

Лабораторне заняття № 3

Тема: РОЗМНОЖЕННЯ НА КЛІТИННОМУ ТА ОРГАНІЗМОВОМУ РІВНІ. ЖИТТЄВИЙ ЦИКЛ КЛІТИНИ. МІТОЗ, МЕЙОЗ

Мета заняття: Ознайомитися з життєвим циклом клітин. Навчитися аналізувати зміни клітин та їх структур під час життєвого циклу та значення порушення мітозу. Ознайомитися із безстатевим та статевим розмноженням організмів, особливостями мейозу та гаметогенезу.

Теоретичні питання для самопідготовки та обговорення на занятті:

1. Структура інтерфазного ядра. Рівні упакування генетичного матеріалу.
2. Організація клітини у часі. Клітинний цикл.
3. Мітоз, фази мітозу, характеристика.
4. Біологічне значення мітозу.
5. Способи розмноження організмів.
6. Безстатеве розмноження.
7. Форми статевого розмноження.
8. Гаметогенез: види, стадії.
9. Мейоз. Особливості I профазі.
10. Біологічне значення мейозу.

Навчальні відеоматеріали

Будова хромосом - <https://www.youtube.com/watch?v=aQEy6mz1Nz4>

Реплікація ДНК - https://www.youtube.com/watch?v=b_J2oi8OyDU

Мітоз (3D анімація) - <https://www.youtube.com/watch?v=zTPdzjS350o>

Репарація ДНК - <https://www.youtube.com/watch?v=nmWdLj5PC3I>

Мітоз (3D анімація) - <https://www.youtube.com/watch?v=VOyG8cn0l-k>

ТЕОРИТИЧНІ ВІДОМОСТІ

1. Мітоз

В еукаріотичних клітинах весь генетичний матеріал знаходиться у ядрі. Інтерфазне ядро складається з ядерної оболонки, каріоплазми, ядерця. **Ядерна оболонка** складається з двох мембран, між якими знаходиться перинуклеарний простір. Перинуклеарний простір через канали ЕПС зв'язує каріоплазму і цитоплазму. Оболонка ядра пронизана багаточисельними порами, які можуть змінювати свій розмір. **Каріоплазма** містить воду, хроматин, білки-ферменти, р-РНК, т-РНК, і-РНК, ядерні білки. **Ядерце** містить велику кількість р-РНК, білки. Тут утворюються субодиниці рибосом. Ядерця утворюються на вторинних перетяжках хромосом (ядерцеві організатори). **Функції ядра:**

1. Збереження спадкової інформації в молекулах ДНК.
2. Реалізація спадкової інформації шляхом синтезу білків, що забезпечують підтримання всіх життєвих процесів клітини.
3. Передача спадкової інформації шляхом реплікації ДНК, утворення хромосом та їх ділення.

Процеси, які відбуваються в ядрі: реплікація, транскрипція всіх видів РНК, процесинг, утворення рибосом. Генетичний матеріал в інтерфазному ядрі знаходиться у вигляді **хроматину** (комплекс ДНК та білків у співвідношенні 1:1). До складу хроматину входять гістонові та негістонові білки. **Гістонові білки** (основні, їх всього 5 видів) ви-

конують структурну функцію. **Негістонові** білки-ферменти (кислі, їх більше 100 видів) беруть участь у процесах, які відбуваються на ДНК (реплікація, транскрипція, репарація). Під час поділу клітин з хроматинових ниток формуються хромосоми, які відіграють головну роль у цьому процесі, тому що вони забезпечують передачу спадкової інформації від одного покоління до другого і беруть участь в регуляції клітинного метаболізму. До складу хромосом еукаріотичних клітин входять ДНК, білки, невелика кількість РНК та іони Mg^{2+} і Ca^{2+} . Хромосоми можуть знаходитися у 2-х структурно-функціональних станах:

1. **Деспіралізованому** (неконденсованому) – в клітині, яка не ділиться хромосом не видно, виявляються лише грудочки та гранули хроматину.

2. **Спіралізованому** (конденсованому) – на час поділу клітини хроматин конденсується і при мітозі хромосоми добре помітні.

На різних ділянках хромосоми спіралізація хроматину неоднакова. З цим пов'язана різна інтенсивність забарвлення окремих ділянок хромосоми. Більш спіралізовані та інтенсивно забарвлені ділянки (**гетерохроматин**) виконують **структурну функцію**. Менш спіралізовані та слабо забарвлені ділянки (**еухроматин**) виконують **інформативну функцію**. Хроматин клітини може знаходитись на декількох **рівнях організації або упакування**.

Нуклеосомний. Тонка нитка нуклеопротеїда складається з нуклеосом. Нуклеосома – це частина, що містить диски з 8 молекул білків-гістонів (H2, H2A, H3, H4), на яку накручується ділянка ДНК, що складається з 140 пар нуклеотидів. Між дисками знаходиться ДНК, що складається з 60-100 пар нуклеотидів. **Нуклеомерний.** Відбувається подальше вкорочення ДНК завдяки зближенню 8-10 нуклеосом. Утворюються **нуклеомери**. Довжина ДНК зменшується в 6 разів. **Хромомерний (хромонемний, петлеподібний).** Нуклеомери збираються в групи, утворюючи хромомери. Довжина ДНК зменшується в 10-30 разів та утворюються хромонеми. **Метафазний.** Щільно упакована хромонема у вигляді дисків утворює метафазну хроматиду. Довжина хромосоми зменшується ще в 10 разів. У хромосомах розрізняють первинну **перетяжку** (центромеру), яка ділить хромосому на 2 **плеча**. Кінці плечей називаються **теломерами**. Вони не дозволяють з'єднатися хромосомі з іншими хромосомами. Деякі хромосоми мають вторинні перетяжки, які відокремлюють ділянки хромосом (**супутники**) **Центромера** може мати різне розташування, від цього залежить форма хромосом. Розрізняють:

- **Метацентричні** – мають рівні чи майже рівні плечі;
- **Субметацентричні** – мають плечі різної довжини;
- **Акроцентричні** – мають паличкоподібну форму, з дуже коротким другим плечем.

