

Efekty ewolucyjne genów homeotycznych

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



Efekty ewolucyjne genów homeotycznych

Geny homeotyczne odpowiadają za wykształcanie się poszczególnych części ciała.
Źródło: Pixabay, domena publiczna.

Jak myślisz, co sprawia, że wszystkie osobniki danego gatunku są podobnie zbudowane? Dlaczego owady mają sześć odnóży krocnych, a człowiek lub kot cztery kończyny? Skąd rozwijający się organizm „wie”, gdzie powinny znajdować się poszczególne części ciała? Odpowiedzią na te pytania są **geny homeotyczne**, które warunkują wytworzenie się prawidłowej struktury ciała w trakcie rozwoju zarodkowego.

Twoje cele

- Wyjaśnisz pojęcie genów homeotycznych oraz ich znaczenie genetyczne.
- Opiszysz wpływ genów homeotycznych na wykształcanie się struktur ciała.
- Scharakteryzujesz homeoboks.

Przeczytaj

Geny homeotyczne

Rozwój morfogenetyczny osobnika jest zakodowany w określonej sekwencji genów zwanych **genami homeotycznymi** (inaczej homeoboksowymi). Są to niezwykle istotne geny, warunkujące wytworzenie prawidłowej budowy ciała wszystkich zwierząt. Kodują one białka, których działanie polega na włączaniu lub blokowaniu innych genów (czynniki transkrypcyjne).

Muszki owocówki



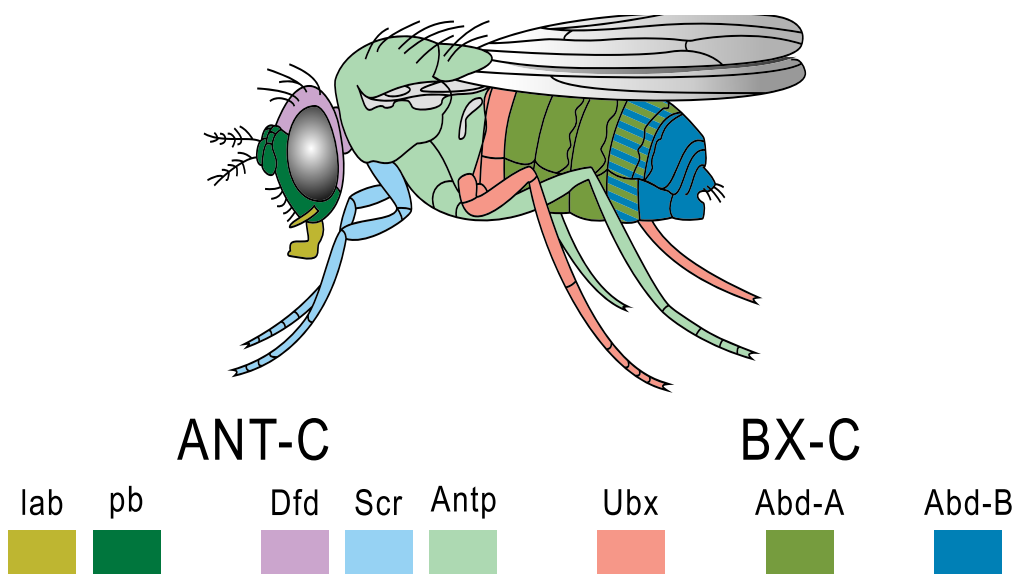
Wywilżna karłowata (*Drosophila melanogaster*), zwana muszką owocówką, z mutacją homeotyczną w postaci struktur przypominających odnóża w miejscu czułków.

Źródło: toony, Wikipedia Commons, licencja: CC BY-SA 3.0.

Geny homeotyczne odkryto w trakcie badań genomu muszki owocówki. Niewielka część badanych osobników miała różne wady rozwojowe, polegające na zaburzeniu prawidłowej struktury ciała, np. na głowie wyrastało odnóże zamiast czułka. Analiza genetyczna

wykazała wystąpienie specjalnego typu mutacji, zwanych **homeotycznymi**, w określonych sekwencjach genów.

