
Найпростіші тварини в ґрунті	Діброва	10

Практична робота «Визначення нітратів в овочевих культурах»

За надмірного внесення в ґрунти азотних добрив можливе надлишкове надходження нітратів у рослинну сільськогосподарську продукцію та поверхневі води. Накопичення нітратів у рослинах, крім того, можливе також у випадку дефіциту фосфору або калію у ґрунті. У цьому випадку нітрат-йон заміщає у рослинах ті елементи, яких бракує. Окремі види сільськогосподарських рослин (капуста, селера, петрушка, кріп, гарбузи, кавуни) мають здатність до активного накопичення нітратів. Дещо менше акумулюють нітрати помідори, баклажани, часник, зелений горошок, виноград, яблука.

Зокрема, нітрат-йони не відзначаються високою токсичністю, однак при надходженні в організм людини і тварин у підвищеній кількості вони частково відновлюються до високотоксичних нітритів. Останні взаємодіють із залізом гемоглобіну, перетворюючи його в метгемоглобін, нездатний до транспорту кисню. Внаслідок цього людина відчуває кисневу недостатність (гіпоксію), яка проявляється задишкою і порушенням інших життєво-важливих функцій. Окрім того, нітрати і нітрити можуть перетворюватися (за участі мікрофлори кишківника) у високотоксичні нітрозаміни, які мають канцерогенні властивості.

Допустима доза нітратів (за даними ВООЗ) становить 5 мг на добу на 1 кг маси дорослої людини. Це приблизно 300 – 350 мг для людини масою 60-70 кг.

Обладнання, реактиви, матеріали:

1) ступки; 2) предметні скельця; 3) марлеві серветки; 4) маленькі пляшечки з корками (можна використовувати пляшечки з-під антибіотиків); 5) піпетки об'ємом 5 мл; 6) піпетки медичні; 7) скальпелі; 8) 1% розчин дифеніламіну в концентрованій сірчаній кислоті; 9) нітрат натрію (NaNO_3); 10) дистильована вода; 11) колба або стакан об'ємом 0,5 – 1,0 л.

Хід роботи

1. *Приготування калібрувальних розчинів NaNO₃.* Для приготування серії калібрувальних розчинів використовують вихідний розчин – 0,3% розчин NaNO₃. З цією метою розчиняють 3 г NaNO₃ в 1 літрі дистильованої води або 0,3 г в 100 мл. Ця концентрація відповідає вмісту 3 г нітратів на 1 кг продукту. Нумерують маленькі пляшечки з корками. Використовуючи дані таблиці 1, з вихідного розчину і дистильованої води готують калібрувальні розчини з різним вмістом нітратів. Проби готують послідовно – від першої до шостої. Після кожного змішування розчину NaNO₃ і дистильованої води проби закривають корком і струшують, після чого переходять до приготування наступної проби.

Таблиця 1

Приготування калібрувальних розчинів NaNO₃

№ проби	Об'єм розчину NaNO ₃ , мл	Доданий об'єм дистильованої води, мл	Концентрація нітратів, мг/кг
1.	4 мл вихідного розчину (0,3% р-н NaNO ₃)	—	3 000
2.	2 мл вихідного розчину (0,3% р-н NaNO ₃)	2	1 500
3.	2 мл вихідного розчину (0,3% р-н NaNO ₃)	4	1 000
4.	2 мл з проби № 3	2	500
5.	2 мл з проби № 4	2	250
6.	2 мл з проби № 5	2	125

2. *Визначення нітратів в овочевих культурах.* Досліджувані зразки овочів миють, висушують салфеткою і подрібнюють скальпелем. Отримані частинки швидко розтирають у ступці, сік відціджують і фільтрують крізь марлеву серветку. На білий папір зверху кладуть предметне скельце і капають на нього у двох місцях по 2 краплі досліджуваного соку і по 2 краплі розчину дифеніламіну (друга проба – контрольна). Читають реакцію (за допомогою даних таблиці 2). Після цього повторюють дослід, однак тепер на

предметне скельце в одному місці капають дві краплі досліджуваного соку, а в інше – дві краплі калібрувального розчину з концентрацією NaNO_3 наближеною до результату першого досліду. Отримані дані порівнюють і записують у зошит.

Для швидкої оцінки вмісту нітратів в овочах розчин дифеніламіну можна капнути безпосередньо на свіжий зріз плода.

Таблиця 2

Оцінка вмісту нітратів у продукції за ступенем забарвлення проби

№ № з/п	Окомірний результат дослідження	Орієнтовний вміст нітратів, мг/кг
1.	Сік або зріз рослини швидко та інтенсивно забарвлюється в чорний колір	більше 3 000
2.	Сік або зріз рослини забарвлюється в темно-синій колір, який зберігається протягом деякого часу	3 000
3.	Сік або зріз рослини забарвлюється в синій колір, який проявляється не відразу	1 000
4.	Сік або зріз рослини забарвлюється в світло-синій колір, який зникає через 2 – 3 хвилини	500
5.	Сік або зріз рослини забарвлюється в світло-синій або голубий колір, який швидко зникає	250
6.	Сік або окремі місця зрізу короткочасно забарвлюються в голубий колір	100
7.	Колір соку не змінюється. На окремих місцях зрізу – короткочасне проявлення рожевого кольору.	0

Розділ III

Тема 1. Основи еволюційного вчення

На сьогодні на Землі існує близько 2 млн. видів організмів, з них частка рослин становить 500 тис. видів, а тварин – 1,5 млн. видів. Кожен вид добре пристосований до умов існування. Звідки виникло це величезне різноманіття живих організмів на планеті і така пристосованість до умов їх проживання? Ці запитання давно не давали спокою природодослідникам.

Ще з давніх часів люди почали створювати різні системи класифікації живих організмів, зокрема рослин. Як правило, в основі таких класифікацій лежали споживчі якості. Прикладом такої класифікації може бути поділ рослин на їстівні, не їстівні та отруйні. Іноді класифікації такого типу використовують і в наш час, наприклад, в книжках з садівництва чи рільництва, де рослини поділяють на дерева, кущі, трави, або однорічні та дворічні і т.д. Такі класифікації зручні у використанні для людей певних професій, але не підходять для наукових цілей. Класифікації, які створені з метою їх застосування у вузькій галузі знань чи певного виробництва називаються *штучними*. Вони не відображають справжньої спорідненості організмів, бо вони побудовані на врахуванні їх окремих властивостей. Штучні класифікації застосовують для певних груп (видів) організмів (наприклад, класифікація акваріумних рибок).

