



Збереження та реалізація спадкової інформації

19 Гени та геноми



Коли ви знайомилися з хімічним складом клітини, ви розглянули таку групу органічних речовин, як нуклеїнові кислоти. Які особливості будови притаманні цим речовинам? Які функції в клітинах вони виконують? Також пригадайте, що вивчає генетика.



Мал. 19.1. Спадкова інформація в організмі людини

Спадкова інформація

Чому діти схожі на батьків, а з насіння соняшника виростає соняшник, а не пшениця? Тому що організм нащадків будується за інформацією, яку він отримує від своїх батьків. Саме вона визначає розмір і форму організму, будову й функції його клітин та органів. Ця інформація також визначає, наприклад, як пшениця буде захищатися від паразитичних грибків та як кішка буде хапати мишу під час полювання. Цю інформацію називають **спадковою**, або **генетичною**.

Спадкова інформація міститься в молекулах ДНК, які є в кожній клітині організму.

У клітинах еукаріотів ДНК входить до складу хромосом, які містяться в ядрах клітин. А з клітин утворюються всі тканини й органи (мал. 19.1).

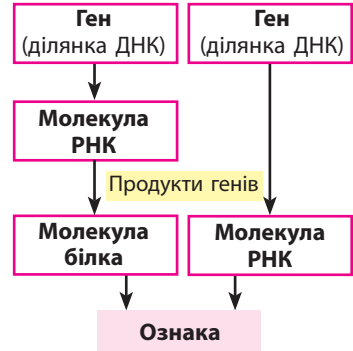
Гени

Уся спадкова інформація організму поділена на окремі невеличкі блоки, які називають **генами**.

Кожний ген є ділянкою молекули ДНК. Він відповідає за утворення однієї або кількох ознак організму. Але більшість ознак утворюються в результаті взаємодії кількох генів.

В яких структурах розташовані гени? У прокаріотів вони зосереджені у великій кільцевій молекулі ДНК (це нуклеоїд або бактеріальна хромосома). Крім того, вони є в невеликих кільцевих молекулах ДНК — плазмідах.

В еукаріотів гени містяться в хромосомах ядра, мітохондріях і пластидах. Відповідно до місця розташування гени еукаріотів поділяють на ядерні, мітохондріальні та гени пластид.



Мал. 19.2. Схема утворення продуктів генів та ознак організму

Як працюють гени

Як відомо, білки складаються з амінокислот, а ДНК — з нуклеотидів. У кожному з білків амінокислоти розташовані в певній послідовності. Послідовність нуклеотидів ДНК визначає послідовність амінокислот у молекулі білка, що й зумовлює особливості кожного з них. У кожному гені послідовність нуклеотидів різна. Тому різні гени містять інформацію про будову різних молекул білка.

Деякі гени містять інформацію не про молекулу білка, а про молекулу РНК, яка виконує в клітині якусь окрему функцію. Молекули білка або РНК, будова яких визначається послідовністю нуклеотидів гена, називають **продуктом** гена.

Для утворення продукту гена на відповідній ділянці ДНК ферменти спочатку синтезують (утворюють) відповідну їй за будовою молекулу РНК. Далі ця молекула може використовуватися в різних процесах у клітині. Або за інформацією з цієї РНК може синтезуватися молекула білка, яка і є продуктом гена (мал. 19.2).

Типи генів

За функціями гени живих організмів можна поділити на дві великі групи: структурні й регуляторні. **Структурні** гени містять інформацію про будову молекул білків та РНК клітини, які входять до складу органел або цитоплазми клітин.

Регуляторні гени теж містять інформацію про структуру молекул білків або РНК. Але їхнє завдання — регулювати роботу структурних генів. Можуть її прискорити чи вповільнити. Або й зовсім припинити синтез продукту гена, який клітині на даний час не потрібен.



Мал. 19.3. Компоненти геному людини

Геном

Усі гени організму входять до складу **геному**. Крім генів до складу геному організму входять ділянки молекули ДНК, які не утворюють продуктів (мал. 19.3). Саме геном регулює всі процеси в клітині. Це утворення потрібних речовин, взаємодія клітин між собою, реакція на зовнішні подразники та інші процеси.

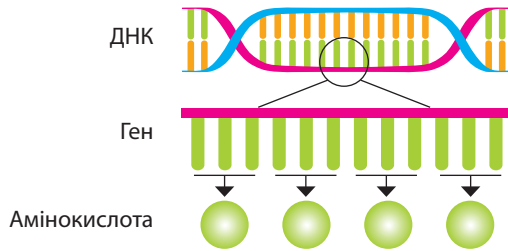
Розмір геномів живих організмів визначається двома різними способами. У першому випадку рахують кількість генів, а у другому — кількість пар нуклеотидів у ланцюгах ДНК.

Розмір геному деяких видів живих організмів

Організм	Приблизна кількість генів	Приблизна кількість пар нуклеотидів
Кишкова паличка	4 200	4,6 млн
Тополя	73 000	480 млн
Пекарські дріжджі	6 200	12,1 млн
Шовкопряд	14 000	432 млн
Миша	20 200	2,7 млрд
Людина	20 000	3,2 млрд

Генетичний код

Як ви вже дізналися, будова молекули білків визначається послідовністю нуклеотидів у ДНК. Тому вчені говорять, що будова білка закодована в ДНК. Кожна амінокислота кодується з допомогою трьох нуклеотидів. Така трійка (триплет) нуклеотидів, яка відповідає певній амінокислоті, називається **кодоном**. Система запису спадкової



Мал. 19.4. Відповідність між триплетами нуклеотидів та амінокислотами

інформації в молекулах нуклеїнових кислот, відповідно до якої певна послідовність нуклеотидів у молекулі ДНК та РНК визначає послідовність амінокислот у молекулі білка, називається **генетичним кодом**.

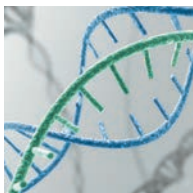


У молекулах ДНК спадкову інформацію зберігає більшість живих організмів. Але є й винятки. Деякі віруси можуть зберігати спадкову інформацію в молекулах РНК, а їхні гени, відповідно, є ділянками РНК.



Інформація, яка визначає властивості організму й передається від батьків до їхніх нащадків, називається спадковою. Спадкова інформація записана в генах — ділянках ДНК, кожна з яких виконує одну або кілька функцій. Гени поділяються на структурні й регуляторні. Всю сукупність генів організму називають геномом. Система запису спадкової інформації в молекулах нуклеїнових кислот називається генетичним кодом.

20 Будова генів про- та еукаріотів



Згадайте, яка речовина є носієм спадкової інформації в живих організмах. Повторіть, що таке ген. Які бувають типи генів? У чому полягає різниця між структурними й регуляторними генами?

Схема будови гена

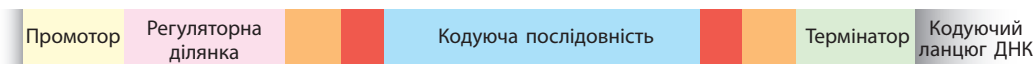
Всі гени мають однакову схему будови. Вони складаються з кількох ділянок (мал. 20.1). Головною ділянкою будь-якого гена є та, яка містить інформацію про будову молекули білка або РНК (продукту гена). Це кодуюча частина гена. Інші ділянки гена — некодуючі. Вони не містять інформації про будову молекул, синтез яких забезпечує ген. Але вони відповідають за роботу гена.

Некодуючими ділянками гена є промотор і термінатор. Промотор — це ділянка гена, яка позначає місце, де починається синтез РНК, термінатор — де закінчується синтез. Крім того, до складу гена входять регуляторні ділянки, які регулюють його роботу.

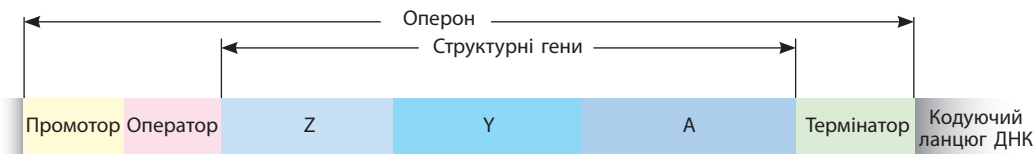
Гени прокаріотів

Гени прокаріотів мають відносно просту структуру. Частіше за все кожен із цих генів містить інформацію тільки про одну структуру — молекулу білка або РНК.

