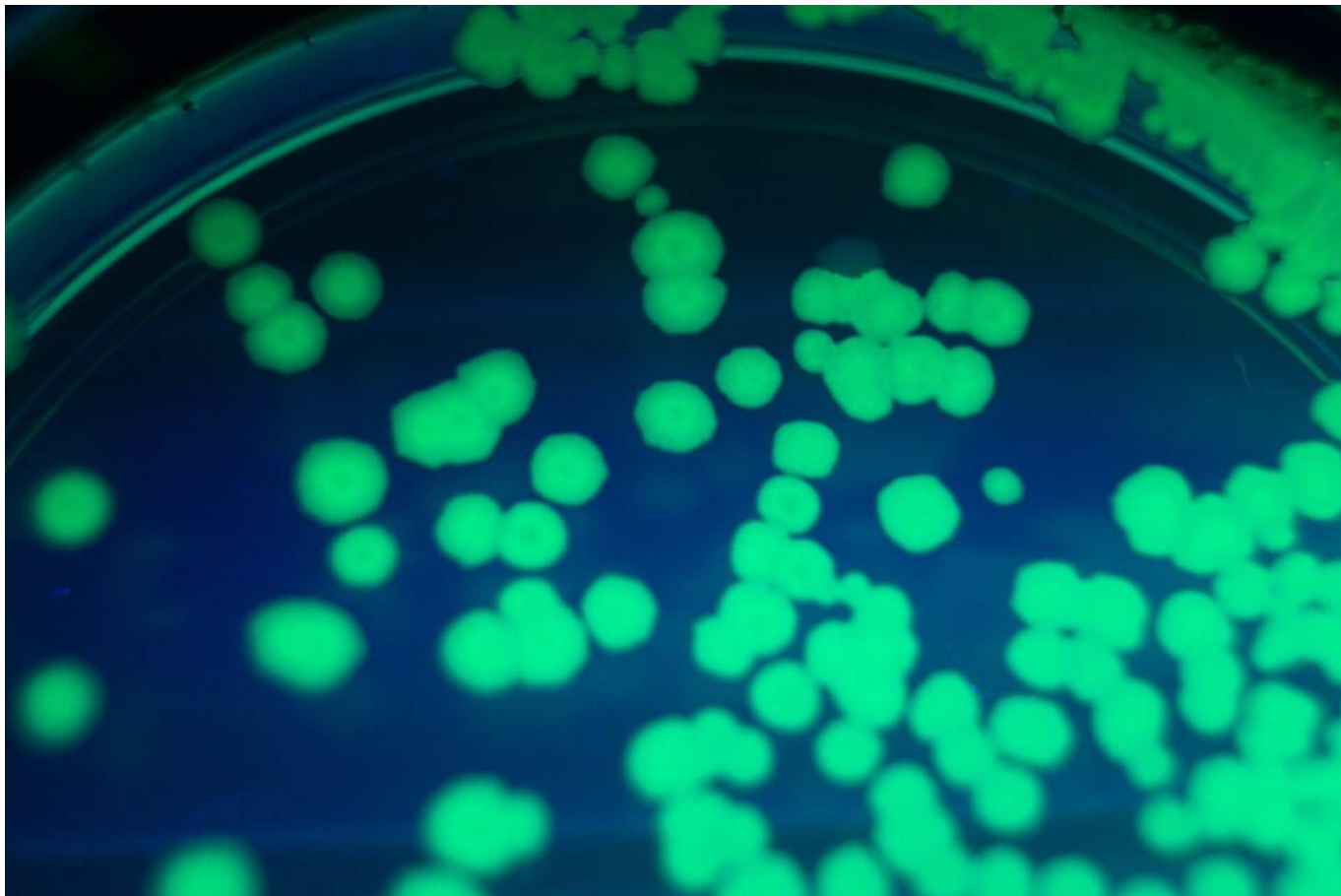
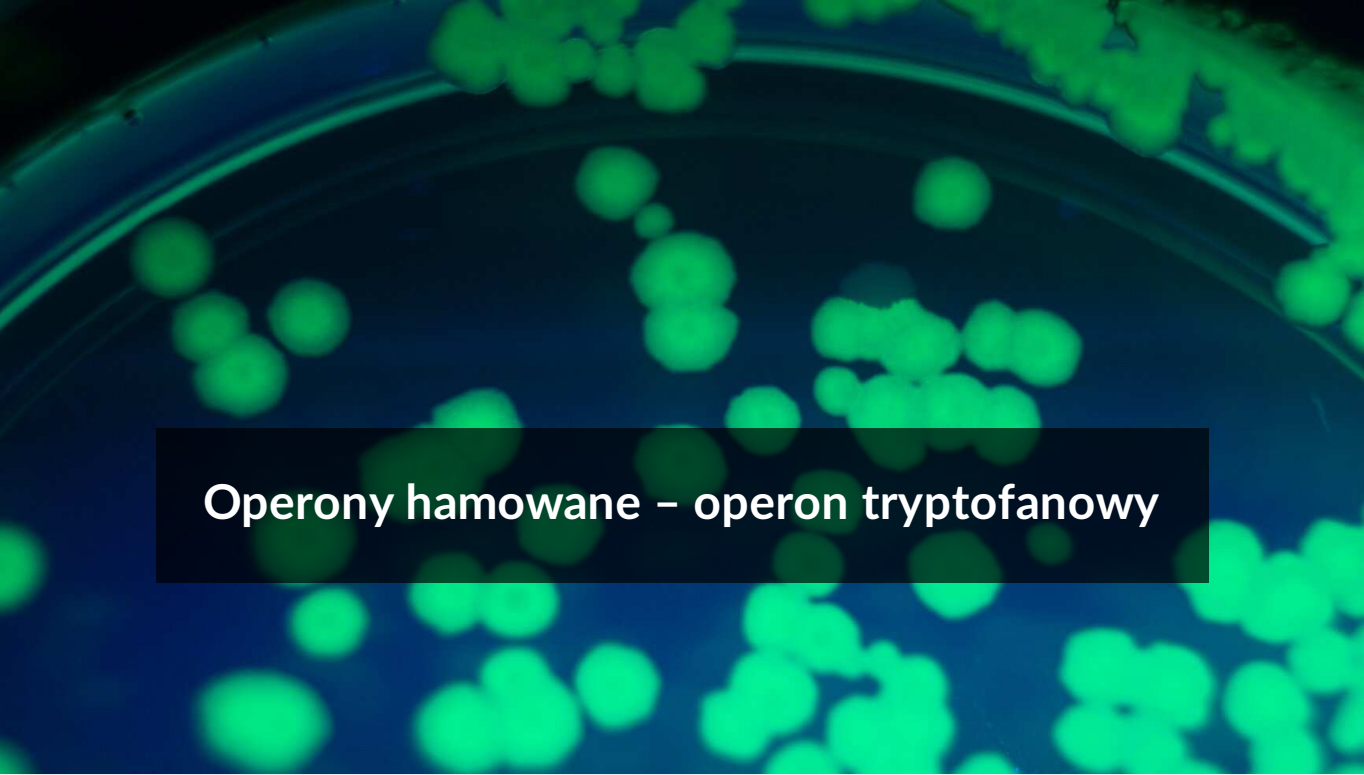