На відміну від штучної класифікації існує *природна*, що всебічно відображає спорідненість організмів. Ця спорідненість є наслідком еволюції. Всі організми на Землі виникли шляхом еволюції, або поступового нагромадження корисних ознак, що передавалися спадково. Одні види давали початок другим, інші відмирили. Якщо спробувати графічно представити історію організмів, їх походження, ступінь спорідненості або філогенез, вона буде мати вигляд дерева із розгалуженим гіллям. Це дерево називають філогенетичним або родовідним. Всі організми мали колись одного спільного предка, який утворює стовбур цього дерева. Пізніше почали

виникли відмінності, що дали початок різним еволюційним гілкам філогенетичного дерева.

Якщо певна група організмів (таксон) утворює одне ціле відгалуження родовідного дерева, тобто походить від єдиного предка і охоплює всіх його потомків, то вона називається монофілетичною. Монофілетичними наприклад є всі ссавці. Якщо в склад групи входять види, що походять від різних предків, то вона називається поліфілетичною. Тобто поліфілетична група охоплює принаймні дві гілки родовідного дерева. Прикладом такої групи є фотосинтезуючі організми. Розрізняють також парафілетичні групи. Це такі групи, які походять від одного предка, але не охоплюють всіх потомків цього предка. Тобто це дерево, у якого виламали окремі гілки.

З початком планомірних досліджень природи (епоха Відродження) учені почали швидко накопичували матеріал про різноманітність рослинного і тваринного світу, і доволі гостро постала проблема його систематизації. Одним із перших спробу класифікації рослин зробив італієць А.Цезальпін (1583 р.). Згодом англійський ботанік Дж.Рей у 1693 р. ввів як одиницю систематики вид. Однак найбільший вклад в розвиток систематики органічного світу зробив видатний шведський натураліст Карл Лінней (1707 – 1778 рр.). Саме К.Лінней конкретизував і обґрунтував поняття виду і спираючись на це розробив основні принципи класифікації рослин і тварин. Незважаючи на певну недосконалість і помилковість у виборі критеріїв для класифікації, запропонована К.Ліннеєм система живої природи справила великий вплив на подальший розвиток систематики організмів. Особливо слід відзначити введення ним до наукового обігу подвійного латинського найменування кожного виду (першим терміном він визначав рід, а другим – вид). Застосування латинської мови у назвах живих організмів дозволяло уникнути непорозумінь, які виникали коли кожен науковець використовував мову своєї країни.

Якщо проблему класифікації живих організмів учені вирішували більш успішно, то питання виникнення їх різноманітності надалі залишалося

нез'ясованим. Теорія креаціонізму, яку проповідувала Церква (все живе на Землі створене Богом – творцем) сприймали далеко не всі. Хоча аж до другої половини ХІХ ст. вважалося, що види є незмінними і створені Богом. Однак, все більшого поширення набували ідеї біологічної еволюції. Історично одним із перших, спробу створити цілісну концепцію еволюції біологічного світу здійснив французький природодослідник Жан Батист Ламарк (1744 – 1829 рр.).

За Ж.Б.Ламарком види не є незмінними (як вважав К.Лінней). Рушійними силами, або механізмами еволюції є: природна риса всіх живих організмів до ускладнення будови власного тіла; активне пристосування організмів до умов середовища в якому вони живуть. Ж.Б.Ламарк вважав, що потреба організму є безпосередньою причиною розвитку певного органу (або процесу), за допомогою якого ця потреба реалізується. Наприклад, довгі шия і ноги у жирафа – це результат того, що багато поколінь цих тварин, живлячись листям дерев, тягнулись все вище і вище за кормом. В кожному наступному поколінні шия і ноги ставали все довші і довші. Подібним чином пояснювались форма тіла камбали, або наявність перетинок між пальцями водоплаваючої птиці. Набуті в процесі життя організму нові риси успадковуються його потомством. Отже, різноманітність форм живих організмів є віддзеркаленням різноманітності умов навколишнього середовища. Ж.Б.Ламарк вважав, що вплив зовнішнього середовища спричиняє виникнення у організмів лише корисних пристосувальних ознак. При цьому нові умови оточуючого середовища можуть мати настільки сильний вплив на організм, що він може перетворитися на новий вид. Таким чином, фактором видоутворення є змінені умови зовнішнього середовища.

Хоча головні засади теорії еволюції Ж.Б.Ламарка виявилися помилковими (прагнення живих організмів до ускладнення будови власного тіла; потреба, як безпосередня причина еволюційних змін і успадкування набутих рис в наступних поколіннях), його беззаперечною заслугою є

ствердження самого факту існування еволюції, що на той час було доволі прогресивним і підготувало ґрунт для теорії природного добору.

Остаточно теорія еволюції утвердилась в біології завдяки роботам видатного англійського природодослідника Чарлза Дарвіна (1809 – 1882 рр.). Хоча між виходом у світ робіт Ламарка і Дарвіна минуло лише 50 років, за цей час природознавство збагатилося рядом відкриттів, які підготували ґрунт для остаточного розуміння механізмів еволюції. Зокрема, роботи Ж.Кюв'є з порівняльної анатомії підтверджували подібність і можливу спорідненість організмів. Величезну роль мала клітинна теорія Т.Шванна і М.Шлейдена, згідно якої в основі будови всіх живих організмів лежить клітина. Ембріологічні дослідження К.Бера показали, що на ранніх стадіях розвитку спостерігається подібність зародків різних класів тварин.

Ч.Дарвін народився в 1809 р. в сім'ї заможного лікаря. Під час навчання в університеті, спочатку на медичному, а згодом на богословському факультеті, виявляв особливий інтерес до геології, ботаніки та зоології. Після закінчення навчання, він взяв участь у тривалій морській подорожі, під час якої йому вдалося зібрати багатий фактичний матеріал про мінливість організмів. Повернувшись до Англії, Ч.Дарвін почав вивчати практику розведення домашніх тварин, що дозволило йому сформулювати концепцію штучного добору. Однак він поки що не міг здогадатися, як добір діє у природних умовах. Допоміг випадок. Ч.Дарвін прочитав книгу священника Томаса Мальтуса «Трактат про народонаселення», в якій була зроблена спроба аналізу гіпотетичної ситуації росту народонаселення планети, якби він нічим не стримувався. Ч.Дарвін переніс ці ідеї на світ дикої природи і зрозумів важливу річ.