Badania tego typu mutacji pozwoliły zlokalizować ok. **100 różnych genów** warunkujących przebieg rozwoju zarodkowego i wykształcenie prawidłowych części ciała. Geny te kodowały m.in. wyznaczenie symetrii grzbieto-brzuszej. Dalsze badania wykazały, że plan budowy osobnika muszki owocówki zostaje zdeterminowany już w stadium blastodermy, pierwszego dnia rozwoju! Odpowiedzialna jest za to aktywacja genów wyznaczających pozycję i organizację określonych segmentów ciała. Mutacje w obrębie tych genów zmieniały przydatki charakterystyczne dla danego segmentu ciała na przydatki innego segmentu (np. odnóża na czułki).



Geny homeotyczne kompleksu ANT-C i BX-C i odpowiadające im segmenty ciała muszki owocówki (*Drosophila melanogaster*).

Źródło: PhiLiP, Wikipedia Commons, domena publiczna.

Analiza różnych **genów homeotycznych** muszki owocówki wykazała, że zawierają one wysoce homologiczną sekwencję, obejmującą ok. **180 nukleotydów**. Sekwencja ta została nazwana **homeoboksem** (ang. **homeobox**). Jest ona bardzo konserwatywna ewolucyjnie (czyli jej sekwencja nie ulega dużym zmianom w ciągu ewolucji gatunkowej). Sekwencja homeoboksu koduje część cząsteczki białka (homeodomenę), która bezpośrednio łączy się ze wzmacniaczami regulowanych genów.

Homeoboks

Czy u innych organizmów również pojawia się sekwencja homeoboksu?

Zdecydowanie tak. Analizy genetyczne potwierdziły występowanie homeoboksu zarówno u roślin, jak i u innych zwierząt bezkręgowych i kręgowych. U człowieka zidentyfikowano ok. **30 genów** zawierających tę sekwencję i objęto je wspólną nazwą **genów Hox**. Są one podzielone na 4 grupy jako **kompleksy Hox**, umieszczone na różnych chromosomach. Analiza ich sekwencji wykazuje dużą homologię z genami muszki owocówki, zwłaszcza fragment kodujący **12 aminokwasów** tworzących homeodomenę. Bardzo istotna jest również kolejność ułożenia genów i lokalizacja ich aktywności wzdłuż osi ciała (geny zlokalizowane bliżej końca 5' DNA odpowiadają za powstawanie struktur tylnych części ciała).

Co dały nam badania nad muszką owocówką?

Czy geny HOX kodują ściśle określone struktury?

Czy geny HOX miały wpływ na ewolucję?

Podsumowanie

- Występowanie **genów homeotycznych** jest wspólną cechą wszystkich zwierząt.
- Produkty tych genów nazywamy **czynnikami transkrypcyjnymi**, mają one istotny wpływ na regulację aktywności innych genów.
- Geny homeotyczne, a zwłaszcza sekwencja **homeoboksu**, są bardzo konserwatywne ewolucyjnie i wspólne dla wielu zwierząt, zwłaszcza należących do jednego typu.
- Aktywność **genów homeotycznych** jest podobna, kieruje rozwojem zarodkowym w odległych od siebie gałęziach ewolucyjnych świata zwierzęcego.

Słownik

czynniki transkrypcyjne

białka regulujące aktywność genów na etapie inicjacji transkrypcji; wiążą się z określoną sekwencją DNA, zlokalizowaną w pobliżu miejsca rozpoczęcia transkrypcji; określenie stosowane głównie w odniesieniu do eukariontów, gdzie czynniki transkrypcyjne stanowią podstawowe elementy regulacji aktywności genów

geny homeotyczne

geny warunkujące wytworzenie prawidłowej struktury ciała wszystkich zwierząt, kierujące rozwojem zarodkowym; produktem tych genów są czynniki transkrypcyjne, których działalność polega na aktywacji lub blokowaniu innych genów

