

## Przebieg i znaczenie mejozy

- [Wprowadzenie](#)
- [Przeczytaj](#)
- [Symulacja interaktywna](#)
- [Sprawdź się](#)
- [Dla nauczyciela](#)



## Przebieg i znaczenie mejozy

Mejoza to proces podziału jądra komórkowego, który w ludzkim ciele wykorzystywany jest do produkcji gamet, czyli plemników i komórek jajowych.

Źródło: Karl-Ludwig Poggemann, Flickr, licencja: CC BY 2.0.

Mejoza zachodzi tylko u organizmów eukariotycznych. Składa się z dwóch etapów: **pierwszego podziału meiotycznego** (określanego jako podział redukcyjny, gdyż w jego wyniku następuje redukcja liczby chromosomów o połowę) oraz **drugiego podziału meiotycznego** (będącego podziałem zachowawczym, który ma na celu zwielokrotnienie liczby komórek). Na skutek mejozy i następującej po niej cytokinezy powstają cztery komórki potomne o zmniejszonej o połowę w stosunku do komórki macierzystej liczbie chromosomów.

### Twoje cele

- Na podstawie schematów przeanalizujesz przebieg poszczególnych faz mejozy.
- Porównasz pierwszy i drugi podział meiotyczny.
- Wyjaśnisz znaczenie mejozy w zachowaniu ciągłości życia na Ziemi.

# Przeczytaj

---

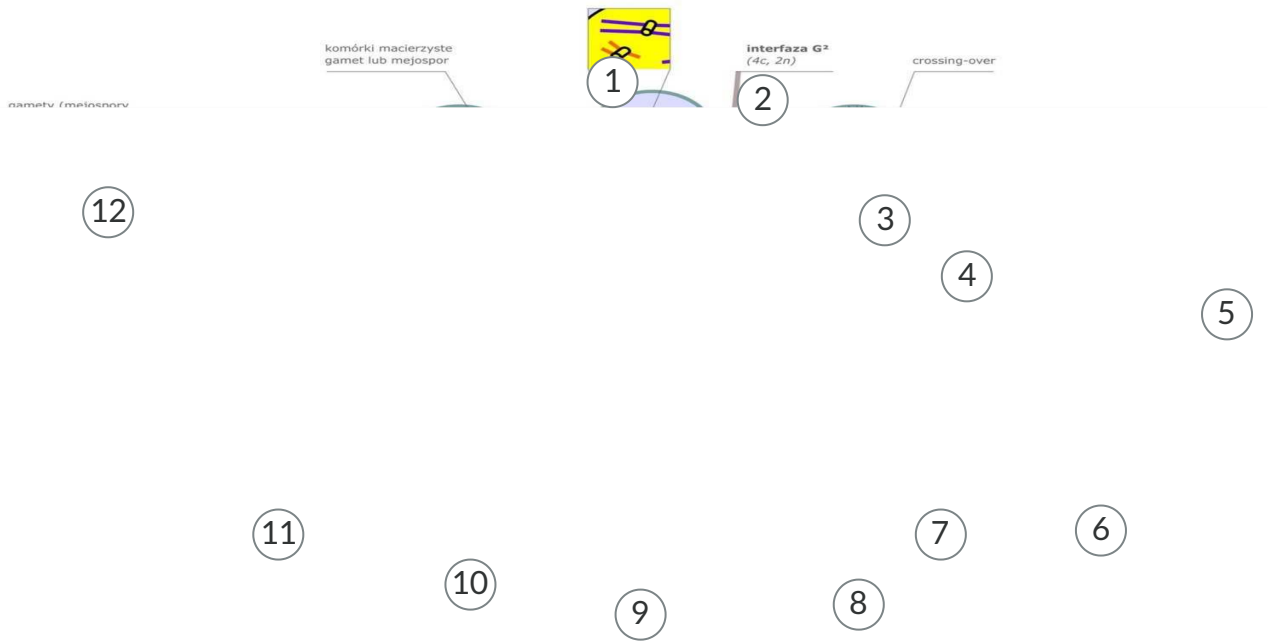
## Przebieg mejozy

Mejoza to podział komórki, w wyniku którego z jednej komórki diploidalnej powstają cztery komórki haploidalne. Mejoza u roślin i grzybów prowadzi do wytworzenia haploidalnych zarodników (mejospor), z których rozwija się pokolenie haploidalne (gametofit) rozmnażające się płciowo. U zwierząt w wyniku mejozy dochodzi do wytworzenia gamet.