Чисельність будь-якої популяції залишається відносно стабільною, незважаючи на її високий репродуктивний потенціал. Отже, в популяціях постійно відбувається боротьба за існування і багатьом особам не вдається вижити і залишити потомство. Хто ж виживає? Оскільки в популяціях існує мінливість, то виживають і дають потомство ті особини, які найкращим

чином пристосовані до умов життя. Будь-яке, навіть найменше відхилення (фізичне, фізіологічне, поведінкове), яке дає одному організму переваги над іншими, буде спрацьовувати у боротьбі за виживання на його користь. Ці сприятливі зміни будуть передаватися наступним поколінням, а ті організми, які не володіють перевагами, будуть відкидатись природним добром (згодом ця форма природного добору була названа *рушійним*). Таким чином була сформульована гіпотеза про природній добір, який забезпечує виживання найбільш пристосованих представників популяції і може служити механізмом еволюції. У 1859 р. Ч.Дарвін опублікував свою видатну працю «Походження видів шляхом природного добору, або збереження сприятливих порід у боротьбі за життя» в якій і виклав дану концепцію еволюції.

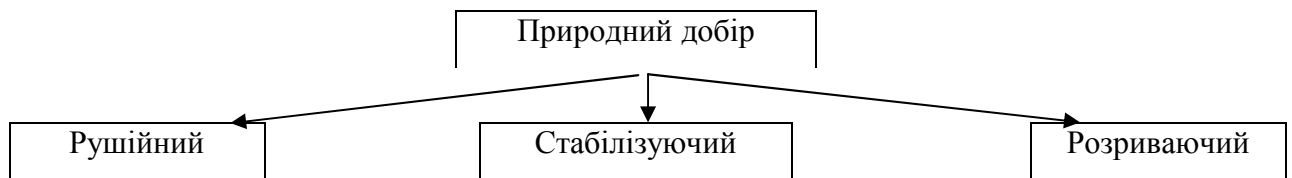
Окрім згаданого вже *рушійного* добору існує також *стабілізуючий*. Ця форма природного добору спрацьовує тоді, коли організм набуває ознак, що знижують його шанси на виживання. Наприклад, в популяції метеликів з темним забарвленням крил, які мало помітні на стовбурах дерев, можуть з'явитися особини зі світлим забарвленням. Ці особини будуть поїдатися птахами і матимуть дуже мало шансів на виживання і на залишення потомства. Стабілізуючий добір «вибраковує» такі організми.

Виділяють також розриваючий або дизруптивний природній добір. Цікавий приклад дії цієї форми добору наводить Ч.Дарвін. Він звернув увагу на те, що комахи – мешканці невеликих океанічних островів або зовсім не мають крил, або крила у них дуже добре розвинені завдяки чому вони чудово літають. Він припустив, що така ситуація спричинена сильними вітрами, який зносить комах в море, тому представники з проміжною формою розвитку даної ознаки (розмір крила) не змогли вижити в цих умовах. Таким чином розриваючий добір «вибраковує» тих представників популяції, які мають середній показник розвитку ознаки. При цьому залишаються особини з крайніми показниками розвитку ознаки. Постійний вплив цієї форми добору на популяцію може мати для неї серйозні наслідки. Це спричинене

появою механізмів ізоляції, оскільки представники популяції перестають паруватися випадково, а в партнери підбирають собі осіб з таким самим ступенем вираження ознаки, як і у них. В кінцевому підсумку це може спричинити навіть появу нового виду.

Таким чином природний добір поділяється на такі види (див. схему 2.9):

Схема 2.9 Види природного добору



Слід зазначити, що в природі рідко можна спостерігати дію окремої форми добору в чистому вигляді. Умови існування популяції певного виду постійно зазнають змін, а тому змінюється вплив і значення окремих форм добору. Таким чином, усі форми природного добору діють як єдиний механізм, що в кінцевому підсумку забезпечує найкраще пристосування організму до виживання в конкретних умовах навколишнього середовища та його взаємодію з представниками інших видів.

Окрім природного добору існує також штучний. Він здійснюється людиною і може бути *свідомим* і *несвідомим*. Свідомий реалізується відповідно до заздалегідь поставленої мети. Наприклад, селекціонер хоче вивести високопродуктивну молочну породу корів, що була б добре пристосована до місцевих умов існування. Для цього відбирають для схрещування тварин, які мають ті ознаки і властивості, що становлять мету добору. Далі, з покоління в покоління, відбирають тих особин, у яких бажані характеристики виражені найкраще, а решту відбраковують.

Несвідомий добір проводиться людиною без заздалегідь визначеної мети. При цьому просто усуваються менш цінні особини, а для подальшого розмноження залишають кращих. Ця форма штучного добору здійснювалася людиною з прадавніх часів і саме завдяки йому було відібрано вихідний матеріал для створення в майбутньому промислових порід одомашнених тварин і високопродуктивних сортів рослин.

При визначеній, або груповій мінливості живі організми змінюються однаковою чиною під впливом певного чинника. Ці зміни мають пристосувальний характер. У випадку припинення дії цього чинника цей вид мінливості у потомків проявлятися не буде, тобто вона не успадковується і не може бути використана у селекційній роботі. Невизначена, або індивідуальна мінливість виявляється тільки в окремих індивідів, як відповідь на дію зміненого зовнішнього середовища. Вона не має пристосувального значення і передається нащадкам. Як відзначав Ч.Дарвін, саме невизначені зміни утворюють матеріал для селекційної роботи в процесі виведення нових порід і сортів.

Такою в загальних рисах виглядала теорія еволюції органічного світу в результаті природного добору за Ч.Дарвіном. На сьогоднішній день ця теорія значно розширилась і доповнена даними з різних галузей біологічної науки (генетики, молекулярної біології, палеонтології, порівняльної морфології та ембріології та ін.). Наприклад, якщо порівняти будову скелета кінцівки усіх тварин від амфібій до ссавців, то стане очевидним що це п'ятипала кінцівка, яка структурно видозмінена і пристосована у кожного виду для виконання певних функцій (літання, плавання, риття землі і т.д.). Аналіз будови органів ротової порожнини всіх комах свідчить, що вона також однакова. Однак в залежності від способу життя і типу харчування, певні структури краще розвинені у одних видів, а інші – редуковані, або зовсім втрачені (тому терміти можуть руйнувати деревину, а бджоли – збирати мед). Хоча наведені приклади самі по собі не можуть служити доказом еволюції, однак можуть свідчити про ймовірне походження від далекого спільного предка, а існуюче різноманіття видів – впливом природного добору.