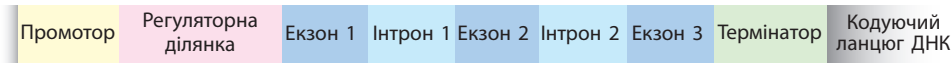
Гени прокаріотичних організмів часто організовані в оперони. Оперон — структура, яка складається з кількох структурних генів (мал. 20.2). Він дозволяє прокаріотам за один раз відразу синтезувати



Мал. 20.1. Загальна схема будови гена



Мал. 20.2. Будова оперона прокаріотичного організму



Мал. 20.3. Будова еукаріотичного гена

продукти кількох генів. Структурні гени в опероні розташовані поряд і мають на всіх один спільний промотор, один спільний термінатор і один спільний оператор, який регулює його роботу.

Прикладом оперона може бути лактозний оперон кишкової палички. Він містить гени, які кодують ферменти, потрібні для синтезу вуглеводу лактози.

Гени еукаріотів

На відміну від генів прокаріотів, гени еукаріотичних організмів не утворюють оперонів. Кожний з них має свої власні промотор і термінатор. Крім того, будова цих генів більш складна. У складі їхньої ділянки ДНК є послідовності нуклеотидів, які не містять інформації, потрібної для синтезу продукту гена (молекули білка або РНК). Такі ділянки називають інтронами. Ті ділянки, які містять потрібну інформацію, називають екзонами. Зазвичай еукаріотичний ген містить по кілька інтронів та екзонів (мал. 20.3).

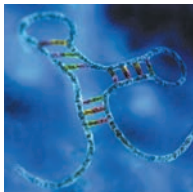
Важливою частиною еукаріотичних генів є регуляторні ділянки. З допомогою цих ділянок клітина може прискорювати або вповільнювати синтез продукту гена. Така будова дозволяє еукаріотичним організмам здійснювати дуже тонку регуляцію роботи їхніх генів.



Для функціонування генів живих організмів потрібна наявність спеціальних ділянок для початку (промотор), регуляції і завершення (термінатор) зчитування інформації. Гени прокаріотичних організмів можуть об'єднуватися в спеціальні групи — оперони, які мають на всіх один промотор, оператор і термінатор. Гени еукаріотичних організмів містять некодуючі (інтрони) і кодуючі (екзони) ділянки ДНК. Крім того, ці гени мають у своєму складі регуляторні ділянки, які змінюють швидкість їхньої роботи.

21

Геноми. РНК. Реалізація спадкової інформації



Повторіть поняття ген і геном. Які компоненти відповідають за початок і закінчення роботи гена? Назвіть відмінності в будові генів у прокаріотів та еукаріотів. Пригадайте що таке оперон і поясніть у яких живих організмів трапляються оперони.

Особливості геномів прокаріотів та еукаріотів

Прокаріотичні та еукаріотичні організми відрізняються між собою не тільки будовою генів. Їхні геноми також мають відмінні риси.

Особливості геномів прокаріотів та еукаріотів

Ознака	Прокаріоти	Еукаріоти
Місце розташування більшості генів геному	Бактеріальна хромосома (нуклеоїд) — велика кільцева молекула ДНК	Хромосоми, що розташовані в ядрі клітини
Інші місця розміщення генів	Плазмідни — невеликі кільцеві молекули ДНК	Невеликі кільцеві молекули ДНК у пластидах і мітохондріях
Наявність некодуючих ділянок усередині генів	Відсутні	Присутні у вигляді інтронів
Наявність некодуючих ділянок ДНК поза генами	Присутні в невеликій кількості й мають маленький розмір	Присутні у великій кількості. Складають більшу частину геному
Наявність оперонів	Є	Відсутні

Геноми еукаріотів поділяються на дві великі частини — *ядерну* й *позаядерну*. Ядерна частина представлена генами, які розташовані в хромосомах ядра клітини. Позаядерна частина геному представлена ДНК мітохондрій і пластид.

Основні типи РНК

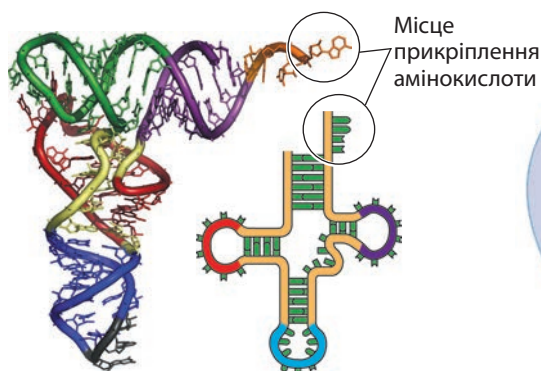
У клітинах існує кілька типів РНК. Вони виконують різні функції і виробляються клітинами в різній кількості. Найчастіше в клітинах трапляються інформаційні, рибосомальні, транспортні та малі ядерні РНК.

Характеристика основних типів РНК

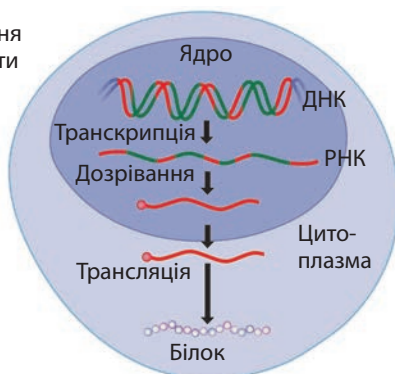
Тип РНК	Особливості будови	Функції
Інформаційна, або матрична, РНК (іРНК, або мРНК)	Одинарний ланцюжок	Переносить інформацію про послідовність амінокислот у білкових молекулах від ДНК до місця синтезу білків
Рибосомальна РНК (рРНК)	Одинарний ланцюжок має складну форму, утворює комплекси з білками (нуклео-протеїди)	Входить до складу рибосом, які здійснюють синтез білків
Транспортна РНК (тРНК)	Одинарний ланцюжок, різні ділянки якого взаємодіють між собою й утворюють складну просторову форму (мал. 21.1)	Доставляє до місця синтезу білків амінокислоти, які містяться в цитозолі клітини
Малі ядерні РНК (мяРНК)	Одинарні ланцюжки. Невеликі за розміром молекули, які містяться в ядрі клітини. Їх існує кілька різновидів. Зазвичай утворюють комплекси з білками	Беруть участь у процесах дозрівання РНК та регуляції процесів транскрипції

Етапи реалізації спадкової інформації

Спадкова інформація, яка зберігається в ДНК, використовується клітиною у вигляді синтезованих продуктів (молекул РНК і білків). Реалізація цієї інформації відбувається в кілька етапів — транскрипція, дозрівання РНК і трансляція (мал. 21.2).