Mejoza składa się z dwóch następujących po sobie podziałów, określanych jako:

- I podział mejotyczny (mejoza I) – podział redukcyjny;
- II podział mejotyczny (mejoza II) – podział zachowawczy.

W porównaniu z [mitoza](#), która trwa ok. godziny, mejoza może trwać od kilkunastu godzin (u pantofelków) do nawet kilkudziesięciu lat (u ssaków).



1

---

## Interfaza

Następuje podwojenie ilości DNA (w fazie S interfazy) i kondensacja chromosomów, które teraz składają się z dwóch siostrzanych chromatyd.

2

---

## Mejoza I

Następuje po interfazie.

3

---

Chromosomy homologiczne układają się w pary (biwalenty). Zachodzi między nimi crossing-over. Stopniowo zanikają otoczka jądrowa i jąderko.

4

---

Pary chromosomów homologicznych układają się w płaszczyźnie równikowej komórki. Włókna wrzeciona kariokinetycznego przyczepiają się do centromerów chromosomów.

5

---

Włókna wrzeciona kariokinetycznego skracają się, rozdzielając chromosomy homologiczne i przeciągając je do biegunów komórki. Każdy z przemieszczających się chromosomów składa się z dwóch chromatyd połączonych centromerem.

6

---

Wrzeciono kariokinetyczne zanika, następuje odtworzenie jąderka i otoczki jądrowej. Zachodzi cytokineza. Powstają dwie haploidalne komórki.

7

---

## Mejoza II

Następuje po interkinezie.

8

---

Otoczka jądrowa i jąderko stopniowo zanikają, tworzy się wrzeciono kariokinetyczne. Chromosomy ulegają ponownie kondensacji.

9

---

Chromosomy ustawiają się w płaszczyźnie równikowej komórki. Włókna wrzeciona kariokinetycznego przyczepiają się do centromerów chromosomów.

10

---

Włókna wrzeciona kariokinetycznego skracają się. Centromery chromosomów dzielą się i chromatydy w postaci chromosomów potomnych wędrują ku przeciwnym biegunom komórki.

11

---

Zostaje odtworzona otoczka jądrowa i jąderko. Zachodzi cytokineza.

12

---

W wyniku mejozy z jednej komórki diploidalnej powstały cztery komórki haploidalne.

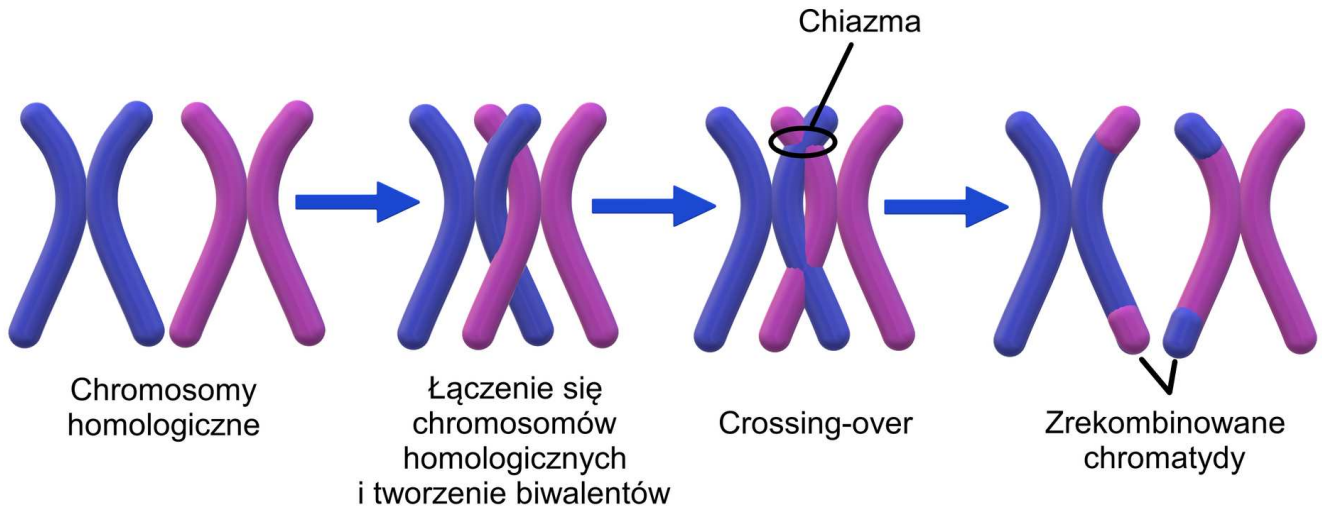
Mejoza – proces złożony z dwóch kolejnych podziałów jąder komórkowych, dzięki którym z komórki diploidalnej powstają cztery komórki haploidalne.