Значний внесок в розвиток сучасної теорії еволюції зроблено завдяки дослідженням з популяційної генетики. Саме генетика дозволила зрозуміти механізми мінливості популяцій. Кожен представник даної популяції володіє унікальним генотипом, сукупність яких утворює генофонд популяції. При цьому можна вирахувати частку (частоту) окремого алеля певного гена у

генофонді популяції. В популяціях, які перебувають у рівновазі (не еволюціонують) генофонд залишається незмінним (частоти окремих алелей коливаються у вузьких межах відносно середніх величин). Якщо у популяції відбуваються процеси еволюції, то їх генофонд змінюється. Ці зміни можуть бути викликані різними причинами. Найчастіше це мутації, що постачають генетичний матеріал для природного добору. Якщо в результаті мутації організм отримує нову ознаку, що допоможе йому краще пристосуватися до умов навколишнього середовища, або якісь інші переваги в конкурентній боротьбі за життєво важливі ресурси, то в результаті розмноження даний алель поступово буде збільшувати свою частку в генофонді популяції. В результаті таких процесів генофонд популяції буде поступово змінюватися.

Більшість мутацій рецесивні і тому їх нагромадження в генофонді певної популяції до пори до часу ніяк не виявляється фенотипово. Так триває доти, доки не почнуть утворюватися рецесивні гомозиготи і рецесивна ознака почне проявлятися, а отже – попадати під дію природного добору. Ступінь насиченості генофонду популяції рецесивними алелями створює необхідну матеріальну базу для спадкової мінливості.

Прийнято розрізняти мікроеволюцію і макроеволюцію. Мікроеволюція – це процес, що відбувається на основі природного добору всередині виду і призводить до утворення внутрішньовидових угруповань – популяцій і підвидів, а згодом і нового виду. Макроеволюція – це історичний розвиток живих форм на надвидовому рівні (родів, родин, рядів, класів). Рушійною силою макроеволюції є мікроеволюційні процеси.

Результатом еволюційного процесу є покращення пристосування живих організмів до середовища існування і, у переважній більшості випадків, ускладнення їх будови. Таким чином еволюція – це процес прогресивних змін, розвитку живої матерії.

Головними напрямками змін в процесі еволюції є ароморфози, ідіоадаптації і дегенерації.

Ароморфоз – це процес ускладнення будови живих організмів, завдяки яким вони отримують змогу краще пристосовуватися до навколишнього середовища, переважати своїх конкурентів в боротьбі за життєво важливі ресурси і в кінцевому підсумку збільшувати свою чисельність і розширювати ареал. Прикладом ароморфозів є заміна трикамерного серця на чотирикамерне, або набуття теплокровності в процесі переходу від рептилій до птахів і ссавців. Наслідком ароморфозів часто буває виникнення нових груп організмів.

Ідіоадаптація – це процес виникнення еволюційних змін в організмі, які не супроводжуються змінами в загальному рівні їх організації. Прикладом ідіоадаптації є захисне забарвлення тварин.

Дегенерація – один з напрямів еволюції, що супроводжується втратою одних органів чи систем органів з одночасним розвитком інших. Найчастіше спостерігається у видів, які перейшли до паразитичного способу життя.

Розглядаючи еволюцію як тривалий історичний процес, важко не задати собі запитання: «Чому саме ці, а не інші організми досягли еволюційного успіху, піддалися радіації, тобто розгалуженню на багато дрібніших гілок родового дерева? В той час, як інші, іноді набагато старші, такого успіху не досягли і представлені одиничними видами, в ще інші вимерли взагалі.» Відповісти на це запитання не просто. Важко, наприклад, зрозуміти чому після загибелі динозаврів саме ссавці, а не якась інша група організмів почали домінувати на Землі. Можна звичайно вказати на властивості організмів, які забезпечили їм такий еволюційний успіх.

Еволюція, якщо розглядати її як тривалий історичний процес, може спричинити несподівані зміни в будові організмів, але тут існують і певні обмеження. Уявімо собі, що на певному етапі історичного розвитку корисним стало значне збільшення маси тіла (наприклад, аби зберігати тепло). Які тварини швидше досягнуть таких змін – хребетні чи членистоногі? Очевидно, що хребетні, бо вони мають внутрішній скелет, тоді як зовнішній скелет членистоногих створює їм у цьому процесі суттєві

труднощі. Очевидно, що і вони могли б досягти збільшення маси свого тіла, але цей процес для них був би набагато важчим і тривалішим.

Часто обмеження еволюції виникають із законів фізики. Наприклад, розмір птахів обмежений можливістю польоту (дуже великий птах не зможе здійснитися в повітря використовуючи силу м'язів), а також вимогами теплокровності (дуже малий птах не в стані утримувати температуру тіла постійною). Інше обмеження впливає із законів розвитку зародка. Керування процесом онтогенезу за допомогою генів можна порівняти із комп'ютерною програмою. Будь-яку програму час від часу потрібно вдосконалювати згідно з новими вимогами користувачів. При цьому легше доповнити діючу програму новими модулями, аніж замінити її повністю, адже при цьому більшою є ймовірність виникнення помилок. Подібно до цього, в ході еволюції більшість змін здійснюється шляхом додавання нових підпрограм в процес розвитку, а не повної заміни програми розвитку. Тому перші етапи онтогенезу тварин однакові. Однак багаторазово в ході еволюції відбувалися зміни, що стосувалися зміщення в часі появи певних фенотипових рис. Прикладом може бути існування у дорослих організмів рис, які властиві молодим (педоморфоз).

На завершення хочемо підкреслити, що незважаючи на те, що теорія еволюції підтверджується даними з багатьох галузей науки, беззаперечних доказів достовірності цієї теорії на сьогодні не існує, так само як і чітко сформульованих її законів. Це тільки набір гіпотез, які в сукупності утворюють дану теорію і потребують подальшого розвитку і уточнення.

Тема 2. Історичний розвиток і різноманітність органічного світу

Історію існування нашої планети учені поділяють на п'ять ер. В свою чергу кожна ера поділяється на періоди, а періоди – на епохи. Тривалість кожної ери, періодів та епох різна, але дуже значна і обчислюється мільйонами років. Вік і тривалість окремих ер, періодів та епох вчені визначають за допомогою розщеплення радіоактивних елементів (зокрема урану), а події, що відбувалися в кожному з історичних періодів – на основі викопних решток живих організмів. Назви геологічних епох звичайно запозичені з тих місць, де були вперше віднайдені осадові породи цього періоду. Наприклад, осадові породи утворені в девонському періоді описані в англійському графстві Девон, а породи юрського періоду – в масиві Юра, що знаходиться на кордоні між Францією і Швейцарією.