Деякі хромосоми мають вторинну перетяжку, яка відокремлює від плеча супутник. Хромосомні набори еукаріот підлягають таким **правилам**:

1. **Правило постійності кількості хромосом** (число хромосом та характерні особливості їх будови – видова ознака).

2. **Правило парності хромосом** (хромосоми, які належать до однієї пари, називаються гомологічними: вони мають однаковий розмір і будову).

3. **Правило індивідуальності хромосом** (кожна пара характеризується своїми особливостями).

4. **Правило неперервності хромосом** (хромосоми, здатні до авторепродукції під час поділу клітини).

В ядрах клітин тіла (соматичних клітинах) міститься повний, подвійний набір хромосом. Такий набір називається **диплоїдним** і позначається **2n**. В ядрах статевих клітин з кожної пари гомологічних хромосом присутня лише одна. Такий набір називається **гаплоїдним** і позначається **n**. Диплоїдний набір хромосом клітини, який характеризується їх числом, розмірами та формою, називається **каріотипом**.

Ідіограма – це систематизований каріотип, коли хромосоми розташовуються за зменшенням їх довжини. Нормальний каріотип людини – 46 хромосом, або 23 пари. З них

22 пари – хромосоми однакові у чоловіків і жінок (**аутосоми**) и одна пара – статеві хромосоми (**гетерохромосоми**). **Життєвий цикл клітини** – це період онтогенезу від народження клітини (ділення) до загибелі або наступного поділу. **Клітинний (мітотичний) цикл** – це період життя клітини від одного поділу до другого. Цей цикл складається з трьох головних стадій:

- Інтерфаза.
- Мітоз (каріокінез).
- Цитокінез.

Інтерфаза – це період між поділами клітини. Він включає три етапи:

1) Пресинтетичний (G1) – відбувається синтез РНК і структурних білків. За їх рахунок відновлюються и диференціюються органоїди клітини після мітозу. Клітина росте. Хромосоми складаються з однієї хроматиди. Набір генетичного матеріалу **2n2c**, де **n** – кількість хромосом, **c** – кількість ДНК.

2) Синтетичний (S) – відбувається редуплікація ДНК, синтез ядерних білків (гістонів). Тепер кожна хромосома складається з двох хроматид, **2n4c**.

3) Постсинтетичний (G2) – йде синтез АТФ, РНК, білків веретена поділу. Діляться мітохондрії та хлоропласти. Центріолі подвоюються, починає утворюватись веретено поділу **2n4c**.

Мітоз складається з 4-х фаз:

1) Профаза – хромосоми скручуються, вкорочуються, потовщуються. Хроматиди відштовхуються і поєднані лише в області центромери. Ядерця та ядерна мембрана руйнуються. Хромосоми потрапляють у цитоплазму. В цей же час центріолі розходяться до полюсів клітини. Навколо кожної центріолі утворюється веретено поділу (зірка). В клітинах вищих рослин немає центріолей. Веретено поділу будується від полюсів клітини. **2n4c**

2) Метафаза – хромосоми прикріплюються своїми центромерами до ниток веретена поділу. Вони вишиковуються на екваторі в одну лінію, їх добре видно і в них X-подібна форма, **2n4c**. **Метафазну пластинку** використовують для вивчення каріотипу.

3) Анафаза – кожна центромера розщеплюється на дві, хроматиди відходять одна від одної. Нитки веретена поділу розтягують дочірні хромосоми до протилежних полюсів, **4n4c**.

4) Телофаза – хромосоми переміщуються до полюсів клітини, деспіралізуються, подовжуються та їх вже не видно. Нитки веретена руйнуються. У кожного полюса навколо хромосом утворюється ядерна оболонка, з'являється ядро, **2n2c**.

Цитокінез – це поділ цитоплазми між двома дочірніми клітинами. Набір генетичного матеріалу в кожній клітині – **2n2c**. Поділ цитоплазми у клітинах тварин відбувається шляхом вгинання мембрани від периферії до центру. У рослинних клітинах поділ цитоплазми розпочинається з середини материнської клітини (вгинання з боків заважає клітинна стінка). Клітинна мембрана утворюється з дрібних пухирців ендоплазматичної сітки, а потім кожна клітина будує свою клітинну стінку. **Значення мітозу:**

1) Генетична стабільність. В результаті мітозу утворюються дві дочірні клітини, які містять стільки ж хромосом, скільки їх було в батьківській клітині.

2) Ріст. У результаті мітозів кількість клітин в організмі збільшується.

3) Лежить в основі безстатевого розмноження, регенерації та заміщення клітин.

Амітоз або прямий поділ клітин відбувається шляхом поділу ядра перетяжкою без утворення веретена поділу. Амітоз характерний для одноклітинних організмів, а також для клітин зі зниженою мітотичною активністю (клітини, що старіють або патологічні).

Ендомітоз – збільшення кількості хромосом. Виникає в результаті того, що після поділу хромосом, поділ ядра не відбувається. Так утворюються поліплоїдні ядра. При ендомітозі клітини продовжують свою життєдіяльність.

Політенія – збільшення кількості хромосом. Утворюються гігантські хромосоми (виявлені у слинних залозах личинок двокрилих). У складних багатоклітинних організмах рослин і тварин клітини окремих органів і тканин характеризуються різною **мітотичною**

активністю. Дослідження клітинного поділу засобами радіоавтографії дало можливість розділити всі тканини на три категорії клітинних комплексів:

- **стабільні** – практично не діляться (нервові тканини);
- **що ростуть** – частина клітин здатна до мітозу (м'язи);
- **що оновлюються** – всі клітини діляться. Кількість знов утворених клітин дорівнює кількості відмерлих (епітелій шкіри).

Мітотична активність залежить від виду тканини та її функції, віку та стадії розвитку організму.

Порушення мітозу призводять до утворення клітин з різними каріотипами. Порушення будови веретена поділу призводить до некратного збільшення або зменшення числа хромосом у соматичних клітинах. Це викликає різні захворювання.