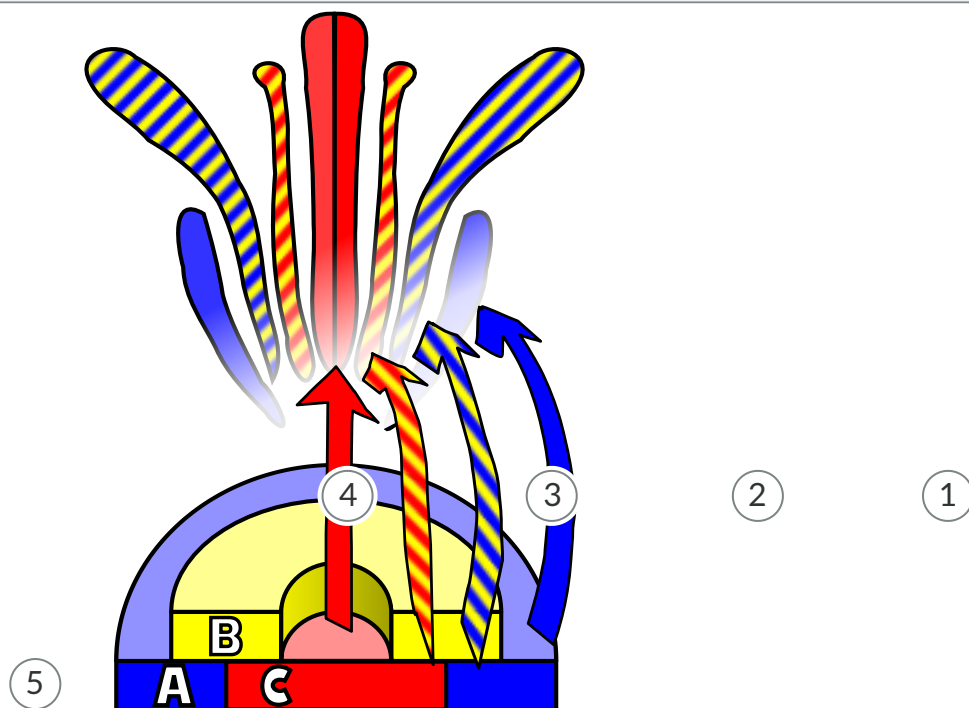
homeoboks

(ang. *homeobox*) sekwencja w obrębie genów homeotycznych, bardzo konserwatywna ewolucyjnie; w wyniku jej ekspresji powstaje część białka zwana homeodomeną, która bezpośrednio łączy się ze wzmacniaczami regulowanych genów

Grafika interaktywna

Polecenie 1

Przeanalizuj poniższą grafikę i porównaj ją z ekspresją genów homeotycznych u muszek owocówek.



1

Okótek działek kielicha

2

Okótek płatków

3

Okótek pręcików

4

Okółek owocolistków

5

Powstawanie mutacji

Ekspresja trzech klas genów (A,B i C) decyduje o położeniu poszczególnych okółków

Model ABC genów homeotycznych u roślin.

Źródło: Madprime, Wikipedia Commons, licencja: CC BY-SA 4.0.

Polecenie 2

Na podstawie powyższej grafiki określ, ekspresja jakich klas genów odpowiada za powstawanie: działek kielicha, płatków, pręcików i owocolistków.

Sprawdź się

Pokaż ćwiczenia:   

Ćwiczenie 1



Uzupełnij zdania tak, aby były spójne i logiczne. Trzy spośród podanych haseł nie pasują do żadnej z luk.