Таблиця 2.1. Геохронологічна шкала

№ з/п	Ери	Початок – кінець (років тому)	Тривалість (млн. років)	Періоди	Початок – кінець (років тому)	Тривалість (млн. років)
1.	Архейська (найдавніша ера)	4,5 – 2,5 млрд.	2 000			
2.	Протерозойська (ера раннього життя)	2,5 – 0,6 млрд.	1 900			
3.	Палеозойська (ера давнього життя)	600 – 240 млн.	360	Кембрійський	600 – 500	100
				Ордовіцький	500 – 440	60
				Силурійський	440 – 400	40
				Девонський	400 – 350	50
				Кам'яновугільний	350 – 280	70
				Пермський	280 – 240	40
4.	Мезозойська (ера середнього життя)	240 – 65	175	Тріасовий	240 – 185	55
				Юрський	185 – 130	55
				Крейдяний	130 – 65	65
5.	Кайнозойська (ера нового життя)	65 – триває досі	65	Палеогеновий	65 – 25	40
				Неогеновий	25 – 2	23
				Антропогеновий	2 – досі	2

Вік нашої планети оцінюють приблизно у 5 – 6 млрд. років, при цьому на Землі не вдалося віднайти порід вік яких перевищує 4 млрд. років. Вік найстаріших скель, що містять ознаки життя оцінюють у приблизно 3,5 млрд. років (архейська ера). Серед науковців досі точаться дискусії, чи можна вважати знайдені сліди беззаперечними ознаками живих організмів, чи вони утворилися внаслідок якихось фізико-хімічних процесів. Впродовж майже 2 млрд. років живі організми на Землі були представлені одноклітинними або дуже примітивними багатоклітинними. Очевидно, в цей час тривали процеси вдосконалення будови та функціонування клітини. Зокрема такі, як механізм запису та збереження генетичної інформації, створювалися основні метаболічні шляхи обміну речовин в клітині. Спільний предок всіх організмів очевидно був подібний до сучасних бактерій і отримував необхідну для життя енергію за допомогою процесів хемосинтезу.

Пізніше від нього пішли інші живі організми. Очевидно, це були прокаріоти (без'ядерні форми організмів), що були представлені ціанобактеріями, залізобактеріями, зеленими і пурпурними бактеріями. Перші живі істоти на планеті, очевидно, були анаеробами, оскільки в атмосфері не було кисню. Переломною подією стала поява фотосинтезуючих організмів. Завдяки фотосинтезуючій діяльності мікроорганізмів в атмосфері поступово почав накопичуватися вільний кисень та утворився озоновий шар. Для більшості тодішніх мешканців Землі кисень був отруйним, тому ці організми загинули. З'явилися нові, які навчилися використовувати кисень у процесі дихання (аеробні форми живих організмів). Дихання виявилось надзвичайно ефективним процесом в плані отримання значної кількості енергії, яку можна було скеровувати на різноманітні цілі в процесі життєдіяльності, наприклад для швидкого пересування.

Головними подіями, що характеризують подальший розвиток життя на Землі у *протерозойську еру* стала поява перших еукаріот, а згодом – і перших багатоклітинних організмів. Вік перших еукаріот оцінюють у два мільярди років. Це були одноклітинні зелені водорості. Саме ці організми дали

початок рослинам (водорості), тваринам (найпростіші) та грибам. Всі вони існували переважно в морях. Перші скам'янілості, які, як вважають, могли належати прадавнім тваринам датуються кінцем протерозойської ери (0,8 – 0,6 млрд. років тому). Ці організми не були схожі на сучасних тварин і не мали скелета.

Яким чином із прокариот утворилися еукаріоти? Існує декілька гіпотез, які пропонують можливі механізми цього процесу. Найпереконливішою є симбіотична. Вона пояснює появу еукаріот симбіотичними процесами, що поступово об'єднали декількох прокариот. Важливим аргументом на користь саме такого розвитку подій прихильники цієї гіпотези вважають наявність в еукаріотичній клітині двомембранних органел (мітохондрій, пластид). Ці органели мають свій геном і здатні до самостійного розмноження. Отже, можна припустити, що в минулому це були самостійні організми.

Важливим етапом у розвитку живих організмів цього періоду була поява двобічної симетрії, та пов'язана з нею диференціація тіла на спинний і черевний бік. В цей період з'явилися перші кишковопорожнинні (медузи, поліпи), а також плоскі, кільчасті і круглі черви, молюски, голкошкірі та хордові (їхній представник у сучасній фауні – ланцетник). Кінець протерозойської ери ознаменувався загибеллю великої кількості живих організмів внаслідок сильного зледеніння.

Палеозойська ера характеризується бурхливим розвитком різних форм життя. В ордовицькому періоді розпочався черговий важливий етап еволюції – вихід живих істот на суходіл, хоча на початку палеозойської ери (кембрійський період) життя продовжувало існувати у воді. Значного поширення набули багатоклітинні водорості великих розмірів. Поступово у них сформувалися тканини і розпочався процес завоювання рослинами суші. Перші з них – псилофіти, в переважній своїй більшості мали стебло і кореневище, і були схожими на папороті і мохи. До цього ж періоду відноситься і поява перших грибів, які разом з найпростішими і бактеріями забезпечували процеси ґрунтоутворення.

Наступним важливим етапом розвитку рослин стала поява кореня і листка. Таким чином завершився процес диференціації рослин на спеціалізовані частини, що мали чітко окреслені функції – стебло, листок і корінь. В девонський період від псилофітів виникли вищі спорові: хвощі, папороті і плауни. Вони досягли особливого розквіту в кам'яновугільний період, коли за сприятливих кліматичних умов (тепло і багато вологи) із їх залишків сформувалися поклади кам'яного вугілля. Поряд з цим багата рослинність сприяла подальшому формуванню ґрунту і збагаченню атмосфери киснем, що створювало передумови виходу на сушу тварин.

Наступним кроком еволюції рослин стала поява насінневих папоротей. Якщо для розвитку спорових необхідна вода, то рослини, що розмножуються за допомогою насіння, такої потреби не мають. У насінні містяться поживні речовини, а шкірка захищає від несприятливих умов зовнішнього середовища. Все це в сукупності забезпечило швидке завоювання рослинами суші.

У морях з'являються перші примітивні хребетні – круглороті (зокрема щиткові). Хоча у них поки що не було щелеп (вони з'являться дещо пізніше), однак вони мали череп і хребці. Поява щелеп знаменувала собою суттєве ускладнення будови тіла і поведінки (удосконалення нервової системи, органів чуття, інстинктів).