2. Характеристика способів розмноження організмів. Мейоз

Розмноження — відтворення собі подібних за ознаками і властивостями шляхом поділу клітин. Завдяки розмноженню клітин і організмів відбувається збереження і розвиток життя на всіх рівнях його організації.

Розмноження клітин, а з ними і організмів можливе лише завдяки здатності молекули ДНК до редуплікації. Це єдиний на Землі біополімер, що володіє такою властивістю — відтворювати собі подібних.

Існують два основні способи розмноження: статеве і безстатеве. Останнє, у свою чергу, підрозділяється на вегетативне і спороутворення. Спороутворенню передуює мейотичний поділ клітин. Спори, що при цьому утворюються, є генетично різноманітними, на відміну від нащадків вегетативного розмноження. Тому спороутворення доцільніше виділити в проміжне положення між безстатевим і статевим розмноженням, а ще точніше, всі названі способи розмноження вважати самостійними в наступній спадкоємності філогенезу: вегетативне, спороутворення і статеве.

2.1 Безстатеве розмноження та його біологічне значення

При вегетативному і споровому розмноженнях в утворенні нового організму бере участь лише одна батьківська особина. При статевому розмноженні — два батьківські організми.

При розмноженні Природа вирішує два основні завдання:

- 1) збільшення числа особин в популяції;
- 2) отримання генетичної різноманітності особин — матеріалу для природного відбору. Вирішення цих завдань при різних способах розмноження неоднакове. Звідси і різне значення цих способів розмноження в еволюційному процесі.

2.2 Цитологічні та генетичні закономірності при вегетативному розмноженні

Вегетативне розмноження — це збільшення числа особин шляхом поділу вегетативних клітин однієї особини, при якому утворюються генетично ідентичні особини. При цьому генетична суть вегетативного розмноження полягає в редуплікації молекули ДНК, тоді як цитологічна суть — в точному розподілі подвоєних копій молекул ДНК між двома дочірніми клітинами. Ця суть залишається незмінною при різному ступені складності організму.

Клітинний механізм сегрегації редуплікованих молекул ДНК (хромосом) у прокаріот і еукаріот різний; мембрана цитоплазми у перших і веретено поділу в других. Проте генетична суть вегетативного розмноження у них залишається однаковою: точний, рівномірний розподіл копій молекул ДНК між дочірніми клітинами. Тому утворюється потомство генетично ідентичних клітин. При всіх варіантах вегетативного розмноження еукаріотичних організмів завжди спостерігається мітотичний поділ ядер. Відмінності стосуються лише механізму цитокінезу — поділ цитоплазми клітин.

Отже, вегетативне розмноження в тому або іншому ступені властиве всім організмам на Землі. Загальні генетичні і цитологічні закономірності для всіх форм вегетативного розмноження єдині.

1. В утворенні нового організму бере участь тільки одна батьківська особина.
2. Збільшення числа організмів завжди йде за рахунок поділу клітин.
3. Організми, що утворюються, генетично ідентичні між собою і батьківською особиною.

Біологічне значення вегетативного розмноження полягає в наступному.

1. Швидке збільшення числа генетично ідентичних особин в популяції.
2. Посилення ролі стабілізуючого природного відбору.

У стаціонарних умовах середовища стає доцільним швидке розмноження генетично ідентичних організмів з максимально адаптованими ознаками до даних умов.

2.3 Статеве розмноження та його еволюційні форми

Статеве розмноження таке ж стародавнє, як і безстатеве вегетативне розмноження. Воно виникло і удосконалювалося одночасно з виникненням і еволюцією прокаріотичних, а потім і еукаріотичних клітин в Археї.

Під *статевим розмноженням* в широкому сенсі слова розуміють всі випадки рекомбінації генетичного апарату двох організмів. За способом рекомбінації генетичного апарату розрізняють наступні форми статевого розмноження (особини генетично не ідентичні).

Форми статевого розмноження в широкому сенсі слова.

1. Парасексуальний процес: 1.1. Трансформація; 1.2. Трансдукція.
2. Статевий процес: 2.1. Кон'югація: 2.1.1. У прокаріот; 2.1.2. У еукаріот.
3. Власне статеве розмноження з утворенням гамет: 3.1. Копуляція.

Парасексуальний процес і статевий процес — це примітивні, еволюційно ранні форми статевого розмноження, його аналоги. Ці форми статевого розмноження часто зустрічаються у прокаріот, проте мають місце і у еукаріот.

При *трансформації* в реципієнтну клітину пасивно проникає ділянка молекули ДНК, що містить гени із зруйнованої донорської клітини.

При *трансдукції* фрагмент ДНК із зруйнованої донорської клітини проникає в реципієнтну клітину за допомогою вірусів. Віруси здатні включати до складу своїх нуклеїнових кислот фрагменти ДНК клітини-господаря, в якій вони паразитували. Проникаючи в нові клітини віруси тим самим привносять і фрагменти ДНК інших клітин. Донорські фрагменти ДНК незалежно від способу потрапляння (трансформація, трансдукція) включаються в молекулу ДНК реципієнтної клітини за допомогою механізму кросинговера. В результаті утворюється рекомбінантна молекула ДНК в реципієнтній клітині, в якій є частина генів донорської клітини.

Сексуальний або статевий процес включає механізм *кон'югації*. Це досконаліша форма статевого розмноження. Кон'югація у бактерій, у нижчих водоростей протікає у формі одностороннього перенесення генетичного матеріалу від однієї бактеріальної клітини (донора) до іншої при безпосередньому контакті (утворюється місток цитоплазми). По містку цитоплазми з донорської клітини в реципієнтну переходить один з ланцюгів молекули ДНК. Ланцюг в донорській клітині, що залишився, і ланцюг, що перейшов, в реципієнтній клітині редуплікуються. Отже, у результаті виходять подвійні молекули ДНК. Кон'югація часто неповна, тобто може припинятися з різних причин. Тому може перейти фрагмент ДНК або ціла хромосома. Фрагмент донорської ДНК за допомогою кросинговера включається в реципієнтну ДНК. Утворюється рекомбінантна молекула РНК.