Zastanawiałeś się, dlaczego tak się dzieje, że wszystkie osobniki danego gatunku mają wspólne cechy? Oczywiście, odpowiadają za to , których pula jest charakterystyczna dla danego gatunku. Część genów jest jednak wspólna, również dla wyższych jednostek - podobne sekwencje możemy odnaleźć nawet u odległych grup zwierząt. Geny te nazywamy .

genowych

chromosomy

genami homologicznymi

ewolucyjnie

geny

genami homeotycznymi

taksonomicznych

Ćwiczenie 2



Dopasuj definicję do odpowiedniego pojęcia.

geny homeotyczne

grupa zawierająca geny Hox;
u człowieka występują cztery takie
kompleksy

homeoboks

geny warunkujące wytworzenie
prawidłowej struktury ciała wszystkich
zwierząt, kierujące rozwojem
zarodkowym; produktem tych genów są
czynniki transkrypcyjne, których
działalność polega na aktywacji lub
blokowaniu innych genów

czynniki transkrypcyjne

białka regulujące aktywność genów na
etapie inicjacji transkrypcji; wiążą się
z określoną sekwencją DNA
zlokalizowaną w pobliżu miejsca
rozpoczęcia transkrypcji; określenie
stosowane głównie w odniesieniu do
eukariontów, gdzie czynniki
transkrypcyjne stanowią podstawowe
elementy regulacji aktywności genów

kompleks Hox

sekwencja w obrębie genów
homeotycznych, bardzo
konserwatywna ewolucyjnie; w wyniku
jej ekspresji powstaje część białka
zwana homeodomeną, która
bezpośrednio łączy się ze
wzmacniaczami regulowanych genów

Ćwiczenie 3



Zaznacz wszystkie cechy genów homeotycznych.

U ssaków bardzo rzadko występują mutacje w genach homeotycznych.

Kontrolują wyznaczenie symetrii grzbieto-brzuszej.

U kręgowców nastąpiło zwielokrotnienie tych genów.

Występują tylko u kręgowców.

Kodowane przez nie białka są czynnikami transkrypcyjnymi.

Kodowane przez nie białka są czynnikami translacyjnymi.

Ćwiczenie 4



Oceń i zaznacz, czy podane stwierdzenia są prawdziwe czy fałszywe.

Stwierdzenie	Prawda	Fałsz
Czynniki transkrypcyjne stanowią podstawowe elementy regulacji aktywności genów.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Geny homeotyczne, z wyjątkiem sekwencji homeoboksu, są bardzo konserwatywne ewolucyjnie.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Produkty genów homeotycznych kierują rozwojem zarodkowym w odległych od siebie gałęziach ewolucyjnych świata zwierzęcego.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Ćwiczenie 5



Uzupełnij tekst, zaznaczając prawidłowe sformułowania spośród podanych propozycji.

Geny homeotyczne warunkują wytworzenie prawidłowej budowy ciała zwierząt. Kodują one białka, których działanie polega na włączaniu lub blokowaniu innych genów, czyli

czynników transkrypcyjnych

/ czynników regulacyjnych

. Geny homeotyczne

odkryto w trakcie badań genomu człowieka

/ muszki owocówki

. W badaniach tych wykazano również istnienie mutacji polegających na zamianie przydatków

charakterystycznych dla danego segmentu ciała na przydatki innego segmentu – tzw. mutacji

homeotycznych

/ homeoboksowych

. U ssaków rzadko występują mutanty

homeotyczne i z tego powodu bardzo

łatwe

/ trudne

było zlokalizowanie genów

homeotycznych.

Ćwiczenie 6



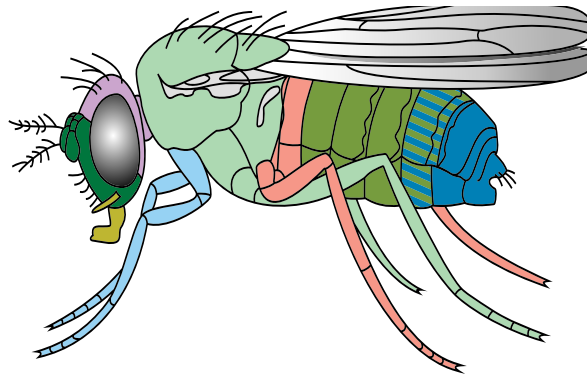
Na ilustracji przedstawiono mutanta wywilżny karłowatej (*Drosophila melanogaster*). Zaznacz wszystkie prawidłowe informacje dotyczące przedstawionego mutantu oraz całego gatunku *Drosophila melanogaster*.