Слідом за рослинами вихід на сушу здійснили і тварини. Очевидно, першими тут були кистепері риби. Саме їх потомки – стегоцефали, почали колонізацію суші. У стегоцефалів яйця і личинки могли розвиватися лише у воді, тому вони жили поблизу водойм, нагадуючи цим сучасних земноводних. Відсутність природних ворогів і наявність великої кількості корму (комахи, черви, павукоподібні) сприяли швидкому розселенню стегоцефалів і їх дивергенції на багато видів. Перші наземні травоїдні тварини з'явилися у силурі, коли на Землі вже було достатньо їжі.

Від стегоцефалів виникли не тільки земноводні, але й плазуни. Поява у останніх важливих ароморфозів, а саме – внутрішнього запліднення, яйця

вкритого щільною оболонкою, рогового покриву тіла, міцних кінцівок, вдосконалених дихальної і кровоносно-судинної систем – дозволила їм швидко завоювати суходіл і стати першими справжніми наземними хребетними. Особливого розквіту ця група отримала у наступну – мезозойську еру. В останній період цієї ери – пермський, з'явилися звірозубі плазуни, яких вважають предками ссавців.

Мезозойська ера розпочалася приблизно 240 млн. років тому і складалася із трьох періодів – тріасового, юрського і крейдяного. Найважливішими подіями, що відбулися в цю еру є поява перших представників ссавців, вкритих шерстю; перших птахів, вкритих пір'ям і перших покритонасінних (квіткових) рослин.

Однак насамперед мезозойська ера відома в геологічній історії, як ера панування плазунів, відомих ще під назвою динозаври. Це були тварини різноманітних розмірів і ваги (від 1 м до 30 м завдовжки і вагою від декількох десятків кілограмів до 80 т). Наземні види пересувалися на чотирьох або двох задніх кінцівках. Серед них були як рослиноїдні так і м'ясоїдні. Найбільшими наземними тваринами всіх часів були травоїдні зауроподи (серед них – апатозаври). Маса їх тіла досягала 100 т. Хижі тиранозаври мали вагу до 7 т і довжину тіла до 14 м. Правдоподібно, деякі з динозаврів були теплокровними.

Представники динозаврів проживали не тільки на суші, але також в морі (плезіозавр, іхтіозавр), а деякі опанували повітря (птеродактиль, рамфоринх, археоптерикс). Вважають, що саме від літаючих ящерів походять сучасні птахи. Кістки у них були легкі (порожнисті), а грудина мала киль. У морях поряд з динозаврами значного поширення набули головоногі молюски – амоніти і белемніти. Динозаври вимерли в кінці крейдяного періоду.

Перші ссавці (однопрохідні та сумчасті) відомі з тріасового періоду. Вони були невеликими за розмірами (5 – 15 см), вкриті шерстю і нагадували сучасних землерийок. Вищі ссавці і справжні птахи з'явилися пізніше – у крейдяному періоді. Добре розвинуті кровоносна та нервова системи

забезпечували їм теплокровність і зменшували залежність від температури навколишнього середовища, що в свою чергу сприяло їх розселенню на значних територіях. У ссавців, окрім цього, важливу роль мало виношування малят всередині тіла та вигодовування їх молоком.

В мезозойську еру значного поширення набули ліси з папоротеподібних, хвощових і хвойних. Саме вони забезпечували кормом рослиноїдних динозаврів. Вважається, що в кінці мезозою (очевидно, в крейдяному періоді) від голонасінних виникли покритонасінні. Вони мали цілий ряд суттєвих переваг: по-перше, квітка добре захищає насіння від несприятливих факторів; по-друге, можливість запилення комахами дає змогу давати насіння навіть поодинокую рослину (у голонасінних для запилення вітром потрібна група рослин); триплоїдний ендосперм прискорює дозрівання насіння (у голонасінних він гаплоїдний). Все це зумовило поширення покритонасінних на значних територіях і витіснення голонасінних з багатьох тодішніх екосистем. В результаті дивергенції у покритонасінних утворилося два класи: однодольні і дводольні. Поряд з покритонасінними значного розвитку набули і різноманітні комахи – запилювачі (мухи, метелики, бджоли).

Кайнозойська ера – це новітня ера в геологічній історії Землі. Вона розпочалася близько 65 млн. років тому і триває досі. Для цієї ери характерним є панування ссавців, птахів, комах і покритонасінних рослин. Ці групи органічного світу тісно взаємопов'язані симбіотичними зв'язками: рослини забезпечують їжу для ссавців, птахів і комах; комахи запилюють рослини; деякі види птахів і ссавців сприяють поширенню рослин.

Кайнозойську еру поділяють на три періоди: палеоген (тривалістю приблизно 40 млн. років), неоген (25 млн. років) і антропоген (1,5 – 2 млн. років). На початку ери (палеоген) вимерло багато видів ссавців, які з'явилися в тріасовий та юрський періоди мезозойської ери. Натомість з'явилися представники сучасних видів хижаків, травоїдних та гризунів. Зокрема, хоботні, предки сучасних коней, носорогів, бегемотів, верблюдів, лам,

свиней. Серед птахів тієї епохи були і хижаки, зокрема в степах були поширені діатрими заввишки 2 м, а в Південній Америці – хижий журавель фороракос заввишки 3 м. В епоху пліоцену (приблизно 5 млн. років тому) клімат почав сильно охолоджуватися, а в епоху плейстоцену (приблизно 1,8 млн. років тому) настало зледеніння. Це спричинило зникнення багатьох видів флори та фауни. На просторах Євразії і Південної Америки вижили лише ті види, які зуміли пристосуватися до холодного клімату: мамоти, волохаті носороги, шаблезубі тигри, печерний ведмідь. Жили вони одночасно з доісторичними людьми, які, найімовірніше, винищили їх.

В процесі розвитку органічного світу на планеті впродовж останніх 3,5 млрд. років спостерігається повільне зростання біологічного різноманіття. Цей процес не мав рівномірного характеру. Декілька разів спостерігалось масове вимирання видів. Такі висновки можна зробити досліджуючи скам'янілості в осадових породах, тобто процеси, що відбувалися у воді. На думку науковців, таких періодів було принаймні 5. Причини масової загибелі живих організмів остаточно не з'ясовані. Найбільш вірогідно, що ці процеси були викликані космічними катастрофами, коли на Землю падали великі метеорити. Падіння великих космічних тіл викликало масштабні пожежі лісів. В атмосферу здіймалися величезні хмари пилу і попелу, які на тривалий час закривали поверхню Землі від сонячного проміння, що і стало причиною її охолодження. Можливо саме така подія і спричинила зникнення динозаврів. Однак кожна така катастрофа надавала нового імпульсу еволюції, адже вивільняла життєвий простір для нових видів живих істот. Правда, процес відновлення був доволі тривалим. Наприклад, після великого вимирання в кінці палеозойської ери, біологічне різноманіття в морях відновилося тільки на межі юрського і крейдяного періодів, або через 90 млн. років. В даний час також спостерігається різке зменшення видового різноманіття живої природи, однак причини, що спричинили цей процес не є природного походження, а пов'язані із діяльністю людини.