Мал. 21.1. Модель молекули тРНК



Мал. 21.2. Етапи реалізації спадкової інформації

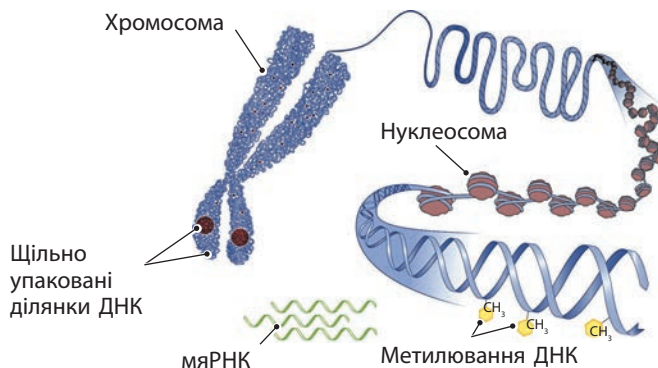
Основні етапи реалізації спадкової інформації

Етап	Де відбувається	Які процеси відбуваються	Які структури беруть участь
Транскрипція	У прокаріотів — у цитоплазмі. В еукаріотів — у ядрі, мітохондріях і пластидах	Синтез ланцюга іРНК за зразком одного з ланцюгів ДНК	ДНК та комплекс ферментів, головним з яких є РНК-полімераза
Дозрівання РНК (процесинг)	В ядрі клітин еукаріотів	З молекули іРНК видаляються інтрони, а екзони з'єднуються в одну молекулу іРНК	Невеликі молекули мРНК, білки-ферменти
Трансляція	У прокаріотів — у цитоплазмі. В еукаріотів — у цитоплазмі, на гранулярній ендоплазматичній сітці, в мітохондріях і пластидах	Синтез молекул білка на рибосомі згідно з інформацією молекули РНК	Рибосоми, молекули тРНК та іРНК, АТФ

Регуляція реалізації спадкової інформації

У геномі людини більше 20 000 генів. Але для життєдіяльності і виконання своїх функцій кожній окремій клітині потрібно набагато менше генів. Так, нервовій клітині зорового нерву не треба виробляти ферменти слини або статеві гормони. А клітині м'язів немає сенсу в синтезі гемоглобіну. Тому більша частина генів у клітинах є «вимкненою», неактивною.

Але й ті гени, які працюють, не завжди працюють однаково. Якщо є потреба у виробленні слини, то гени, які виробляють потрібні ферменти, працюють активно. А коли потреба минає, інтенсивність



Мал. 21.3. Деякі способи регуляції роботи генів

їхньої роботи слід зменшувати. Так клітини можуть економити ресурси організму.

У клітинах регуляція реалізації генетичної інформації може відбуватися за допомогою кількох механізмів (мал. 21.3).

Перший механізм — взаємодія продуктів регуляторних генів (зазвичай білків) з певними структурами генів: оператором, промотором або регуляторними ділянками. Це дозволяє змінювати швидкість роботи генів або «вмикати» чи «вимикати» їх.

Другий механізм — модифікація деяких нуклеотидів у ланцюжках ДНК. Якщо до них приєднується метильний радикал (CH_3), то зчитування інформації з ділянки ДНК за таким нуклеотидом стає неможливим.

Третій механізм — пакування певних ділянок ДНК за допомогою білків таким чином, щоб з них не можна було зчитати спадкову інформацію.

Крім того, регуляція можлива й на більш пізніх етапах, коли клітина блокує роботу РНК або білків, які є продуктами роботи гена.



Близнята ссавців, які починають розвиватися з клітин, що утворилися після поділу однієї зиготи, отримують однакові геноми. Вони в усіх своїх клітинах мають однакову послідовність нуклеотидів ДНК. Але протягом життя їхні геноми пристосовуються до навколишніх умов трохи по-різному. Тому з віком кількість і розташування «вимкнених» генів у їхніх геномах відрізняється все більше, і вони стають дедалі менше схожими один на одного з точки зору епігенетики — науки, що вивчає механізми регуляції роботи генів.



Основними етапами реалізації спадкової інформації в клітинах є транскрипція, дозрівання РНК і трансляція. У живих організмах існує багато типів РНК. Найбільш поширеними серед них є інформаційна, або матрична, РНК (іРНК, або мРНК), рибосомальна РНК (рРНК), транспортна РНК (тРНК) і малі ядерні РНК (мяРНК).

22 Реплікація, транскрипція та дозрівання РНК



Ви вже ознайомилися з особливостями будови молекул нуклеїнових кислот та функціями, які вони виконують у клітині. Пригадайте, які нуклеотиди входять до складу ДНК і РНК. Які етапи реалізації спадкової інформації вам відомі?

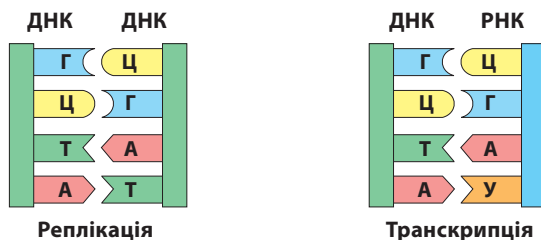
Реплікація

Під час розмноження клітин кожна дочірня клітина отримує від материнської однаковий набір молекул ДНК. Це можливо завдяки тому, що перед поділом клітини молекула ДНК материнської клітини подвоюється. Такий процес подвоєння ДНК називають реплікацією.

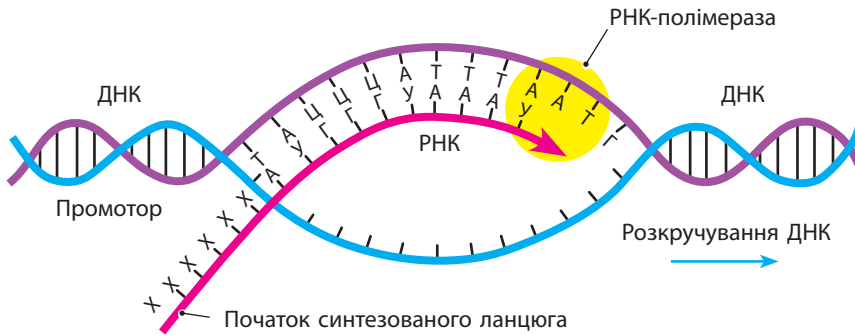
У ході реплікації спеціальні білки-ферменти розкручують подвійний ланцюжок ДНК на два одинарні ланцюжки. Після цього інші ферменти на кожній з ниток добудовують її дзеркальну копію за принципом комплементарності: тимідиловий нуклеотид — навпроти аденілового, а гуаніловий — навпроти цитиділового (мал. 22.1). Таким чином організм отримує дві однакові копії ДНК, які можна розподілити між дочірніми клітинами після поділу материнської клітини.

Транскрипція

Як ви вже знаєте, на етапі транскрипції відбувається синтез молекули іРНК за зразком одного з ланцюгів молекули ДНК. Під час синтезу молекули РНК нуклеотиди приєднуються до її ланцюга за принципом комплементарності (мал. 22.1). Зверніть увагу, що навпроти аденілового нуклеотиду в ланцюзі ДНК розміщується уридиловий у ланцюзі РНК (а не тимідиловий, як під час синтезу ДНК).



Мал. 22.1. Принцип комплементарності в розміщенні нуклеотидів у ланцюгах ДНК і РНК



Мал. 22.2. Процес транскрипції

Транскрипція здійснюється великим комплексом ферментів, головним з яких є фермент ДНК-залежна РНК-полімераза (мал. 22.2). Така назва означає, що він створює полімерний ланцюжок РНК за зразком молекули ДНК.

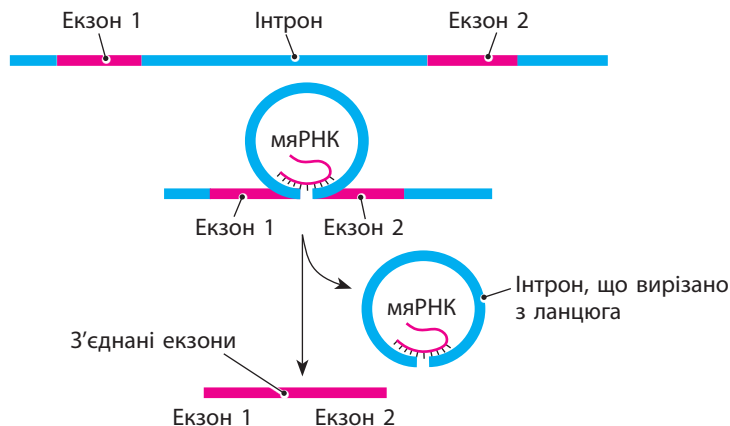
Процес транскрипції розпочинається, коли РНК-полімераза виявляє на ланцюзі ДНК зону промотора. Вона прикріплюється до ДНК у цій зоні й починає пересуватися вздовж її ланцюга. При цьому подвійна спіраль молекули ДНК розкручується, і РНК-полімераза зчитує інформацію лише з одного ланцюга ДНК. Вона розпізнає нуклеотиди на ланцюзі ДНК і приєднує відповідні нуклеотиди до ланцюга РНК (за принципом комплементарності). Нові нуклеотиди приєднуються до «хвоста» ланцюга РНК, що синтезується. Ділянка ДНК, з якої фермент уже зчитав інформацію, скручується знову. Процес транскрипції (синтез РНК) закінчується, коли РНК-полімераза досягає ділянки термінатора.