- Przedstawiona mutacja obejmuje geny kodujące czynniki transkrypcyjne.
- Gatunek wywilżny karłowatej wykorzystywany jest w badaniach genetycznych.
- Mutant ma zaburzoną prawidłową strukturę ciała.
- Przedstawiona mutacja nie jest mutacją homeotyczną
- Plan budowy osobnika wywilżny karłowatej jest determinowany w stadium blastodermi.
- Drosophila melanogaster* należy do kręgowych organizmów modelowych

Źródło: toony, Wikipedia Commons, licencja: CC BY-SA 3.0.

Ćwiczenie 7



ANT-C

BX-C



Źródło: Wikipedia Commons, domena publiczna.

Na ilustracji przedstawiono geny homeotyczne kompleksu ANT-C i BX-C i odpowiadające im segmenty ciała muszki owocówki. Określ, który kompleks – ANT-C czy BX-C – znajduje się bliżej końca 5' DNA, a który bliżej końca 3' DNA. Uzasadnij odpowiedź.

Ćwiczenie 8



Edward B. Lewis już w latach 70. XX wieku wiązał ewolucję segmentacji stawonogów z ewolucją i ekspresją genów homeotycznych. Silna ekspresja normalnego, niezmutowanego genu *Antennapedia* zachodzi jedynie w trzech segmentach tułowia muchy i jest wyłączona zarówno w segmentach głowy jak i w segmentach odwłoka owada. Dlatego można było oczekiwać, że w tych grupach stawonogów, które posiadają więcej niż 3 pary odnóży krocnych, ekspresja genu *Antennapedia* będzie odpowiednio rozszerzona na większą liczbę segmentów. Od dawna uważano, że jednymi z najbardziej pierwotnych stawonogów są raki liścionogie, które posiadają 11 segmentów tak zwanego tułowia, zaopatrzonych w prymitywne liściowate odnóża. W 1995 roku, zgodnie z przedstawioną wyżej hipotezą wykazano, że ekspresja genu *Antennapedia* w zarodku raka liścionokiego *Artemia franciscana* występuje we wszystkich 11 segmentach, na których rozwijają się liściowate odnóża. Liczba 11 odpowiada sumie trzech segmentów tułowia i ośmiu segmentów odwłoka muchy. W ten sposób po raz pierwszy wykazano, że homologia segmentów stawonogów, wyznaczona dawno temu przez zoologów, jest zgodna z ekspresją tych genów, które determinują rozwój ich przydatków segmentalnych. Ekspresja genu *Antennapedia* muchy jest kontrolowana przez dwa inne geny homeotyczne: *Ultrabithorax (Ubx)* i *Abdomen A (Abd A)*, które podlegają silnej ekspresji w odwłoku, wyłączając transkrypcję genu *Ant*, co wykazano bezpośrednio w badaniach *in vitro*.

Źródło: Andrzej Kaczanowski, *Ewolucja istotnych cech budowy organizmu zwierzęcego. Uwagi dotyczące ewolucji programu rozwoju zwierząt i dziedzictwa genetycznego człowieka.*

Określ, od czego zależy liczba odnóży krocnych u stawonogów. Odpowiedź uzasadnij, bazując na przedstawionym fragmencie tekstu.

Dla nauczyciela

Autor: Anna Juwan

Przedmiot: Biologia

Temat: Efekty ewolucyjne genów homeotycznych

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

Podstawa programowa:

Zakres podstawowy

Treści nauczania – wymagania szczegółowe

IX. Ewolucja. Uczeń:

- 4) przedstawia rodzaje zmienności i wykazuje znaczenie zmienności genetycznej w procesie ewolucji;

Zakres rozszerzony

Treści nauczania – wymagania szczegółowe

XVI. Ewolucja. Uczeń:

- 4) przedstawia rodzaje zmienności i wykazuje znaczenie zmienności genetycznej w procesie ewolucji;

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):

- Wyjaśnisz pojęcie genów homeotycznych oraz ich znaczenie genetyczne.
- Opisziesz wpływ genów homeotycznych na wykształcanie się struktur ciała.
- Scharakteryzujesz homeoboks.