Źródło: Marek Kultys (zmodyfikowano), Wikimedia Commons, licencja: CC BY-SA 3.0.

Okres, w którym komórka przygotowuje się do podziału mejotycznego bądź mitotycznego, nazywany jest **interfazą**. W tym stadium dochodzi do replikacji DNA i podwojenia ilości materiału genetycznego. Każdy chromosom składa się wówczas z dwóch takich samych chromatyd, czyli dwóch takich samych cząsteczek DNA.

Pierwszy podział mejotyczny dzieli się na następujące etapy:

- **Profaza I.** To jeden z najbardziej skomplikowanych etapów mejozy. Ze względu na zachodzące w profazie I procesy podzielono ją na pięć kolejnych faz:
  - **leptoten**; następuje kondensacja chromatyny do postaci nitkowatych chromosomów, których telomery znajdują się w pobliżu otoczki jądrowej;
  - **zygoten**; chromosomy homologiczne łączą się w pary, tworząc [biwalenty](#) (tetrydy), składające się łącznie z czterech chromatyd;
  - **pachyten**; postępuje kondensacja chromosomów. Dochodzi do procesu *crossing-over*, który polega na wymianie fragmentów chromatyd niesiostrzanych chromosomów homologicznych tworzących biwalent. W miejscach wymiany fragmentów materiału genetycznego powstają chiazmy, czyli krzyżowe połączenia pomiędzy chromatydami, które brały udział w *crossing-over*.
- – **diploten**; następuje zakończenie procesu *crossing-over* oraz utrata połączenia chromosomów z otoczką jądrową;
- **diakineza**; dochodzi do terminacji chiazm, zakończenia procesu kondensacji chromosomów oraz zaniku otoczki jądrowej i jąderka; nici wrzeciona kariokinetycznego łączą się z centromerami chromosomów.



Przebieg procesu crossing-over: od pary chromosomów homologicznych, przez wytworzenie chiazm, aż do zrekombinowanych chromatyd.

Źródło: Christinelmiller, Wikimedia Commons, licencja: CC BY-SA 4.0.

- **Metafaza I.** W metafazie I bivalente ułożone są w płaszczyźnie równikowej komórki, tworząc płytkę równikową. Połączenie z nią wrzeciona kariokinetycznego spowoduje w kolejnym etapie losowy rozdział chromosomów homologicznych do dwóch biegunów komórki, po jednym z pary w bivalencie.
- **Anafaza I.** Włókna wrzeciona kariokinetycznego ulegają skróceniu, przyciągając chromosomy do biegunów komórki po jednym z pary. Każdy z chromosomów nadal składa się z dwóch chromatyd. W anafazie dochodzi do redukcji liczby chromosomów poprzez rozdzielenie chromosomów homologicznych do dwóch komórek.
- **Telofaza I.** Następuje odtworzenie otoczek jądrowych i częściowa despiralizacja chromosomów. W wyniku cytokinezy dochodzi do powstania dwóch komórek potomnych o zmniejszonej o połowę (względem komórki macierzystej) liczbie chromosomów.