Operony hamowane – operon tryptofanowy

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

A photograph of a Petri dish containing a bacterial culture. The colonies of *Escherichia coli* are visible as numerous small, circular, white spots on a dark agar surface. The dish is slightly tilted, and the lighting creates a soft glow around the colonies.

Operony hamowane – operon tryptofanowy

Odkrycie operonów u bakterii pałeczki okrężnicy (*Escherichia coli*), która jest organizmem modelowym w badaniach nad bakteriami, było ogromnym osiągnięciem nauki, uhonorowanym w 1965 r. Nagrodą Nobla. Na zdjęciu kolonie modyfikowanej genetycznie bakterii *Escherichia coli* na szalce Petriego z podłożem stałym.

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

U bakterii występują operony indukowane, których geny kodują enzymy szlaków katabolicznych, oraz represorowe (hamowane) składające się z genów kodujących enzymy szlaków anabolicznych. Do operonów represorowych zalicza się operon tryptofanowy, który podlega regulacji negatywnej. Na czym polega jej mechanizm? W jakich sytuacjach występuje i co oznacza dla organizmu?

Twoje cele

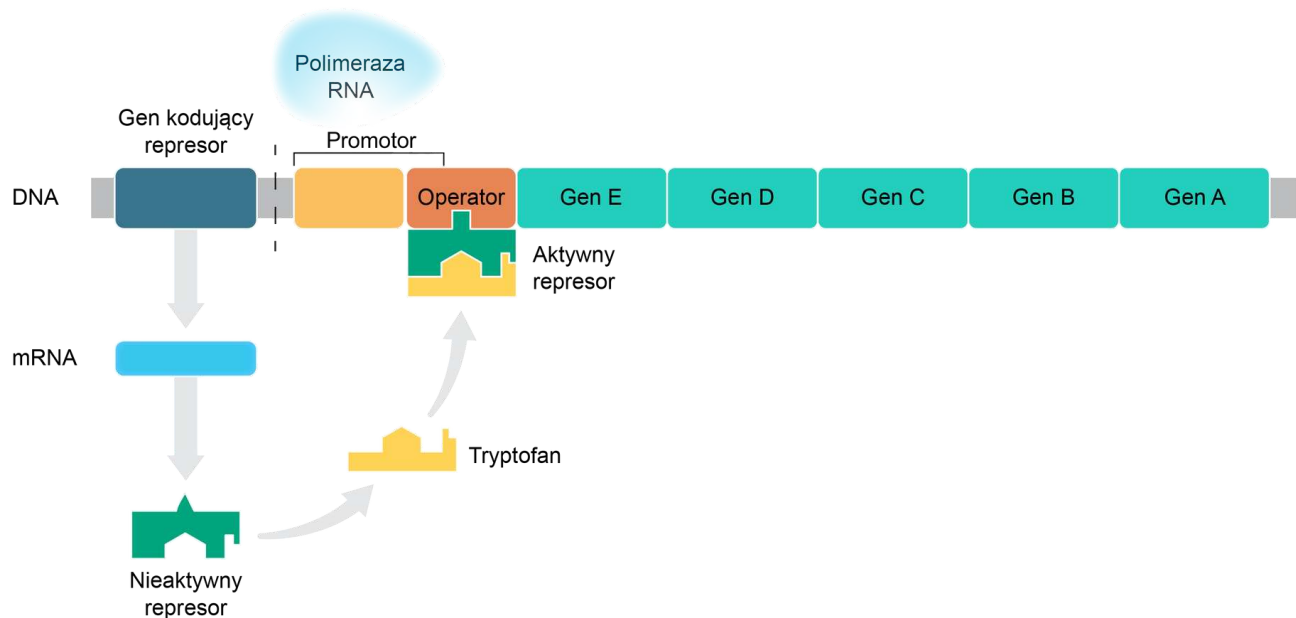
- Wyjaśnisz, na czym polega regulacja negatywna operonu.
- Opiszysz, kiedy operon tryptofanowy ulega aktywacji i dezaktywacji.
- Wyjaśnisz wpływ tryptofanu na regulację operonu tryptofanowego.