Кон'югація у еукаріот, наприклад у інфузорій, по своєму механізму наближається до вищої форми статевого розмноження — до копуляції.

Копуляція, або власне статеве розмноження — наступний вищий етап еволюції статевого розмноження. При копуляції за допомогою мейотичного поділу клітин утворюються гаплоїдні статеві клітини. Вони, зливаючись разом, утворюють диплоїдну зиготу.

Диплоїдний стан організмів має ряд переваг над гаплоїдним:

- 1) ховаються шкідливі рецесивні мутації;
- 2) збільшується доза генів;
- 3) з'являється можливість множинного алелізму.

Проте для підтримки постійності диплоїдності у ряді поколінь повинен з'явитися механізм зменшення числа хромосом в гаметах. Таким механізмом став мейоз, що еволюційно виник на основі мітоза.

2.4 Мейоз та його біологічне значення

Мейоз — спосіб поділу диплоїдних клітин, що приводить до появи гаплоїдних клітин, в якому перекомбіновані алельні гени.

У тварин і рослин залежно від положення мейозу в життєвому циклі розвитку організмів виділяють два типи мейозу: зиготний і гаметний.

Зиготний, або *початковий* (еволюційно ранній) тип настає відразу після запліднення і утворення зиготи. Ранній тип мейозу характерний для видів, у яких в життєвому циклі переважає гаплоїдна фаза (життєвий цикл споровиків).

Інший тип мейозу, *гаметний*, відбувається під час дозрівання гамет. Він зустрічається, в основному, у багатоклітинних тварин і вищих рослин. У життєвому циклі організмів з таким типом мейозу переважає диплофаза і лише статеві клітини гаплоїдні. В цьому випадку так само після злиття гамет утворюється диплоїдна зигота.

2.5 Цитологічна та генетична характеристика стадій мейозу. Випадкова комбінація гомологів (батьківських і материнських) з різних пар в гаметах при мейозі

Мейоз складається з двох слідуєчих один за одним поділів при одній редуплікації ДНК в інтерфазі перед першим поділом гаметоцита першого порядку. Кожен з двох поділів складається з 4-х фаз: профаза, метафаза, анафаза, телофаза. Найбільш складний з них перший поділ, а найбільш складна з фаз — перша профаза.

Перший мейотичний поділ називають ще *редукційним* (редукція — зменшення), тому що вже після нього дочірні клітини (гаметоцити II порядку) стають гаплоїдними.

I профаза складніша, тривала; у людини вона триває близько 2-х діб. Виділяють 5 морфологічно помітних стадій: 1) лептонема (лепто — тонкий) — стадія тонких ниток; 2) зигонема (зигос — разом) — стадія ниток, що злилися; 3) пахінема (пахи — товстий) — стадія товстих ниток; 4) диплонема (дипло — подвійний) — стадія подвійних ниток; 5) діакінез — стадія відособлення шляхом відходження один від одного двох ниток.

Головні події в профазі I:

- 1) кон'югація гомологічних хромосом (лептонема, зигонема);
- 2) кросинговер між сестринськими хроматидами гомологів (пахінема);
- 3) вибіркового синтезу іРНК, рРНК (диплонема);
- 4) остаточне формування бівалентів (діакінез).

I метафаза.

Спарені гомологи, тобто біваленти вишиковуються в області екватора (перша відмінність від мітозу). Кінетохорні нитки обох хроматид одного бівалента обернені тільки до одного полюса, до якого він орієнтований (друга відмінність від мітозу). При цьому вони вступають в зв'язок з полюсними мікротрубочками.

I анафаза.

Відбувається розпад хіазм, що зв'язують батьківські і материнські хромосоми, відходження цілих гомологів, що складаються з двох хроматид. Тому з генетичної точки зору в анафазі відбувається розходження алельних генів, розташованих в різних гомологах.

I телофаза.

Коли хромосоми досягають полюсів поділу, вони деконденсуються, навколо них утворюється ядерна оболонка, настає цитокінез і клітини переходять в коротку інтерфазу. В результаті першого мейотичного поділу утворюється дві клітини з гаплоїдним набором хромосом ($1n$), оскільки в них один гомолог з пари, але диплоїдний набір ДНК,

оскільки гомологи складаються з двох хроматид, призначених для двох клітин. Тому після короткої інтерфази слідує другий мейотичний поділ.

Другий мейотичний поділ. Його ще називають *екваційним* (еквел — рівний), оскільки його суть полягає в розходженні хроматид, внаслідок чого утворюються генетично рівні клітини (якщо не враховувати результати кросинговера). Отже цей поділ за своїми генетичними і цитологічними закономірностями нічим не відрізняється від мітозу, хіба що відбувається в гаплоїдній клітині. В результаті другого поділу утворюються 4 клітини з $1n$ хромосом і $1n$ ДНК.

Біологічне значення мейозу і статевого розмноження:

1) в результаті мейозу утворюються гамети з гаплоїдним числом хромосом, що забезпечує диплоїдний набір хромосом і його постійність у ряді поколінь при статевому розмноженні, яке супроводжується злиттям гаплоїдних гамет з утворенням диплоїдної зиготи;

2) мейоз забезпечує перекомбінацію алельних генів в гаметах, внаслідок чого кожна гамета має унікальний набір генів. Перекомбінація алельних генів відбувається завдяки трьом цитологічним процесам мейозу.

2.1. Кросинговер. Кросинговер відбувається в пахінемі профазі I між хроматидами гомологічних хромосом. Кросинговер забезпечує перекомбінацію алельних генів в групах зчеплення.

2.2. Випадкова комбінація гомологів (батьківських і материнських) з різних пар в гаметах.

Батьківські і материнські гомологи різних бівалентів випадково орієнтуються до полюсів поділу в метафазі I, оскільки рухи бівалентів щодо один одного незалежні. Тому розбіжність жіночих і чоловічих гомологів з різних пар в анафазі I і потрапляння їх в різні клітини випадкове. Внаслідок чого в гаметах відбувається незалежна комбінація гомологів з різних пар, тобто перекомбінація різних груп зчеплення генів. Випадкова (незалежна) комбінація жіночих і чоловічих гомологів різних пар в гаметах є цитологічною основою 3-го закону Менделя — закону незалежної комбінації ознак.