W wyniku I podziału meiotycznego powstają dwie komórki haploidalne ze **zrekombinowanym zestawem chromosomów**.

Przed II podziałem meiotycznym następuje **interkineza**, określana jako interfaza II. W tym stadium nie zachodzi replikacja DNA.

Etapy drugiego podziału mejotycznego są następujące:

- **Profaza II.** Następuje ponowna kondensacja materiału genetycznego, aż do najbardziej upakowanej formy, czyli chromosomów, zanika otoczka jądrowa oraz jąderko i tworzy się wrzeciono kariokinetyczne.
- **Metafaza II.** Chromosomy ustawione zostają w płytce równikowej, a nici wrzeciona podziałowego przylączają się do centromerów chromosomów.
- **Anafaza II.** Na skutek skracania nici wrzeciona podziałowego dochodzi do podziału centromerów i rozejścia się chromatyd do przeciwnych biegunów komórki. Chromatidy stanowią chromosomy potomne.
- **Telofaza II.** Odtworzona zostaje otoczka jądrowa wokół chromosomów, które ulegają dekondensacji do chromatyny.
- **Cytokineza.** Następuje podział cytoplazmy między komórki potomne, a następnie utworzenie pierścienia podziałowego, zbudowanego z białek kurczliwych (u zwierząt) lub powstanie wrzeciona cytokinetycznego (u roślin). Procesy te pozwalają na ukończenie podziału komórki.

Tabela przedstawiająca porównanie mejozy I i mejozy II.

Mejoza I	Mejoza II
----------	-----------

Mejoza I	Mejoza II
<p><b>Profaza I:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- kondensacja chromosomów;</li> <li>- koniugacja chromosomów polegająca na parowaniu się homologicznych chromosomów i utworzeniu biwalentów;</li> <li>- crossing-over (prowadzi do zmienności rekombinacyjnej) i tworzenie chiazm;</li> <li>- zanik otoczki jądrowej i jąderka;</li> <li>- wykształcenie wrzeciona podziałowego (kariokinetycznego);</li> </ul>	<p><b>Profaza II:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- kondensacja chromosomów;</li> <li>- zanik otoczki jądrowej i jąderka</li> <li>- wykształcenie wrzeciona podziałowego (kariokinetycznego);</li> </ul>
<p><b>Metafaza I:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- ustawienie biwalentów w płaszczyźnie równikowej;</li> <li>- włókna wrzeciona podziałowego przyłączają się do centromerów chromosomów;</li> <li>- pęknięcie chiazm.</li> </ul>	<p><b>Metafaza II:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- ustawienie chromosomów w płaszczyźnie równikowej;</li> <li>- przyłączenie włókien wrzeciona podziałowego do centromerów chromosomów.</li> </ul>

Mejoza I	Mejoza II
<p><b>Anafaza I:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- skracanie włókien wrzeciona kariokinetycznego.</li> <li>- losowy rozdział chromosomów homologicznych i ich przemieszczanie do biegunów komórki po jednym z pary.</li> </ul>	<p><b>Anafaza II:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- skracanie włókien wrzeciona kariokinetycznego;</li> <li>- podział centromerów i chromosomów na dwie chromatydy (chromosomy potomne);</li> <li>- oddzielenie się chromatyd do przeciwległych biegunów komórki.</li> </ul>
<p><b>Telofaza I:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- odtwarzanie otoczek jądrowych.</li> </ul>	<p><b>Telofaza I:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- odtwarzanie otoczek jądrowych;</li> <li>- despiralizacja chromosomów.</li> </ul>
<b>Cytokineza</b>	<b>Cytokineza</b>
<p>W wyniku mejozy I i cytokinezy z komórki diploidalnej (<math>2n, 4c</math>) powstają dwie komórki potomne o zredukowanej o połowę liczbie chromosomów i zmniejszonej o połowę ilości DNA (<math>1n, 2c</math>).</p>	<p>W wyniku mejozy II i cytokinezy z każdej komórki haploidalnej powstałej po mejozie I (<math>1n, 2c</math>) powstają dwie komórki haploidalne ze zmniejszoną o połowę ilością DNA (<math>1n, 1c</math>).</p>

## Znaczenie mejozy

W drodze mejozy u zwierząt powstają gamety, natomiast u roślin i grzybów – zarodniki (mejospor). Z mejospor powstaje pokolenie haploidalne (gametofit), które

rozmnaża się płciowo na skutek wytwarzania haploidalnych gamet w wyniku podziałów mitotycznych.