Дозрівання (процесинг) РНК

Дозрівання РНК є важливим етапом реалізації спадкової інформації в еукаріотів. Воно є властивим для всіх типів РНК і не відбувається тільки в окремих випадках.

Під час дозрівання (процесингу) РНК відбувається:

- сплайсинг (виділення інтронів та з'єднання екзонів у синтезованій молекулі за допомогою мРНК) (мал. 22.3);
- додавання до початку молекули кількох модифікованих нуклеотидів, які допомагають транспортувати її в цитоплазму;
- додавання до кінця молекули РНК кількох молекул аденілових нуклеотидів (поліаденілювання), який допомагає транспортувати її в цитоплазму.

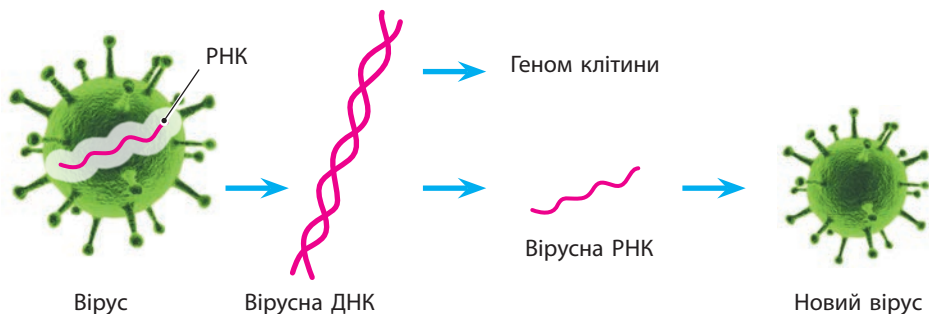


Мал. 22.3. Процес дозрівання РНК

Процес дозрівання дозволяє клітинам еукаріотів проводити так званий альтернативний сплайсинг, під час якого з однієї молекули РНК можуть утворюватися різні комбінації екзонів. При цьому утворюються різні білки з одного вихідного варіанта. Про масштаб цього процесу свідчить той факт, що в геномі людини трохи більше 20 000 генів, а в клітинах наявних білків нараховують понад 250 тисяч.

Зворотна транскрипція

Крім процесу транскрипції в клітинах може відбуватися процес зворотної транскрипції. У цьому процесі події відбуваються у зворотному порядку порівняно зі звичайною транскрипцією. Здійснює його також комплекс ферментів, головним з яких є фермент *зворотна транскриптаза* (її часто називають *ревертазою*). Це спеціальний фермент, який будує ланцюжок ДНК за зразком ланцюжка РНК.



Мал. 22.4. Зворотна транскрипція

Принцип побудови також базується на явищі комплементарності. Навпроти гуанілового нуклеотиду РНК в ланцюжку ДНК розташовується цитиділовий нуклеотид, а навпроти цитиділового — гуаніловий. Уриділовий нуклеотид до складу ДНК не входить, тому навпроти аденілового нуклеотиду РНК в ланцюжку ДНК розташовується тиміділовий нуклеотид, а навпроти уриділового — аденіловий.

Особливо часто цей процес використовують віруси, у яких нуклеїнова кислота представлена РНК (мал. 22.4). Вони проникають у клітини живих організмів і там, за допомогою ферменту ревертази, зі своєї РНК утворюють ДНК. А вже ця ДНК вбудовується в геном клітини й починає контролювати процеси, які в ній відбуваються.



Для забезпечення дочірніх клітин копіями материнської ДНК використовується процес реплікації (подвоєння ДНК). Синтез потрібних клітині органічних молекул відбувається з використанням інформації, яка зберігається в ДНК клітини.

Першим етапом реалізації спадкової інформації є транскрипція — процес синтезу молекули РНК за зразком одного з ланцюгів молекули ДНК. Цей процес здійснюється ферментом РНК-полімеразою. Другим етапом є дозрівання РНК, який відбувається в ядрі клітини. При цьому з молекули РНК видаляються інтрони і до неї прикріплюються додаткові нуклеотиди, які допомагають під час транспортування молекули з ядра до цитоплазми.

23 Трансляція



Пригадайте, скільки амінокислот входить до складу білків. А скільки нуклеотидів містять нуклеїнові кислоти? Як утворюються різні рівні організації білкової молекули? І чому для нормального функціонування білка амінокислоти в ньому повинні розміщуватися у певному порядку? Повторіть, що таке кодон, і згадайте особливості будови й основну функцію рибосом.

Біосинтез білка

Як ви вже знаєте, наступним етапом реалізації спадкової інформації є трансляція.

Трансляція, або біосинтез білка, — це етап, під час якого за інформацією, що міститься в іРНК, синтезується поліпептидний ланцюг молекули білка.

Процес трансляції відбувається в рибосомі, яка міститься у цитоплазмі клітини. Слід відмітити, що одночасно на одній молекулі іРНК може «працювати» кілька рибосом. Кожна з них синтезує одну молекулу білка. А всі вони разом з іРНК утворюють структуру, яку називають полірибосомою.

Синтез відбувається згідно з генетичним кодом, тобто кожному триплету нуклеотидів іРНК відповідає певна амінокислота (див. таблицю генетичного коду на другому форзаці). Наприклад, триплету АУГ відповідає амінокислота метіонін (Мет), триплету АУЦ — амінокислота ізолейцин (Іле), а нуклеотиди УАА, УАГ та УГА є стоп-кодонами, вони свідчать про закінчення синтезу поліпептидного ланцюга.

На час синтезу білкової молекули в цитоплазмі обов'язково повинен бути повний набір необхідних амінокислот. Нагадаємо, що вони утворюються в результаті розщеплення білків, що потрапляють в організм з їжею або синтезуються у самому організмі.

Біосинтез білка, як і всі попередні етапи реалізації спадкової інформації, забезпечується енергією за рахунок розщеплення молекул АТФ.

Процес трансляції складається з трьох етапів: ініціації, елонгації та термінації.

Перший етап трансляції – ініціація

Ініціація — початок синтезу поліпептидного ланцюга білкової молекули (мал. 23.1, А). На цьому етапі відбувається приєднання до ланцюга іРНК малої субодиниці рибосоми, розпізнавання на ньому старт-кодону, приєднання великої субодиниці рибосоми та транспорт до рибосоми першої амінокислоти, яка дає початок поліпептидному ланцюгу.

Старт-кодомом завжди є кодон АУГ. До нього приєднується молекула тРНК, що приносить до рибосоми амінокислоту метіонін, яка й буде першою амінокислотою майбутнього поліпептидного ланцюга. Молекула тРНК приєднується до молекули іРНК за допомогою свого триплету, який має назву антикодон, за принципом комплементарності.

Другий етап трансляції – елонгація

Елонгація — нарощування поліпептидного ланцюга білкової молекули (мал. 23.1, Б). Після старт-кодона рибосома аналізує наступний кодон, розпізнає його та приєднує до нього відповідну молекулу тРНК, яка транспортує до рибосоми наступну амінокислоту. На мал. 23.1, Б наступним кодомом є ГУЦ, а наступною амінокислотою, яка транспортується за допомогою тРНК, — валін (Val).

Між двома амінокислотами виникає пептидний зв'язок, і пептидний ланцюг подовжується на цю амінокислоту. Молекула тРНК при цьому звільняється та покидає рибосому.

Після цього рибосома переміщується до наступного триплету іРНК, розпізнає його та приєднує наступну молекулу тРНК, яка приносить до рибосоми відповідну амінокислоту. Вона приєднується до попередньої амінокислоти, і поліпептидний ланцюг подовжується ще на одну амінокислоту.