Важливу роль в розвитку і поширенні життя на Землі відігравали геологічні, кліматичні, геофізичні та інші фактори, які суттєво змінювали поверхню планети та умови існування на ній. Величезні поверхні континентів розділялися, об'єднувалися, вдарялися одна об одну, а разом з ними переміщалися живі організми, які їх населяли. Зміщення та удари тектонічних плит були причиною утворення гірських систем. Наприклад, Гімалаї утворилися в результаті удару в Євразію півострова Декан, який свого часу був частиною Африки.

Неодноразово змінювався також рівень світового океану. Частих змін зазнавав також клімат. Всі ці фактори в сумі створювали географічні та кліматичні бар'єри, сприяли утворенню нових видів та нових еволюційних ліній. Зміни середовища (навіть такі, що мали катастрофічний характер) давали новий імпульс еволюції. Організми були змушені пристосовуватися до нових умов існування. Все це в підсумку сприяло зростанню біологічного різноманіття на Землі. Космічні катастрофи, переміщення континентів, тектонічні зсуви, зміни клімату, зміни умов оточуючого середовища – все це зовнішні чинники, які визначали перебіг макроеволюції організмів.

Найновіший період кайнозойської ери знаменний появою та розвитком людини. Хочемо зауважити, що питання виникнення життя на Землі взагалі й походження людини зокрема не є вирішене остаточно. Що стосується теорій виникнення людини, то домінуючими тут є дві. Згідно першої – креаціоністської – людина (як і все інше на Землі та й сама Земля) створена вищою надприродною силою – Богом. Згідно з іншою – еволюціоністською – поява людини є результатом тривалого процесу розвитку і вдосконалення предків людини, якою була мавпа. Оскільки креаціонізм не є науковою теорією, католицька Церква визнала, що еволюціонізм (трактований лише як зміни в процесі розвитку) не суперечить вірі.

Походження людини. Усіх людиноподібних мавп поділяють на великих і малих. До першої групи належать: шимпанзе звичайний, карликовий шимпанзе (бонобо), горила і орангутан. До другої – гібони. Найближчими

родичами людини є представники першої групи – великі людиноподібні мавпи. Всі вони живуть у вологих теплих лісах Африки і Азії. Орангутани водяться тільки на двох індонезійських островах – Суматра і Борнео, решта видів походять з Африки.

Всі людиноподібні мавпи (особливо горили та шимпанзе) вирізняються добре розвинутим розумом і легко вчаться, зокрема шляхом наслідування. Хоча вони не розмовляють, але в неволі їх можна навчити простої мови міміки та жестів, за допомогою якої можуть передавати доволі багато інформації. Виражають свої емоції жестами, як і людина. Вміють обманювати і сміятися з жартів (наприклад, коли опікун підкладає замість банана іншій мавпі шкірку від нього). Бачачи своє відображення в дзеркалі ідентифікують себе з ним, тобто мають самосвідомість. При виконанні певних видів діяльності можуть використовувати прості знаряддя.

Людиноподібні мавпи і людина мають багато спільних рис. Зокрема, *протиставлений великий палець* на руці. Завдяки цьому вони можуть міцно триматися за гілки і добувати собі корм (зривати листя, розривати фрукти). Примати мають *близько розташовані очі*, що дозволяє їм бачити у трьох вимірах. Ця властивість зору є надзвичайно важливою, оскільки дозволяє точно визначати відстань при стрибках з гілки на гілку. Мавпи Старого Світу здатні *розрізняти кольори*, що для ссавців є винятковим явищем. Це дозволяє їм відбирати стиглі фрукти та молоде листя. Всі вони *довго опікуються потомством*, присвячуючи йому багато уваги. Самки родять звичайно одне дитинча, яке носять із собою. У багатьох мавп дуже міцними є суспільні зв'язки. Вони мають почуття справедливості. Помічено, що мавпи вчаться одна від одної, завдяки чому передають у поколіннях певні знання, виявляючи тим самим початки культури.

Всі ці факти вказують на те, що дуже багато рис притаманних людині властиві також і людиноподібним мавпам, зокрема шимпанзе. Саме шимпанзе є найближчими до людини. Секвестр генів засвідчив, що відмінності у цих двох істот становлять лише 1,2%. На підставі генетичної

подібності зроблено висновок, що спільний предок людини і шимпанзе жив в Африці близько 5 – 7 млн. років тому.

Хоча стиль життя сучасної людини дуже відрізняється від способу життя її давніх предків, ми зберегли в більшій чи меншій мірі всі найважливіші спільні з ними риси. Деякі з них відіграли надзвичайно важливу роль в розвитку людської цивілізації. Наприклад, вмiла рука зробила можливим створення знарядь праці, гострий зір – розвиток мистецтва, зокрема малярства. Зрештою наша еволюційна спорідненість знаходить своє відображення і в психіці (діти, так само як молоді мавпи, інстинктивно бояться змій, в той час як зовсім не бояться автомобілів).

Однак людина володіє і специфічними рисами. До них слід віднести:

- великий об'єм мозку і значна поверхня кори мозку завдяки наявності численних борозен;
- прямоходіння (ходіння на нижніх кінцівках) і пов'язане з цим пряма будова тіла і відповідні зміни в будові скелета;
- незначна кількість волосся на тілі;
- м'ясистий, рухливий язик, відповідна будова і розташування гортані, що робить можливим артикуляцію звуків;
- дуже довгий період опіки над потомством, що сягає кільканадцять років;
- мова, що на відміну від систем комунікації звірів, дає змогу передавати дуже різний зміст, в т.ч. опис ситуацій, що відбувались десь і колись;
- надзвичайно міцна довготривала пам'ять, що дозволяє накопичувати досвід впродовж життя;
- дуже сильні суспільні зв'язки;
- винятково високий рівень інтелектуального розвитку, в т.ч. здатність виробляти знаряддя і користуватися ними.