Mejoza ma szczególne znaczenie dla gatunków rozmnażających się płciowo:

### **Zachowanie liczby chromosomów na stałym poziomie**

W wyniku mejozy powstają komórki potomne o zredukowanej o połowę liczbie chromosomów (haploidalne). Odtworzenie diploidalnej komórki następuje podczas zapłodnienia. Mejoza zapobiega zwielokrotnieniu liczby chromosomów w zygocie i komórkach organizmu potomnego, który z niej powstaje.

### **Generowanie zmienności genetycznej**

## **Słownik**

### **biwalent**

para koniugujących chromosomów homologicznych w metafazie pierwszego podziału mejotycznego

### **chiazma**

(gr. chiasma – skrzyżowanie) nazwa pochodzi od greckiej litery chi, która ma kształt podobny do litery X; krzyżowa struktura pojawiająca się w profazie pierwszego podziału mejotycznego, która stanowi etap przejściowy w procesie wymiany informacji genetycznej między homologicznymi (niesiostrzanymi) chromatydami w biwalencji; powstaje w wyniku pęknięcia niesiostrzanych chromatyd i połączenia powstałego pęknięcia na krzyż

### **chromosomy homologiczne**

(gr. chroma – chroma, soma – ciało, homólogos – zgodny) chromosomy o tym samym kształcie i wielkości zawierające podobną informację genetyczną

### ***crossing-over***

(ang.) proces polegający na wymianie odcinków chromatyd niesiostrzanych (zawierających tę samą informację, ale odmienną jej wersję) w miejscach określanych jako chiazmy, pomiędzy chromosomami homologicznymi, podczas profazy mejozy I

### **diploidalność**

(gr. diplóos – podwójny) zjawisko polegające na obecności w jądrze komórkowym dwóch zestawów chromosomów

### **gameta**

(gr. gamein – poślubić) komórka o zredukowanej do połowy liczbie chromosomów w stosunku do pozostałych komórek ciała, służąca do rozmnażania płciowego

### **haploidalność**

(gr. haploos – pojedynczy) zjawisko polegające na obecności w jądrze komórkowym jednego zestawu chromosomów

### **mejoza**

(gr. meiosis – zmniejszenie) proces podziału jądra komórkowego, w wyniku którego z jednej komórki powstają cztery komórki potomne o zredukowanej o połowę (w porównaniu z komórką macierzystą) ilości materiału genetycznego; przebiega dwufazowo – pierwsza faza jest redukcyjna (redukcja liczby chromosomów)

### **mitoza**

(gr. mítos – nić) proces podziału jądra komórkowego, w wyniku którego z jednej komórki macierzystej powstają dwie komórki potomne o identycznym materiale genetycznym względem siebie i względem komórki macierzystej

# Symulacja interaktywna

## Przebieg mejozy

### Symulacja 1

Przesuwając suwak, obserwuj poszczególne fazy mejozy.



Zasób interaktywny dostępny pod adresem <https://zpe.gov.pl/a/DQxdvTy7N>

Źródło: Englishsquare.pl sp. z o.o., licencja: CC BY 3.0.

### Polecenie 1

Przeanalizuj symulację interaktywną przedstawiającą przebieg mejozy, a następnie wyjaśnij, jakie znaczenie biologiczne ma proces crossing-over.



## Polecenie 2

Odpowiedz na pytania:

Ile centromerów ma typowy chromosom?

Czym jest centromer i jaka jest jego funkcja?