Число гамет з різною комбінацією батьківських і материнських гомологів (U_g) з різних пар можна обчислити за формулою степеневі функції $U_g = 2^x$, де 2 — число комбінацій, яке утворює пара гомологічних хромосом (у одну клітину відходить жіночий гомолог, а в іншу — чоловічий), x — число пар гомологічних хромосом, що комбінуються, в клітині (бівалентів в метафазі I).

2.3. Запліднення алгебраїчно можна звести до множення комбінацій в гаметах. Тому число комбінацій жіночих і чоловічих гомологів з різних пар в зиготах виражається формулою: $U_z = 2^x \text{ ♀} \times 2^x \text{ ♂} = 2^{2x}$, де 2^x ♀ та 2^x ♂ — число комбінацій у відповідних гаметах. Приклади для видів: $2n = 4$; $2n = 8$; $2n = 46$. Якщо до комбінацій різних груп зчеплення генів, додати число гомологів з різних пар, тобто до комбінацій комбінацій, які утворюються в результаті кросинговера, тобто перекомбінації генів усередині групи зчеплення, то число комбінацій гамет і зигот безкінечне. Отже, практично можна вважати, що кожна гамета і кожна зигота унікальні по набору алельних генів. Звідси розширення біологічного значення статевого розмноження полягає в наступному.

1. З виникненням мейозу, який призводить до утворення гаплоїдних гамет, стала можливою диплофаза організму, тобто диплоїдний набір хромосом ($2n$). Диплофаза у вищих організмів (вищий рослин, багатоклітинних тварин) стала основною в їх життєвому циклі. Перевага диплофази над гаплофазою полягає в тому, що, по-перше, збільшується доза алельних генів, що супроводжується прискоренням обмінних процесів; по-друге, приводить до появи нових морфологічних варіантів; по-третє, в диплофазі приховуються, тобто не виявляються шкідливі рецесивні гени, а, отже, підвищується стійкість організмів в зовнішньому середовищі.

2. Статеве розмноження в цілому забезпечує перекомбінацію генетичної інформації між особинами популяції, тобто комбінативну мінливість. Це призводить до нових

морфологічних варіантів особин. Генетична різноманітність особин сприяє ефективності рушійного природного відбору, який діє в умовах середовища, що змінюються. У цих умовах відбираються особини з новим поєднанням ознак, адекватних новим умовам, які склалися, що призводить надалі до появи нового виду. Отже, статеве розмноження, з його комбінативною мінливістю сприяє прогресивній еволюції. Треба підкреслити, що комбінативна мінливість прискорює еволюційний процес. Вона є основною для диплоїдних організмів при прогресивній еволюції в порівнянні з мутаційною мінливістю. Одних мутацій недостатньо для еволюції, тобто вони спостерігаються в середньому 10^{-5} — 10^{-7} ген на покоління. За допомогою статевого розмноження швидко утворюються потрібні комбінації ознак, відповідні новим умовам середовища.

НАВЧАЛЬНІ ЗАВДАННЯ

Завдання 1. Схема клітинного циклу та фаз мітозу

Використовуючи малюнки таблиці, кодограм, описів фаз мітозу в підручнику і практикумі, замалюйте схему мітотичного циклу, подібну до приведеної в методичних рекомендаціях.

У мітотичному циклі відбувається характерна динаміка хромосом. У G_0 вони складаються з однієї хроматиди (однієї молекули ДНК), у S-періоді вони подвоюються і складаються вже з двох хроматид (2-х молекул ДНК). У такому стані вони існують до анафази, коли дочірні хроматиди стають самостійними. Після анафази будова хромосом повертається до вихідного стану – вони складаються з однієї хроматиди. З будовою хромосом пов'язана і їх плоїдність. У G_1 періоді плоїдність хромосом і ДНК співпадають по $2n$, тому що хромосома – це одна молекула ДНК. У S-періоді кількість молекул ДНК подвоюється, але вони утримуються разом в одній хромосомі. Тому плоїдність хромосом залишається $2n$, а плоїдність молекул ДНК – $4n$. Такий стан плоїдності зберігається до анафази. Після поділу хроматид (молекул ДНК) плоїдність у клітині стає для хромосом $4n$, як і для молекул ДНК – $4n$. Після цитокінезу, у телофазі, що роз'єднує 2 набори молекул ДНК на полюсах, плоїдність хромосом і ДНК повертається до вихідної: $2n$ хромосом, $2n$ ДНК у кожній дочірній клітині.