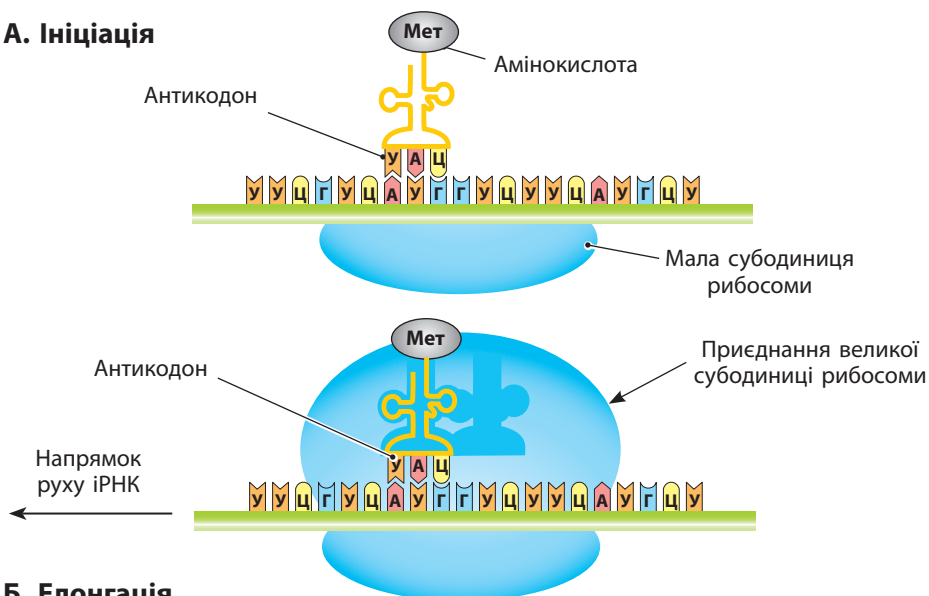
Процес подовження поліпептидного ланцюга молекули білка повторюється доти, поки рибосома не натрапить на один зі стоп-кодонів — УАА, УАГ або УГА.

Третій етап трансляції – термінація

Із розпізнавання рибосомою стоп-кодону починається третій етап трансляції — термінація — завершення трансляції (мал. 23.1, В). На цьому етапі синтез поліпептидного ланцюга білкової молекули завершується, рибосома знову розпадається на малу та велику субодиниці, молекули тРНК та іРНК звільняються.

Субодиниці рибосом після завершення синтезу поліпептидного ланцюга можуть приєднатися до нової молекули іРНК, а молекули тРНК — захопити нові молекули амінокислот і транспортувати їх до місця синтезу іншого білка.

А. Ініціація



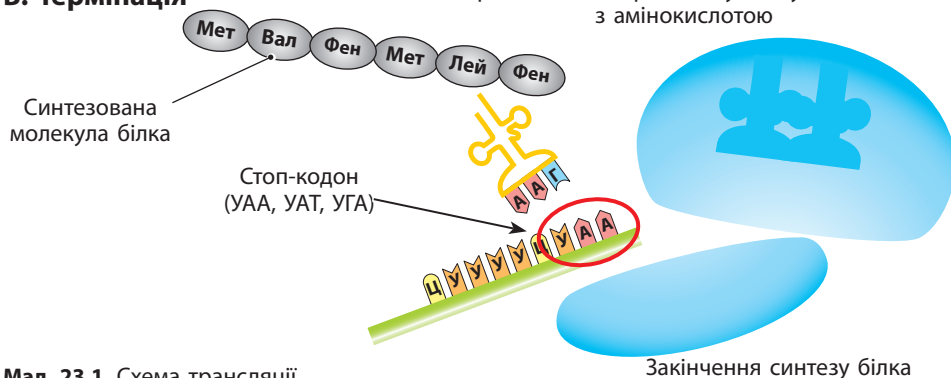
Б. Елонгація

Утворення пептидного зв'язку



В. Термінація

Проникнення в рибосому наступної тРНК з амінокислотою



Мал. 23.1. Схема трансляції

Дозрівання білка

Після закінчення синтезу може відбуватися процес дозрівання білка. У ході цього процесу деякі ділянки білків можуть вирізатися спеціальними ферментами, білок може змінювати свою форму, об'єднуватися з іншими білками чи приєднувати до себе небілкову частину.

Дозрівання потрібне тому, що білок, який тільки синтезовано, ще не здатен виконувати свої функції. Наслідком дозрівання є втрата деяких амінокислот, розташованих на кінцях ланцюга, та остаточне формування вторинної, третинної і четвертинної структур молекули.

Використання таблиці генетичного коду

Для того щоб установити послідовність амінокислот, яка закодована на ділянці ДНК, слід використовувати таблицю генетичного коду на форзаці підручника.

Спочатку, використовуючи принцип комплементарності, визначте будову ланцюга іРНК, який утворюється на наведеній ділянці ДНК.

Наприклад, ланцюг ДНК: ТАЦГАТ.

Ланцюг іРНК: АУГЦУА.

Потім визначте триплети, які входять до складу іРНК: АУГ та ЦУА.

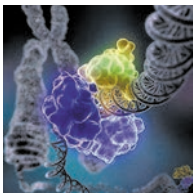
Перший нуклеотид триплету вказує на рядок, в якому слід шукати амінокислоту, що він кодує, а другий нуклеотид — стовпець. Комірка, яка відповідає вибраним стовпцю та рядку, містить чотири назви амінокислоти. Та з них, яка потрібна, визначається за розташуванням навпроти третього нуклеотиду триплету (вказаний у крайній правій колонці таблиці).

Для триплету АУГ це буде метіонін, для триплету ЦУА — лейцин.



Під час трансляції інформація з іРНК переводиться в послідовність амінокислот синтезованого білка згідно з генетичним кодом. Відбувається цей процес у рибосомах і складається з трьох етапів — ініціації, елонгації і термінації. Після трансляції відбувається процес дозрівання білків.

24 Репарація ДНК



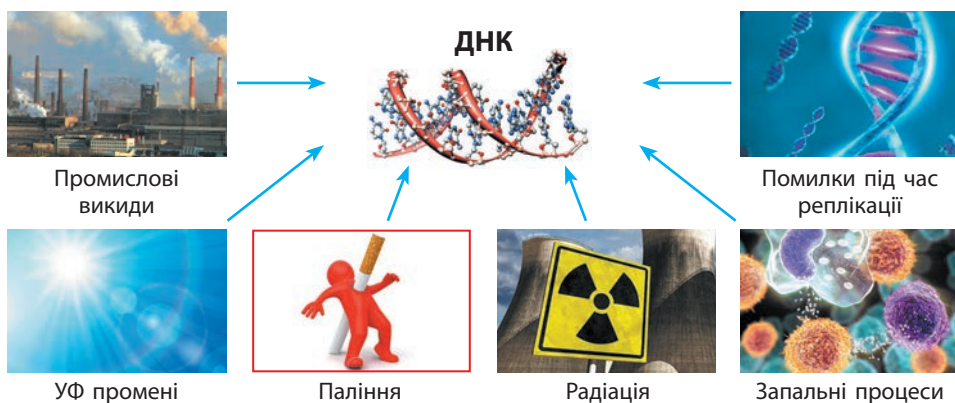
Ви вже ознайомилися з особливостями генетичного коду. А до яких наслідків може призвести порушення послідовності нуклеотидів у ДНК на ділянці структурного гена? Чи може це вплинути на структуру білкового ланцюга?