# Sprawdź się

Pokaż ćwiczenia:   

## Ćwiczenie 1



## Ćwiczenie 2



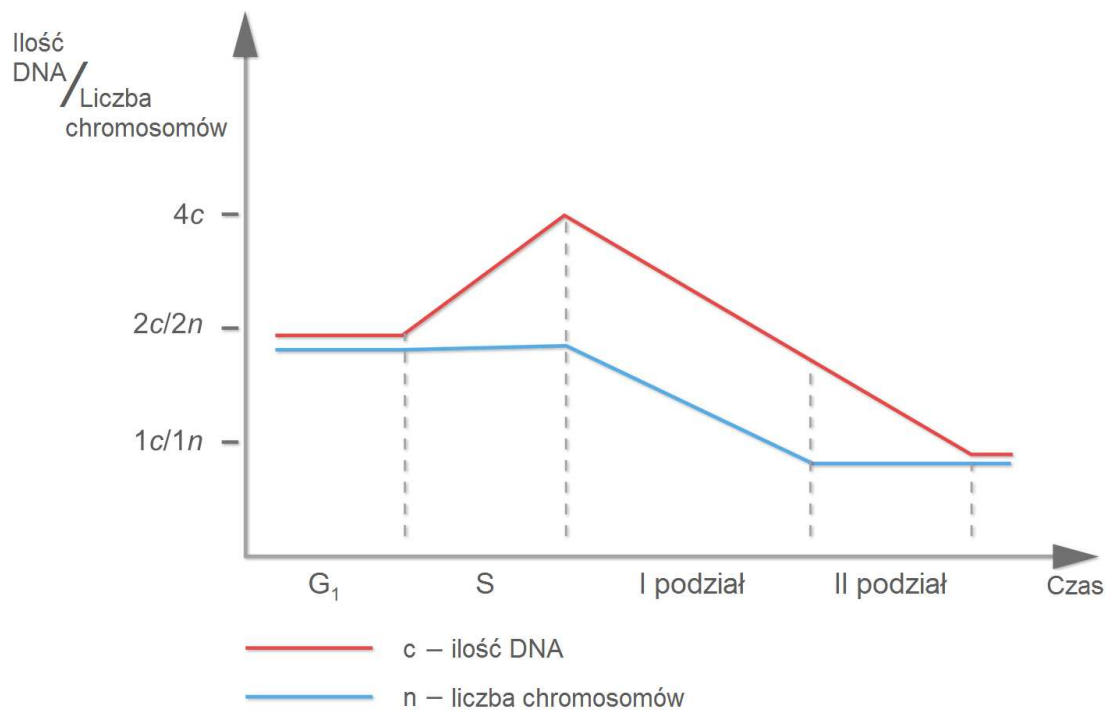
Źródło: Doc. RNDr. Josef Reischig, CSc.

## Ćwiczenie 3



Źródło: Alvesgaspar, Doc. RNDr. Josef Reischig.

## Ćwiczenie 4



Źródło: Englishsquare.pl Sp. z o.o.

## Ćwiczenie 5



Nasięźrzał (*Ophioglossum*) to rodzaj roślin naczyniowych klasyfikowany niegdyś jako paprotnik, a dziś zaliczany do klasy psylotowych (*Psilotopsida*). Nasięźrzał pospolity (*Ophioglossum vulgatum*) występuje m.in. w Europie, Azji i Ameryce Północnej. Inne gatunki należące do rodzaju *Ophioglossum* spotykane są również w rejonach subtropikalnych i tropikalnych. Nasięźrzał jest rodzajem bardzo starym ewolucyjnie i niezwykle różnorodnym genetycznie, szczególnie pod względem ploidalności. Poliploidyzacja zachodziła u tych roślin w toku ewolucji przynajmniej kilkakrotnie. Na świecie istnieją więc gatunki mające w jądrze komórkowym zarówno 30, jak i 1260 chromosomów (co jest rekordem wśród roślin). Poliploidyzacja nasięźrzałów jest imponującym przykładem przystosowania się do środowiska. Trwają badania nad podziałami komórkowymi nasięźrzałów. Zastanawiające jest bowiem, jak dochodzi do sprawnej segregacji często ogromnej ilości chromosomów homologicznych (lub chromatyd) do komórek potomnych.