Рисунок 1. Схема клітинного циклу

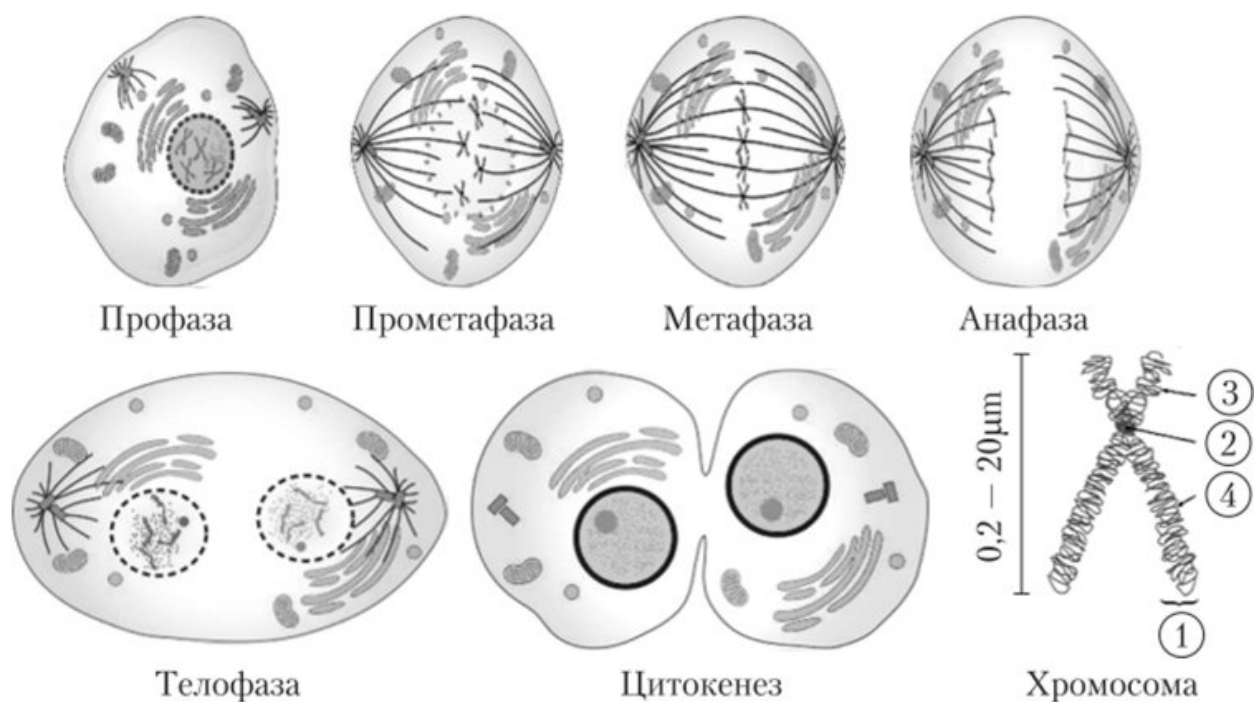


Рисунок 2. Схематичне зображення фаз мітозу клітини

У ході звичайного мітозу можуть бути модифікації: одна з них – вихід клітин із мітотичного циклу в G₀ періоді, ця стадія клітини позначається G₀. Менша частина клітин у G₀ періоді залишається стовбуровими клітинами, більша частина клітин вступає у фазу диференціювання. Модифікація мітозу також може йти по типу блоку однієї з його стадій: 1) блок каріокінезу в G₂-періоді до мітотичної конденсації хромосом – називається **ендоредуплікацією**, що призводить до політенії (у двокрилих) або до поліплоїдії; 2) блок каріокінезу в профазі після мітотичної конденсації хромосом називається **ендомітозом** і призводить до поліплоїдії; 3) блок цитокінезу в телофазі призводить до **багатоядерності**. Політенія, поліплоїдія та багатоядерність мають місце при нормальному гістогенезі тканин.

Заповніть таблицю 1.

Таблиця 1. Фази клітинного циклу

Фаза	Рисунок	Короткий опис
Інтерфаза		
Мітоз		
Профаза		
Метафаза		
Анафаза		
Телофаза		

Завдання 2. Мітоз у клітинах корінця цибулі

Розгляньте на фіксованих препаратах та схемах клітини в період інтерфази,

профази, анафази та телофази мітозу і знайдіть відповідні етапи на рисунку 3.

При малому збільшенні мікроскопа можна розрізнити в корінці 3 зони: 1) кінцеву частину – чохлик, 2) зона поділу – меристема, 3) зона росту або розтягу. Ділення клітин відбувається тільки в другій зоні. При великому збільшенні мікроскопу в ній можна знайти інтерфазні клітини (які не діляться) і клітини на всіх стадіях мітозу. **Визначте також ці стадії на малюнку.** В інтерфазі клітини прямокутні, ядро овальне, з 1-2 ядерцями та дрібними глибками хроматину. У профазі помітні тонкі нитки конденсованого хроматину, зібраного в клубки. В метафазі хромосоми тісно концентруються на екваторі (екваторіальна пластинка). В анафазі йде розходження хроматид до полюсів, хромосоми у вигляді шпильок. В телофазі хромосоми, що відійшли, формують полярні шапки, починається цитокінез утворенням двох дочірніх клітин.

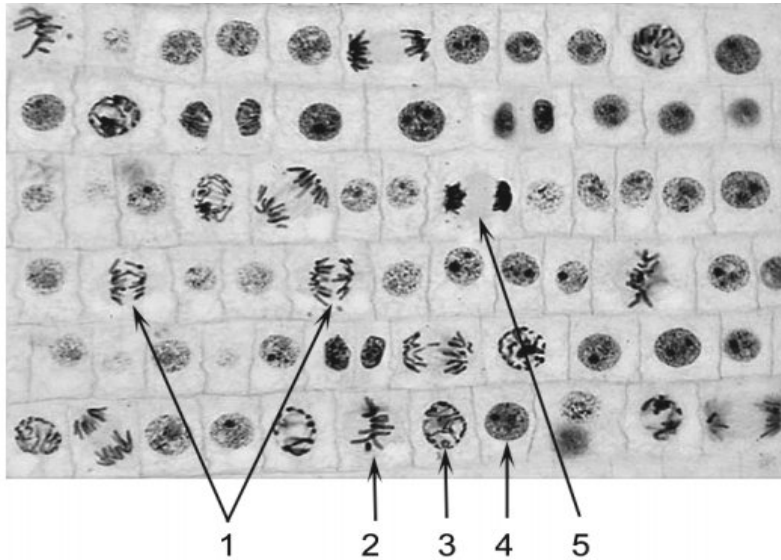


Рисунок 3. Мітоз і цитокінез у клітинах конуса наростання кореня цибулі:

- 1 - _____
- 2 - _____
- 3 - _____
- 4 - _____
- 5 - _____

Завдання 3. Регуляція клітинного циклу

Вивчіть, яким чином відбувається регуляція клітинного циклу. Дайте визначення контрольних точок клітинного циклу та факторів росту.

1. Контрольні точки клітинного циклу.

Контрольні точки клітинного циклу – _____

Наявність контрольних точок в клітинному циклі є необхідною для визначення завершення кожної його фази.