Названі риси виявляються і у людиноподібних мавп, але у людей вони розвинулися надзвичайно добре. Розум, пам'ять, суспільні зв'язки і здатність

до комунікації призвели до розвитку культури і цивілізації – процесу нагромадження досвіду і передачі його з покоління у покоління.

Батьківщиною прадавніх людей вважається Східна Африка, де знайдено найбільше їх залишків. Декілька мільйонів років тому розпочалися значні кліматичні зміни в районі Великого Африканського Рову. На захід від Рову клімат не змінився, в той час як на східній стороні клімат став значно сухіший. На цих територіях виникли савани. Предки людини були змушені пристосовуватися до цих змінених умов існування. Вважається, що багато специфічних рис людини виникли, як результат пристосування до цих змінених умов. Однією з перших таких рис було прямоходіння. Висуваються різні гіпотези, щоби пояснити потребу прадавніх людей звестися на задні кінцівки. Наприклад, ця робить можливим дотягуватися до плодів, що ростуть високо; допомагає краще орієнтуватися серед високої трави, яка вкриває савану; допомагає легше переносити високу температуру середовища, оскільки зменшує поверхню тіла, що обігривається сонцем. Руки, які в результаті прямоходіння були звільнені від функції пересування, з часом пристосувалися до виконання точних рухів. Це створило передумови для обробітку каменю і створення перших кам'яних знарядь праці. Переважна більшість науковців вважає, що такі риси, як розум, пам'ять та здатність до колективних дій виникли тоді, коли прадавні люди розпочали полювати.

Викопні рештки свідчать про чітку тенденцію до збільшення об'єму головного мозку – від 350 – 500 см³ у найстаріших прадавніх людей до 1200 – 1600 см³ у сучасної людини. Цей факт є досить загадковим і несподіваним, адже у сучасних людей об'єм мозку не пов'язаний з рівнем їх інтелектуальних здібностей.

Першим представником людської гілки вважають ардіпітека (*Ardipithecus ramidus*), який жив 5,8 – 4,4 млн. років тому в Африці. Близько 4,2 млн. років тому в північній Кенії з'явилися перші австралопітеки. При них ми знаємо відносно мало, бо їх залишки не є повними. Значно більше

відомо про австралопітека африканського (*Australopithecus afarensis*), які жили в Східній Африці 3,9 – 3 млн. років тому. Їхній зріст був приблизно 150 см у чоловіків і 100 см у жінок. Об'єм мозку становив 380 – 530 см³. Біля їх залишків не знайдено жодних знарядь праці. Різні їх форми жили в Африці аж до 1 млн. років тому. Вони ходили на двох кінцівках і мали досить потужну будову тіла.

Приблизно 2,5 млн. років тому виникла інша форма прадавніх людей з більш делікатною будовою тіла і об'ємом мозку 600 – 750 см³. Їх зріст сягав 125 – 140 см. Біля їх залишків знайдено перші кам'яні знаряддя праці, тому вчені класифікують їх до представників виду *Homo*, або людина. Назвали їх *Homo habilis* (людина вміла). Першою людською формою що емігрувала з Африки була людина прямоходяча (*Homo erectus*), яку ще називали пітекантропом. З'явилась вона 1,9 – 1,5 млн. років тому. Пітекантропи мали будову тіла подібну до сучасної людини і об'єм мозку 800 – 1200 см³. Окрім Африки його залишки знайдено в Європі, Західній і Середній Азії і навіть у Китаї та на Яві, де, очевидно, він жив ще 40 тисяч років тому, аж до появи сучасної людини.

Людина неандертальська (*Homo neanderthalensis*) з'явилась близько 200 тисяч років тому. Їх рештки знайдено на Близькому Сході, в Європі та Середній Азії. Неандертальці були проміжною формою між прадавніми людьми і першими представниками сучасних людей (кроманьйонцями). Хоча форма їх черепа суттєво відрізнялася від сучасної людини, однак об'єм мозку досягав 1300 – 1500 см³, а зріст (155 – 165 см) і пропорції тіла нагадували статуру сучасної людини. Вимерли вони приблизно 28 тисяч років тому, вже після появи в Європі кроманьйонської людини, яка представляла вже наш вид, чи людину розумну (*Homo sapiens*).

Неандертальці і людина розумна були визнані представниками того самого виду. В 1997 р. науковцям вдалося отримати фрагменти ДНК з викопних кісток неандертальця, визначити їх послідовність і порівняти із послідовністю ДНК сучасної людини. Виявилось, що послідовність

неандертальця є цілком відмінною від людської. У 1999 р. використовуючи додаткові дані, вдалося встановити, що еволюційні лінії неандертальця і людини розійшлися близько 450 тисяч років тому.

Першими представниками сучасних людей вважають кроманьйонців (від назви печери Кроманьйон у Франції, де були вперше знайдені їх рештки). Їх антропометричні характеристики відповідають сучасній людині (зріст 180 см, об'єм мозку – до 1600 куб. см). Кроманьйонці переважали неандертальців не тільки набагато складнішими видами трудової діяльності, але й значно вищим рівнем соціалізації. Вважають, що у них вже були присутні елементи колективної діяльності та свідомості (спільний захист від ворогів, полювання та праця). Кроманьйонці залишили по собі яскраві свідчення духовної культури. Зокрема, чудові наскельні малюнки звірів на стінах печер вражають і сучасних людей, хоча створені 30 – 10 тис. років тому.

Що стосується виникнення відмінностей в популяції людей, то на підставі аналізу ДНК вдалося встановити, що розпочалися вони відносно недавно – 100 – 200 тисяч років тому, а можливо і пізніше. Сучасна відмінності у людей, які виявляються в різниці в зрості, статурі, кольорі шкіри, волосся, очей, формі носа і т. ін. виникли відносно недавно.

Традиційно у людей розрізняють три раси в залежності від кольору шкіри: чорна (негроїдна), біла (європеїдна) і жовта (монголоїдна). Однак в світлі сучасних досліджень такий поділ є необґрунтованим. Африканці набагато різноманітніші, аніж європейці й азіати разом узяті. Більше того, європейці ближче споріднені з мешканцями Ефіопії або Судану, ніж ці останні з бушменами Південної Африки. Всі люди колись мали темношкірих африканських предків. Сьогоднішні відмінності між європейцями, азіатами і австралійцями мають пристосувальне значення. Вчені проаналізували спорідненість людських популяцій, колір шкіри і клімат. Було встановлено, що колір шкіри змінювався у людей багаторазово і зовсім не відображає спорідненості. Він пов'язаний з кількістю ультрафіолетового опромінення,

що попадає на шкіру і рівнем продукції шкірою меланіну – пігменту темного кольору.