Strategie nauczania:

- konstruktywizm;

- konektywizm.

Metody i techniki nauczania:

- z użyciem komputera;
- ćwiczenia interaktywne;
- analiza grafiki interaktywnej;
- mapa myśli.

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. Uczniowie z pomocą nauczyciela formułują cele lekcji oraz określają kryteria sukcesu.
2. **Wprowadzenie do tematu.** Nauczyciel rozpoczyna pogadankę, zadając pytanie:
 - Dlaczego tak się dzieje, że wszystkie osobniki danego gatunku mają wspólne cechy?

Faza realizacyjna:

1. **Praca z tekstem.** Uczniowie indywidualnie zapoznają się z treścią w sekcji „Przeczytaj” i wynotowują najważniejsze kwestie poruszone w e-materiale. Jeśli nie padła poprawna odpowiedź na pytanie zadane przez nauczyciela we wstępnej fazie lekcji, szukają wyjaśnienia w tekście. Chętna osoba przedstawia odpowiedź na forum klasy.
2. **Mapa pojęć.** Uczniowie, pracując w parach, tworzą mapy pojęć związane z tematem lekcji i na podstawie treści z sekcji „Przeczytaj”.
3. **Praca z multimedium („Grafika interaktywna”).** Nauczyciel wyświetla grafikę interaktywną i wspólnie z uczniami dokonuje jej analizy. Prosi podopiecznych, by przeanalizowali poniższą grafikę i porównali ją z ekspresją genów homeotycznych u muszek owocowych (polecenie nr 1). Uczniowie, pracując w parach, formułują wyjaśnienie. Następnie ochotnicy przedstawiają swoje wyjaśnienia na forum klasy, a nauczyciel ocenia ich poprawność.

4. Uczniowie w parach analizują treść polecenia nr 2 („Na podstawie powyższej grafiki określ, ekspresja jakich klas genów odpowiada za powstawanie: działek kielicha, płatków, pręcików i owocolistków”), dyskutują, a następnie zapisują wnioski. Wybrane grupy omawiają swoje rozwiązanie i spostrzeżenia na forum klasy.
5. **Utrwalenie wiedzy i umiejętności.** Nauczyciel dzieli klasę na 4-osobowe grupy. Uczniowie rozwiązują ćwiczenia interaktywne od 5 do 7 z sekcji „Sprawdź się”, od najłatwiejszego do najtrudniejszego. Grupa, która poprawnie rozwiąże zadania jako pierwsza, wygrywa.

Faza podsumowująca:

1. Uczniowie rozwiązują ćwiczenie nr 4 (typu „prawda/fałsz”) z sekcji „Sprawdź się”. Następnie przygotowują podobne zadanie dla osoby z pary: tworzą trzy prawdziwe lub fałszywe zdania dotyczące tematu lekcji. Uczniowie wykonują ćwiczenie otrzymane od kolegi lub koleżanki.
2. Nauczyciel wyświetla temat lekcji i cele zawarte w sekcji „Wprowadzenie”, podsumowuje omawiany na lekcji materiał, wyjaśnia wątpliwości uczniów.

Praca domowa:

1. Wykonaj ćwiczenia od 1 do 3 oraz 8 z sekcji „Sprawdź się”.

Materiały pomocnicze:

- Jane B. Reece i in., „Biologia Campbella”, tłum. K. Stobrawa i in., Dom Wydawniczy REBIS, Poznań 2021.
- „Encyklopedia szkolna. Biologia”, red. Marta Stęplewska, Robert Mitoraj, Wydawnictwo Zielona Sowa, Kraków 2006.

Dodatkowe wskazówki metodyczne:

- Nauczyciel może wykorzystać medium zamieszczone w sekcji „Grafika interaktywna” do podsumowania lekcji.