Клітинний цикл контролюється шляхом взаємодії *трьох типів регуляторних білків*:

1. циклінзалежні кінази (*Cdk*);
2. цикліни — цитоплазматичні білки, що взаємодіють з *Cdk* із утворенням комплексів;
3. інгібітори комплексів *Cdk*-циклін.

Регуляція клітинного циклу здійснюється за допомогою оборотного фосфорилювання / дефосфорилювання регуляторних білків. Існує три контрольні точки регуляції клітинного циклу. Позначте їх на схемі.

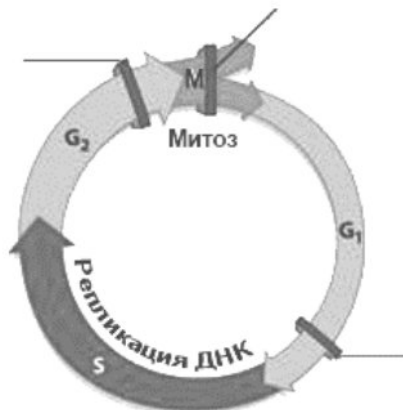


Рисунок 4. Схема клітинного циклу

Контрольні точки клітинного циклу

Контрольна точка	Період, що контролюється	Що відбувається
G1 контрольна точка, Старт	Завершення G1 фази, G1/S перехід	Запобігає подвоєнню пошкодженої ДНК. За умов, не відповідних для реплікації (напр., пошкоджена ДНК), клітина не вступає у фазу S, а замість цього вступає у фазу G0.
G2 контрольна точка	Закінчення G2/M переходу	Перевірка завершення реплікації. Не дозволяє вступити пошкодженій клітині у мітоз. При пошкодженні ДНК, поділ клітини буде припинено до закінчення репарації ДНК.
М контрольна точка, контрольна точка збирання веретена поділу	Перехід від метафази до анафази мітозу	Якщо хромосоми вишукані по екватору клітини і, відповідно, готові до поділу, клітина переходить від метафази до анафази, під час якої відбувається поділ генетичного матеріалу. Щоб уникнути неправильного розподілу хромосом, клітини затримуються в метафазі до тих пір, поки всі кінетохори не будуть прикріплені до мікротрубочок

Завдання 4. Гаметогенез

Замалюйте основні фази оогенезу і сперматогенезу, вкажіть кількість ДНК та гаплоїдних наборів хромосом.

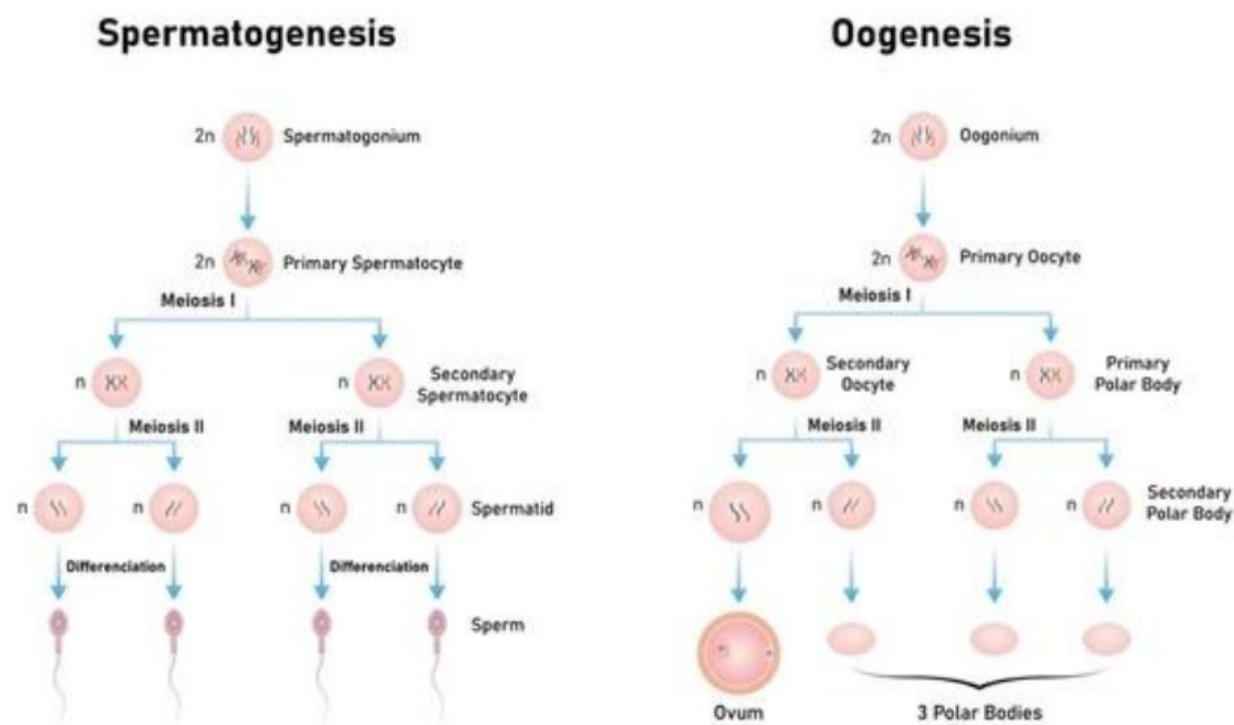


Рисунок 5. Схема спермато- та оогенезу

Завдання 5. Сперматогенез та оогенез

Позначте в таблиці 2 основні відмінності між сперматогенезом та оогенезом у ссавців.

Таблиця 2. Характеристика відмінностей між оогенезом та сперматогенезом

Характеристика	Оогенез	Сперматогенез
Орган, в якому процес відбувається		
Тривалість процесу		
Вік, в якому процес починається		
Кількість клітин, що утворюються з однієї соматичної клітини-попередника		
Біологічна функція		

Завдання 5. Сперматозоїди морської свинки

Препарат пофарбований гематоксиліном. Роздивіться препарат при збільшенні об. 90х; ок. 10х. Зверніть увагу на форму клітини. Замалюйте сперматозоїд морської свинки та позначте на рисунку: 1) голівку, 2) ядро, 3) акросому, 4) шийку, 5) хвіст (джгутик).