Причини й можливі наслідки пошкодження ДНК

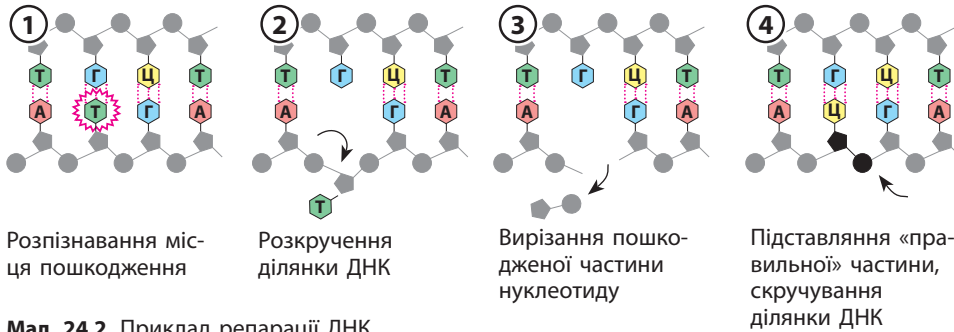
Молекула ДНК, як і будь-яка інша молекула, може зазнати пошкодження. Ці пошкодження можуть бути різними. Може бути пошкоджено один нуклеотид або відразу пару нуклеотидів. Може статися розрив одного з ланцюгів ДНК або навіть обох ланцюгів одночасно.

Причин для таких пошкоджень може бути досить багато (мал. 24.1). Часто ДНК пошкоджують ультрафіолетове та радіоактивне випромінювання. Суттєвою небезпекою є деякі хімічні сполуки. Крім того, причиною пошкодження може бути помилка під час реплікації. Так, під час реплікації замість одного нуклеотиду в ланцюг випадково може потрапити інший. Хоча трапляється таке дуже рідко.

Наслідки таких пошкоджень для клітин можуть бути негативними. Гени, структура яких порушується, можуть перестати виробляти свої продукти — РНК або білки. Наприклад, у результаті пошкодження один із кодонів усередині молекули РНК буде кодувати не амінокислоту, а стоп-кодон. Тоді синтезується тільки половина



Мал. 24.1. Поширені причини виникнення пошкоджень ДНК



Мал. 24.2. Приклад репарації ДНК

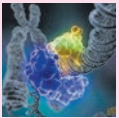
молекули білка. Зрозуміло, що така молекула не зможе працювати й виконувати свої функції.

Процеси репарації ДНК

Процес, який дозволяє живим організмам усувати пошкодження, що виникають у ДНК, називають **репарацією**. Більшість репараційних механізмів базуються на тому, що ДНК — це дволанцюгова молекула. Тобто в клітині є дві копії генетичної інформації. Якщо одна з них пошкоджується, то її можна відновити за допомогою другої копії, взявши її за зразок.

Процес репарації відбувається в кілька етапів (мал. 24.2). Для його здійснення клітини використовують спеціальні ферменти.

Пошкодження ДНК можуть бути різними. Для кожного з них існують свої системи репарації. Одні дефекти можуть бути виправленими за допомогою лише одного ферменту, інші вимагають участі комплексу ферментів.



Під впливом таких факторів, як ультрафіолетове чи радіаційне випромінювання, дія певних хімічних сполук або помилки під час реплікації в молекулах ДНК, можуть виникати пошкодження. Для виправлення пошкоджень ДНК у клітинах існує система репарації ДНК.

25 Клітинний цикл. Мітоз

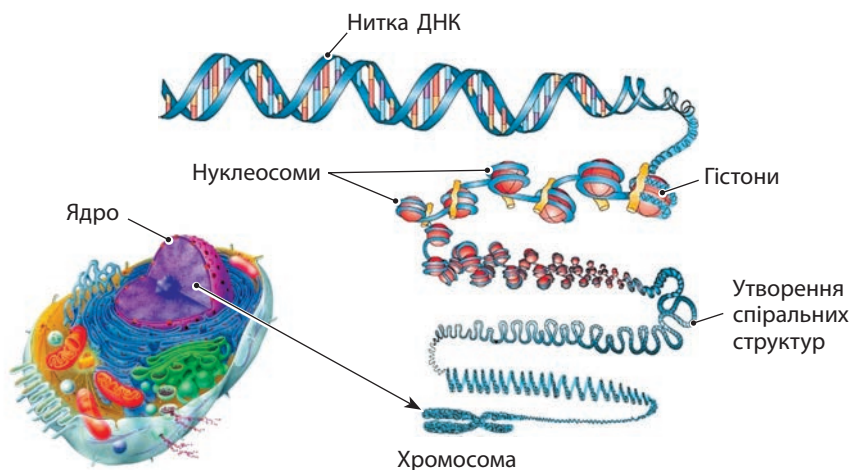


Ви вже ознайомилися з органами еукаріотичних клітин. Пригадайте, які функції виконує ядро клітини. Які компоненти входять до складу ядра? Де зберігається спадкова інформація в клітинах прокаріотів?

Хромосоми еукаріотичних клітин

Як ви вже знаєте, ДНК у ядрах клітин еукаріотів утворює складний комплекс із білками — *хроматин*. Хроматин має вигляд нитки (подвійного ланцюга) ДНК, яка намотується навколо невеличких білкових кульок, утворених спеціальними білками — *гістонами*. Білкові кульки з намотаною ниткою ДНК називають нуклеосомами. Вони можуть скручуватися у просторі, утворюючи тоненьку спіраль. А ця спіраль здатна скручуватися в спіраль більшого діаметра, а потім ще більшого й ще (мал. 25.1).

Процес скручування ДНК називають **спіралізацією**, або **конденсацією**, хроматину. Його результатом є те, що дуже довга нитка ДНК ви-



Мал. 25.1. Упакування ДНК у ядрі клітини

являється упакованою в дуже маленькому об'ємі. Але якщо надто сильно упакувати ДНК, то з неї неможливо буде зчитувати спадкову інформацію. Тому хроматин у ядрах клітин більшу частину часу не надто спіралізований: ті його ділянки, які потрібні для роботи клітини, майже не скручені, а ті, що клітиною в певний момент не використовуються, спіралізовані сильніше.

Підготовка клітини до поділу

Перед поділом клітини спіралізація хроматину стає найдужчою, бо так набагато легше правильно розподілити ДНК між клітинами, які утворяться внаслідок поділу. Наслідком такого ступеня спіралізації є утворення хромосом — компактних структур із ДНК і білків. Кожна окрема нитка ДНК з білками має вигляд палички (це і є хромосома).

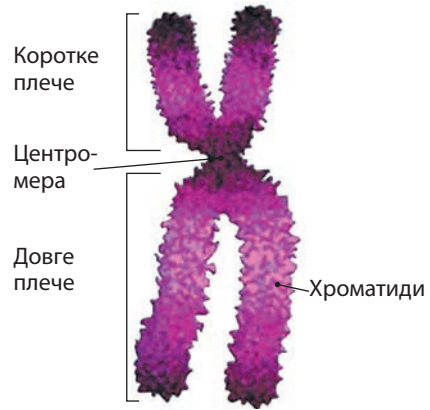
Але перед поділом клітини відбувається надзвичайно важливий процес — подвоєння всієї ДНК клітини. Тому кожна хромосома на початку поділу клітини складається з двох однакових паличок — *хроматид*, з'єднаних між собою в зоні спеціалізованих ділянок ДНК — *центромер*. Центромера є на кожній хроматиді. По різні боки від центромери розташовані *плечі* хромосоми. Тому на початку поділу клітини хромосоми мають X-подібну (читається як «ікс-подібну») форму (мал. 25.2).

У клітинах еукаріотів кожна хромосома присутня в ядрі у двох копіях. Організм отримує по одній копії хромосоми від кожного зі своїх батьків. Такі хромосоми називають **гомологічними**.

Клітинний цикл

Клітинний цикл — це період існування клітини від моменту її утворення шляхом поділу материнської клітини до власного поділу або загибелі.

Він складається з двох основних частин — процесу поділу й інтерфази. Під час інтерфази в клітинах відбувається багато процесів, зокрема процес реплікації (подвоєння) ДНК, синтез РНК, білка та інших речовин. Клітини ростуть і накопичують речовини, необхідні для наступного поділу.



Мал. 25.2. Будова хромосоми на початку поділу клітини

Поділ клітин може відбуватися по-різному. Прокаріотичні клітини діляться переважно шляхом простого поділу. У такому разі їхня бактеріальна хромосома (нуклеоїд) подвоюється шляхом реплікації. Нова копія прикріплюється до клітинної мембрани, після чого між ними формується нова клітинна стінка.