Na podstawie:

Sharda Khandelwal, *Chromosome evolution in the genus Ophioglossum L.*, „Botanical Journal of the Linnean Society” 2008.

B.M.B. Sinha i in., *Occurrence of Various Cytotypes of Ophioglossum Reticulatum L. in a Population from N. E. India*, „Caryologia” 1979.

## Ćwiczenie 6



## Ćwiczenie 7



Ze względu na miejsce mejozy w cyklu rozwojowym organizmów dzielimy ją na pregamiczną (zachodzącą przed zapłodnieniem) i postgamiczną (następującą po zapłodnieniu). Mejoza postgamiczna charakterystyczna jest dla organizmów haploidalnych, namnażających się również dzięki podziałom mitotycznym. W pewnych sytuacjach haploidalne osobniki zmieniają się w gamety i łączą na zasadzie gamii. Powstała diploidalna zygota dzieli się następnie mejotycznie, co skutkuje wytworzeniem kolejnego pokolenia dojrzałych komórek potomnych. Opracowano na podstawie:

Neil A. Campbell i in., „*Biologia Campbella*”, tłum. K. Stobrawa i in., Rebis, Poznań 2019.

## Ćwiczenie 8



We wrześniu 2019 r. na łamach czasopisma „Nature Communications” pojawiła się praca naukowa potwierdzająca wpływ aktyny na podział mejotyczny zachodzący u kobiet podczas powstawania komórek jajowych. Wyniki sugerują, że białko to jest niezbędne do zajścia przynajmniej trzech etapów mejozy i dojrzewania oocytu.

Na podstawie: Johannes Roeles i in., *Actin-microtubule interplay coordinates spindle assembly in human oocytes*, „Nature Communications”, 2019.

Założmy, że przeprowadzono doświadczenie polegające na podawaniu substancji (A) podczas profazy I oraz po anafazie I, której działanie polega na rozkładaniu aktyny.

### Kolejność i czas podania substancji

- Próba I: nie podawano żadnej z substancji podczas mejozy.
- Próba II: podano substancję A podczas profazy I.
- Próba III: podano substancję A po anafazie I.

### Wyniki doświadczenia

- Próba I: chromosomy homologiczne rozchodzą się podczas anafazy, a ciałka kierunkowe są wytwarzane.
- Próba II: chromosomy homologiczne nie rozchodzą się, a ciałka kierunkowe nie są wytwarzane.
- Próba III: chromosomy homologiczne rozchodzą się, nie dochodzi do wytworzenia się ciałek kierunkowych.

# Dla nauczyciela

---

**Autor:** Zuzanna Szewczyk

**Przedmiot:** biologia

**Temat: Przebieg i znaczenie mejozy**

**Grupa docelowa:** uczniowie III etapu edukacyjnego – kształcenie w zakresie podstawowym i rozszerzonym

**Podstawa programowa:**

Zakres podstawowy

Treści nauczania – wymagania szczegółowe

IV. Podziały komórkowe. Uczeń:

4) przedstawia znaczenie mitozy i mejozy w zachowaniu ciągłości życia na Ziemi;

Zakres rozszerzony

Treści nauczania – wymagania szczegółowe

IV. Podziały komórkowe. Uczeń:

4) opisuje przebieg kariokinezy podczas mitozy i mejozy;

7) przedstawia znaczenie mitozy i mejozy w zachowaniu ciągłości życia na Ziemi;

**Kształtowane kompetencje kluczowe:**

- kompetencje cyfrowe;

- kompetencje osobiste, społeczne i w zakresie umiejętności uczenia się;
- kompetencje matematyczne oraz kompetencje w zakresie nauk przyrodniczych, technologii i inżynierii.

### **Cele operacyjne (językiem ucznia):**

- Na podstawie schematów przeanalizujesz przebieg poszczególnych faz mejozy.
- Porównasz pierwszy i drugi podział mejotyczny.
- Wyjaśnisz znaczenie mejozy w zachowaniu ciągłości życia na Ziemi.

### **Strategie nauczania:**

- konstruktywizm;
- konektywizm.