Завдання 6. Яйцеклітина беззубки

Для беззубки характерними є роздільні статі, але в умовах водойм зі стоячою водою можуть зустрічатися гермафродитні особини. Гонади парні, сильно розчленовані, мають фолікулярну будову, залягають у спинній частині ноги, де оточують петлі кишківника. Кожна статева залоза відкривається в мантийну порожнину у вигляді вивідної протоки.

При малому та середньому збільшенні (x8 та x20) слід ознайомитися з будовою препарату, який є зрізом яєчника беззубки. У полі зору можуть зустрітися не тільки фолікули, а й просвіти вивідних проток, а також просвіти кишкових петель. Останні легко розпізнаються по високому циліндричному війному епітелію, яким вистелені їх стінки. Фолікули відрізняються від проток товстими стінками, утвореними фолікулярними жовтковими клітинами кубічної або циліндричної форми. Вони мають невелике ядро, світлу червону цитоплазму та відносно великі жовткові гранули. Поперечні та косі перерізи цих клітин овальні або округлі.

Крім соматичних клітин у фолікулах перебувають і статеві клітини – ооцити I порядку. Залежно від фази зростання вони мають різні розташування, величину та забарвлення. Ооцити у фазі «малого зростання» (превітелегенез) знаходяться серед фолікулярних клітин, округлі, дрібні з відносно великим, блідо забарвленим ядром і подвійним ядерцем. У міру зростання в їх цитоплазмі накопичується РНК, збільшується кількість органоїдів, з'являються дрібні гранули жовтка, внаслідок чого цитоплазма набуває базofilних властивостей і забарвлюється в червоно-фіолетовий колір. У фазі «великого зростання» (вітелогенезу) ооцит збільшується в розмірах і просувається до просвіту фолікула. Інтенсивний синтез білків, насамперед жовтка, призводить до підвищення оксифільності, і цитоплазма набуває червонувато-рожевого відтінку. Ооцити, що виростили, втрачають зв'язок зі стінкою фолікула і виявляються в його просвіті.

Порожнини проток відносно великі, вистелені низьким циліндричним або кубічним епітелієм, клітини якого мають дрібнозернисту цитоплазму та дрібні компактні ядра. У просвітах проток знаходяться ооцити, що завершують своє зростання. Їх треба вивчити за великого збільшення, бажано з імерсійним об'єктивом. Яйцеклітина на цьому етапі розвитку покрита прилеглою до цитоплазми тонкою первинною (жовтковою) оболонкою – цитолемою і вторинною оболонкою, також тонкою, але відокремлюється від клітини і складки, що утворює. У цитоплазмі знаходяться зерна жовтка червоного кольору. Кортикальний шар має фіолетовий відтінок, зумовлений значною кількістю органоїдів, що беруть участь у синтетичних процесах. Ядро із невеликою кількістю хроматину розташоване ексцентрично, його оболонка добре виражена. Ядерце подвійне.

При малому збільшенні мікроскопу необхідно розібратися в гістологічній картині препарату: навчитися розрізняти порожнини фолікулів, просвіти проток гонади та петель кишківника (останні зустрічаються не на всіх препаратах). Потім треба вибрати один із фолікулів, в якому знаходяться ооцити у фазах «великого» та «малого» зростання і замалювати його при великому збільшенні. При цьому потрібно правильно передати співвідношення розмірів самого фолікула та його клітин, розташування ооцитів, відмінності у розмірах та забарвленні цитоплазми на різних фазах росту.

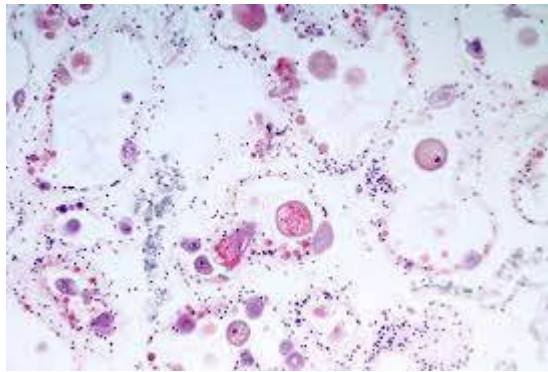


Рисунок 6. Ооцити I порядку у фолікулах гонади беззубки. Гематоксилін-еозин. збільшення $\times 400$.

Схематично замалюйте зображення мікропрепарату при збільшенні $\times 400$ та позначте: 1 – просвіт фолікула; 2 – фолікулярний епітелій (який?); 3 – ооцит у фазі превітелогенезу; 4 – ооцит у фазі вітелогенезу.

Необхідно вибрати один з найбільших ооцитів у фазі «великого зростання» (бажано в просвіті протоки гонади) з вторинною оболонкою, що добре збереглася, розібратися в його будові і замалювати крупним планом.



Рисунок 7. Будова ооциту I порядку беззубки у фазі вітелогенезу. Гематоксилін-еозин. Збільшення $\times 900$

Схематично замалюйте зображення мікропрепарату при збільшенні $\times 900$ та позначте: просвіт фолікула; фолікулярний епітелій (який?); ооцит у фазі превітелогенезу; ооцит у фазі вітелогенезу.

ПИТАННЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ

- Назвіть особливості структури інтерфазного ядра.
- Чи відрізняється поняття клітинний та життєвий цикл?
- Вкажіть біологічне значення мітозу.
- Схарактеризуйте фази мітозу.
- Як здійснюється регулювання клітинного циклу?
- Назвіть контрольні точки клітинного циклу і залучені компоненти.
- Дайте визначення поняття проліферація та диференціювання клітин.
- Чому при вегетативному розмноженні утворюються організми з ідентичним генотипом, тоді як при статевому завжди з різним?
- Що загального при власне статевому розмноженні (копуляції) і його аналогах?
- Що таке синаптонемальний комплекс і його значення.
- Як цитологічно виглядає кросинговер? На якій стадії профазі він відбувається і коли цитологічно проявляється?
- Назвіть три механізми комбінативної мінливості, обумовленої генетичними закономірностями мейозу.