В еукаріотів процеси під час поділу є більш складними через наявність ядра та спадкового матеріалу у вигляді хромосом. У більшості випадків поділ еукаріотичних клітин відбувається у формі мітотичного або мейотичного поділу.

Мітотичний поділ

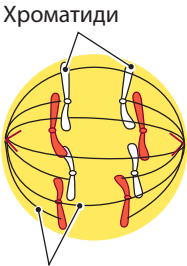
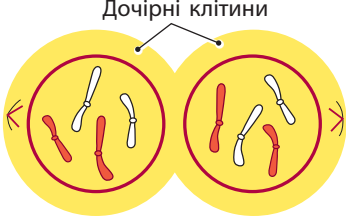
Мітотичний поділ — це поділ клітин, який відбувається під час нестатевого розмноження, а також під час росту й розвитку організмів. Такий поділ забезпечує збільшення кількості клітин, а також заміщення соматичних клітин. Мітотичний поділ складається з двох основних частин — **мітозу** (поділу ядра) і **цитокінезу** (поділу цитоплазми). А сам мітоз поділяють на чотири фази — профазу, метафазу, анафазу й телофазу.

В еукаріотів у результаті мітотичного поділу з однієї материнської клітини утворюються дві дочірні. При цьому дочірні клітини отримують таку саму кількість хромосом, що й мала материнська клітина.

Інша частина клітинного циклу — інтерфаза — зазвичай триває значно довше, ніж поділ клітини. В цій фазі відбувається синтез молекул АТФ і білків, збільшення кількості основних органел цитоплазми, подвоєння молекул ДНК тощо.

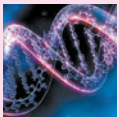
Фази мітозу

Профаза	Метафаза
<p>Спіралізація й утворення X-подібних хромосом. Розпадання ядерних оболонок на фрагменти і зникнення ядерець. Початок утворення веретена поділу — структури, яка потім розподілить хромосоми між дочірніми клітинами</p>	<p>Розміщення хромосом по екватору клітини та прикріплення мікротрубочок веретена поділу до центромер хроматид</p>

Анафаза	Телофаза
 <p>Роз'єднання хроматид, розходження їх до полюсів клітини. Із цього моменту хроматиди називають дочірніми хромосомами</p>	 <p>Зникнення веретена поділу. Формування нових ядерних оболонок та ядерців, деспіралізація хромосом. Після завершення телофази відбувається розділення цитоплазми (цитокінез) та утворення дочірніх клітин</p>



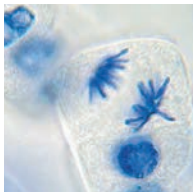
У деяких спеціалізованих клітинах окремих організмів (наприклад, у слинних залозах деяких мух та комарів) у період інтерфази утворюються велетенські політенні хромосоми. Вони складаються з багатьох ниток ДНК (більше 1000), які після подвоєння не розходяться, а залишаються разом. Такі хромосоми дозволяють значно збільшити синтез окремих білків або інших молекул. Велике ядро інфузорії *Oxytricha trifallax* містить 16 000 хромосом, кожна з яких представлена великою кількістю (до 2 000) копій. Таким чином, загальна кількість хромосом у цьому ядрі становить кілька мільйонів. Але більшість таких хромосом містять лише по одному гену.



Клітинний цикл будь-якої клітини триває від початку одного поділу до початку наступного. Він складається з двох основних частин — процесу поділу й інтерфази.

У більшості випадків поділ еукаріотичних клітин відбувається у формі мітотичного поділу. Клітини, які утворюються в результаті цього поділу, отримують ту саму кількість хромосом, яку мала материнська клітина.

26 Мейоз. Статеві клітини та запліднення



Ви вже ознайомилися з процесами розмноження рослин і тварин. Які способи розмноження є в живих організмів? Чим статеве розмноження відрізняється від нестатевого? Яка система організму відповідає за утворення статевих клітин (гамет)?

Мейоз


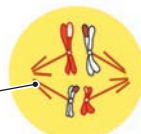
Мейоз — це поділ клітин, який відбувається під час гаметогенезу. Результатом мейозу є утворення статевих клітин (гамет).

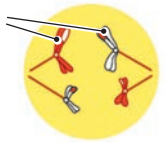
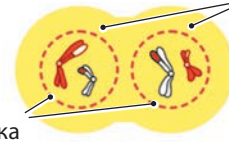
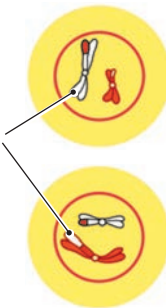
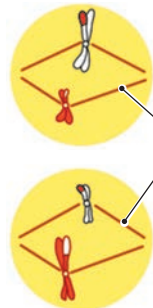
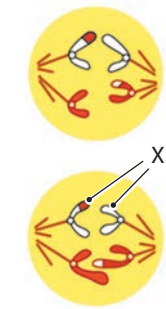
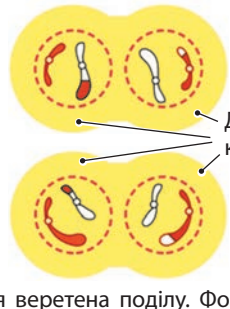
Під час мейозу відбувається два поділи клітини, у результаті яких з однієї материнської клітини утворюються чотири дочірні. При цьому дочірні клітини отримують удвічі меншу кількість хромосом і половину генетичного матеріалу, які мала материнська клітина. Учені кажуть, що відбувається процес *редукції* (зменшення кількості) хромосом, і називають мейоз **редукційним поділом**.

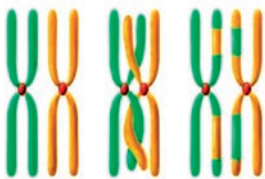
Поділи мейозу позначають як мейоз I і мейоз II. Фази обох поділів мають такі самі назви, як і фази мітозу. Щоб розрізнити, про який поділ ідеться, до назв фаз додають відповідну цифру.

Між двома поділами триває коротка інтерфаза, під час якої подвоєння ДНК не відбувається.

Фази мейозу

Мейоз I (перший поділ)	
Профаза I	Метафаза I
 <p>Хромосоми</p> <p>Ядро</p> <p>Спіралізація й утворення X-подібних хромосом. З'єднання гомологічних хромосом в одну структуру, обмін у них ділянками ДНК (процес кросинговеру). Розпадання ядерних оболонок на фрагменти і зникнення ядерця</p>	 <p>Веретено поділу</p> <p>Розміщення з'єднаних гомологічних хромосом по екватору клітини та прикріплення мікротрубочок веретена поділу до їхніх центромер</p>

Анафаза I	Телофаза I
 <p>Гомологічні хромосоми</p> <p>Розділення гомологічних хромосом та їх розходження до різних полюсів клітини</p>	 <p>Дочірні клітини</p> <p>Ядерна оболонка</p> <p>Зникнення веретена поділу. Формування нових ядерних оболонок і ядерць. Деспіралізація хромосом. Розділення цитоплазми (цитокінез) та утворення двох дочірніх клітин</p>
Мейоз II (другий поділ) Відбувається одночасно в обох клітинах, які утворилися після першого поділу	
Профаза II	Метафаза II
 <p>Гомологічні хромосоми</p> <p>Розпадання ядерних оболонок. Спіралізація хромосом. Утворення веретена поділу</p>	 <p>Веретено поділу</p> <p>Розміщення хромосом по екватору клітини та прикріплення мікротрубочок веретена поділу до центромер хроматид</p>
Анафаза II	Телофаза II
 <p>Хроматиди</p> <p>Роз'єднання хроматид, розходження їх до полюсів клітини. Із цього моменту хроматиди називають дочірніми хромосомами</p>	 <p>Дочірні клітини</p> <p>Зникнення веретена поділу. Формування нових ядерних оболонок. Розділення цитоплазми (цитокінез) та утворення дочірніх клітин</p>



Мал. 26.1. Кросинговер



Мал. 26.2. Статеві клітини ссавців

Рекомбінація ДНК

Рекомбінацією називають процес, коли ланцюжки ДНК розриваються на окремі фрагменти, які потім об'єднуються в іншому порядку. У клітинах еукаріотів рекомбінація зазвичай відбувається під час профазі першого поділу мейозу й відома під назвою «кросинговер» (перехресчування хромосом).