### **Metody i techniki nauczania:**

- z użyciem komputera;
- rozmowa kierowana;
- ćwiczenia interaktywne;
- symulacja.

### **Formy pracy:**

- praca indywidualna;
- praca w parach;
- praca w grupach;
- praca całego zespołu klasowego.

### **Środki dydaktyczne:**

- komputery z głośnikami, słuchawkami i dostępem do internetu;
- zasoby multimedialne zawarte w e-materiale;
- tablica interaktywna/tablica, pisak/kreda.

## **Przebieg lekcji**

### **Faza wstępna:**

1. Nauczyciel pyta uczniów, jaki rodzaj podziału komórkowego poznali w swojej dotychczasowej edukacji. Uczniowie przypominają krótko przebieg mitozy.
2. Nauczyciel wprowadza uczniów w temat lekcji, nawiązując do zagadnień opisanych w tekście otwierającym e-materiał.
3. Uczniowie zapoznają się z tekstem w sekcji „Przeczytaj”, następnie nauczyciel pyta ich, czym różni się mitoza od mejozy. Uczniowie udzielają swobodnych odpowiedzi.
4. Prowadzący lekcję informuje uczniów o planowanym przebiegu lekcji i przedstawia kryteria sukcesu.

### **Faza realizacyjna:**

1. Nauczyciel wyświetla symulację interaktywną zawartą w e-materiale i prosi uczniów o scharakteryzowanie kolejnych etapów mejozy. Nauczyciel uzupełnia wypowiedzi uczniów. Uczniowie w parach wykonują polecenia odnoszące się do symulacji. Chętni odczytują swoje odpowiedzi na forum klasy, po czym następuje wspólne omówienie ich poprawności.
2. Nauczyciel dzieli uczniów na pięć grup pięcioosobowych lub sześć grup sześcioosobowych (liczba osób w zespole powinna być równa liczbie zespołów). Każda grupa na podstawie e-materiału przygotowuje zestaw pięciu (lub sześciu) pytań. Nauczyciel obserwuje pracę uczniów, w razie potrzeby służy pomocą. Zwraca uwagę, aby pytania były problemowe, a nie pamięciowe. Koryguje propozycje pytań skonstruowanych przez uczniów.
3. Nauczyciel tworzy nowe grupy w taki sposób, aby w każdej znalazła się jedna osoba z każdej poprzedniej grupy. Każdy członek nowego zespołu zadaje pytanie

przygotowane przez jego poprzedni zespół, pozostali odpowiadają na nie.

4. Uczniowie tworzą niewielkie, trzy- lub czteroosobowe zespoły i wykonują ćwiczenie nr 7 oraz ćwiczenie nr 8. Następnie wskazany zespół prezentuje przygotowane odpowiedzi. Klasa ocenia ich poprawność. Nauczyciel wyjaśnia ewentualne wątpliwości.
5. Uczniowie rozwiązują indywidualnie ćwiczenie interaktywne nr 4. Następnie przygotowują podobne zadanie (typu „prawda/fałsz”), dotyczące przebiegu mejozy, dla osoby z pary. Uczniowie wykonują ćwiczenie otrzymane od kolegi lub koleżanki.

### **Faza podsumowująca:**

1. Nauczyciel prosi uczniów, aby w grupach skonstruowali tabelę porównującą mitozę i mejozę.
2. Grupy prezentują wykonane przez siebie tabele.
3. Nauczyciel ocenia zaangażowanie uczniów podczas zajęć.

### **Praca domowa:**

Wykonaj ćwiczenia interaktywne od 1 do 3.

### **Materiały pomocnicze:**

- Neil A. Campbell i in., *Biologia Campbella*, tłum. K. Stobrawa i in., Rebis, Poznań 2019.
- *Encyklopedia szkolna. Biologia*, red. Marta Stęplewska, Robert Mitoraj, Wydawnictwo Zielona Sowa, Kraków 2006.

### **Wskazówki metodyczne opisujące różne zastosowania symulacji interaktywnej:**

Symulacja interaktywna może zostać wykorzystana w fazie podsumowującej lekcję. Można ją także wykorzystać na innych lekcjach traktujących o mejozie.