У кросинговері беруть участь гомологічні хромосоми. Вони розрізаються спеціальними ферментами в кількох місцях, а потім обмінюються однаковими ділянками і знову зшиваються ферментами в цілу хромосому.

Під час кросинговеру відбувається рекомбінація генів обох батьків особини, які розташовані у гомологічних хромосомах (мал. 26.1).

Статеві клітини

Статеве розмноження — це тип розмноження, за якого утворюються статеві клітини (гамети) і відбувається процес запліднення. Статеві клітини (мал. 26.2) утворюються в результаті гаметогенезу. Вони містять тільки по одній хромосомі з кожної пари гомологічних хромосом. Статеві клітини в різних групах живих організмів можуть мати різні розміри, форму й рухливість.

Особливості статевих клітин ссавців

Характеристика	Сперматозоїд	Яйцеклітина
Розмір	Малий	Велика
Рухливість	Рухливий	Нерухома
Особливості будови	Має головку, шийку і хвіст. Головка майже повністю складається з ядра, вкритого тонким шаром цитоплазми. Спереду на головці є акросома — гострий твердий горбик, який містить фермент, що сприяє проникненню сперматозоїда в яйцеклітину	Має особливий поверхневий шар цитоплазми і спеціальні оболонки, що її покривають. Містить запасні поживні речовини у вигляді жовтка, необхідні для розвитку нового організму
Функції	Доставляє генетичний матеріал самців до яйцеклітин самок	Забезпечує початкові етапи розвитку нового організму поживними речовинами

Запліднення

Заплідненням називають процес з'єднання (злиття) зрілої чоловічої й жіночої статевих клітин, у результаті якого утворюється одна клітина (зигота), що є початком нового організму. Залежно від особливостей розмноження певних організмів запліднення може відбуватися різними способами. Розрізняють зовнішнє і внутрішнє запліднення.

Зовнішнє запліднення поширене серед водяних організмів. У цьому випадку гамети обох батьків виділяються у воду і вже там зустрічаються. Перевагою зовнішнього запліднення є те, що воно не вимагає наявності спеціальних пристосувань для запліднення.

Під час внутрішнього запліднення зустріч гамет відбувається всередині тіла жіночої особини. Завдяки тому, що таке запліднення відбувається в сприятливих умовах, ризик загибелі статевих клітин знижується. Крім того, стає можливим розвиток нащадків усередині організму матері. Це підвищує їхні шанси на виживання.



Іноколи кросинговер може відбуватися не під час мейозу, а під час мітозу. Це явище називають мітотичним кросинговером. Воно було виявлено в деяких грибів, ссавців і комах.



Мейоз — це поділ клітин, у результаті якого утворюються статеві клітини (гамети), які містять удвічі менше ДНК, ніж звичайні клітини. Під час мейозу в клітинах еукаріотів відбувається рекомбінація ДНК (кросинговер). Заплідненням називають процес з'єднання (злиття) зрілої чоловічої й жіночої статевих клітин, у результаті якого утворюється одна клітина (зигота), що є початком нового організму.

27 Закономірності індивідуального розвитку



Під час попереднього курсу біології ви вже ознайомилися з особливостями розвитку різних груп рослин і тварин. Пригадайте, як відбуваються ці процеси. Які типи розвитку притаманні тваринам? Чим вони відрізняються між собою?

Періоди онтогенезу рослин

Як вам відомо, **онтогенез** — це індивідуальний розвиток організму від моменту його зародження статевим або нестатевим способом до смерті. Онтогенез поділяється на кілька періодів. Хоча загальна послідовність подій в онтогенезі живих організмів є схожою, ці періоди є різними для різних систематичних груп. Так, дуже різноманітними є варіанти онтогенезу у водоростей. У них часто трапляються складні життєві цикли. У наземних рослин різноманітність варіантів онтогенезу не така велика. Найбільшою наземною групою рослин є квіткові. У них виділяють чотири основні періоди онтогенезу — латентний, прегенеративний, генеративний і постгенеративний.

Періоди онтогенезу покритонасінних рослин

Період онтогенезу	Коли починається	Що відбувається
Латентний	З моменту відділення насінини від материнської особини	Насінина перебуває в стані спокою з мінімальною інтенсивністю процесів життєдіяльності
Прегенеративний	З моменту проростання зародка	Ріст рослини й накопичення нею поживних речовин
Генеративний	З моменту початку формування генеративних органів	Генеративні органи функціонують. Рослини квітнуть і плодоносять
Постгенеративний	З моменту закінчення функціонування генеративних органів до загибелі рослини	Процеси відмирання починають переважати над процесами новоутворення

Періоди онтогенезу тварин

Онтогенез тварин зазвичай поділяють на два головні періоди — ембріональний і постембріональний. *Ембріональний період* (ембріо-



Мал. 27.1. Постембріональний розвиток тварин

генез) триває від моменту запліднення до народження (виходу з яйцевих оболонок). *Постембріональний* — від моменту народження до смерті тварини.

Постембріональний розвиток тварин може бути прямим або супроводжуватися перетворенням — метаморфозом (мал. 27.1).

Етапи постембріонального розвитку ссавців

Етап	Коли починається	Що відбувається
Ювенільний	З моменту народження	Ріст і розвиток організму
Зрілість	З моменту настання статевої зрілості	Утворення і ріст нових органів не відбувається. Обмін речовин збалансований. Відбувається розмноження тварин
Старіння	З моменту, коли процеси відмирання починають переважати над процесами новоутворення, до загибелі тварини	Відбуваються зміни, які знижують його адаптаційні можливості



Онтогенез рослин поділяють на кілька періодів — латентний, прегенеративний, генеративний і постгенеративний. Онтогенез тварин зазвичай поділяють на два головні періоди — ембріональний і постембріональний.

У постембріональному періоді виділяють кілька етапів — ювенільний, зрілість, старіння. Розвиток організму в цей період може відбуватися з метаморфозом або бути прямим.

Узагальнюючі завдання до теми «Збереження та реалізація спадкової інформації»

У завданнях 1–12 оберіть одну правильну відповідь.

- 1** Найменший розмір геному серед наведених організмів має:
а) шовкопряд в) тополя
б) кишкова паличка г) людина
- 2** Ділянка гена, яка розпочинає синтез молекули РНК:
а) промотор
б) термінатор
в) РНК-полімераза
г) ДНК-полімераза
- 3** Яка фаза є передостанньою фазою мітозу?
а) анафаза в) профаза
б) метафаза г) телофаза
- 4** Кількість нуклеотидів, які входять до складу кодона:
а) 1 б) 2 в) 3 г) 4
- 5** Ген у клітинах еукаріотів виконує функцію:
а) накопичення поживних речовин
б) реалізації спадкової інформації
в) організації хромосом у мітозі
г) утворення клітинної стінки бактерій
- 6** Кількість послідовних поділів клітини, які відбуваються в процесі мейозу:
а) 1 б) 2 в) 3 г) 4
- 7** Видаляється в процесі дозрівання молекули РНК:
а) термінатор б) промотор в) екзон г) інтрон
- 8** Інтрони присутні:
а) у хромосомі півня
б) у рибосомі евглени
в) у хлоропласті клітини жита
г) у геномі холерного вібриона

- 13) Напишіть назви фаз мітозу:**



- 15** Визначте продукти, які утворюються внаслідок транскрипції і наступної трансляції ділянки ДНК: ТАЦАААГГАТТЦАЦТ.

- ## Типи РНК

Функції

- 1 iPHK

- ### а) Транспорт амінокислот

- ## 2 ТРHK

- б) Утворення пептидного зв'язку

- ### 3 pPHK

- в) Перенесення інформації про структуру білка

- # 4 мяРНК

- г) Регуляція процесів транскрипції