Negatywna kontrola operonu

Regulacja **operonu** tryptofanowego, podobnie jak w operonie laktozowym, zachodzi z udziałem **operatora** oraz regulatora pełniącego funkcję **represora**. Operony z negatywną kontrolą – czyli takie, jak tryptofanowy – są aktywne, dopóki nie zostaną wyłączone działaniem regulatora (represora **transkrypcji**). Innymi słowy, nieaktywny represor umożliwia ekspresję genów struktury kodujących określone białka enzymatyczne.

Obecność tryptofanu w otoczeniu

Tryptofan jest produktem szlaku biochemicznego katalizowanego przez pięć enzymów, które są kodowane przez geny podlegające wspólnej regulacji. Gdy aminokwas ten obecny jest w komórce, łączy się z nieaktywnym represorem (represor *trp*) powstającym w wyniku ekspresji genu kodującego represor, i aktywuje go. Aktywny represor wraz z tryptofanem, który pełni funkcję **korepresora**, przyłączają się do operatora i blokują dostęp polimerazy **RNA** do **promotora**. To oznacza, że operon tryptofanowy zostaje wyłączony. Niemożliwa jest transkrypcja genów operonu. W konsekwencji nie powstaną odpowiednie cząsteczki **mRNA** i nie dojdzie do biosyntezy białek enzymatycznych uczestniczących w szlaku syntezy tryptofanu.



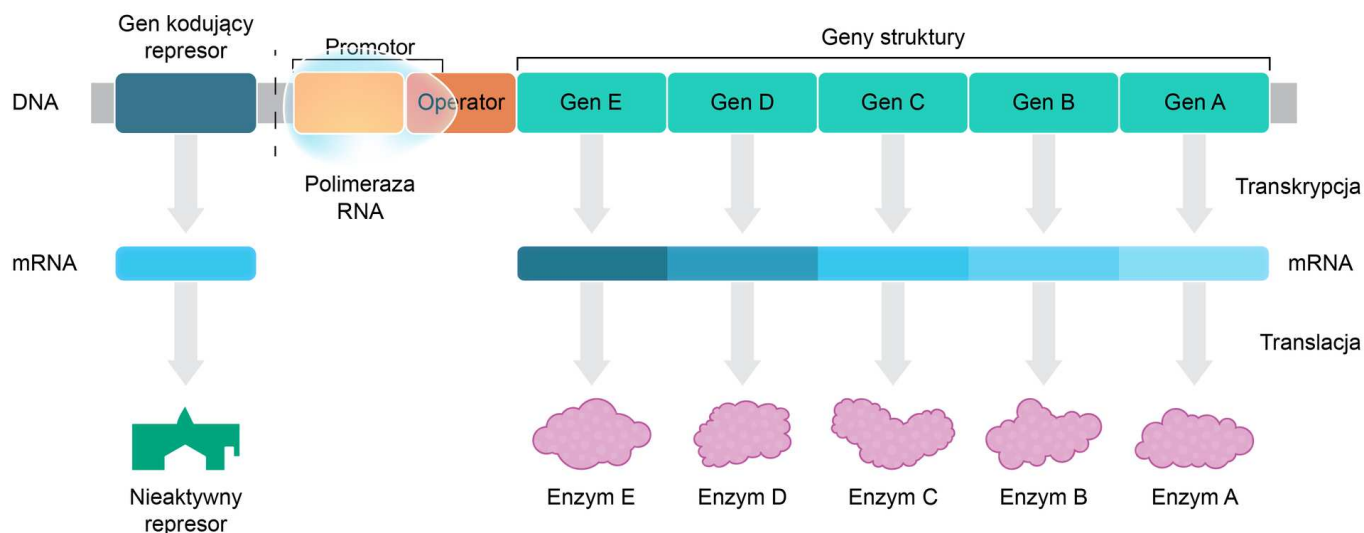
Jeśli tryptofan znajduje się w otoczeniu, operon tryptofanowy zostaje wyłączony.

Źródło: Englishsquare.pl sp. z o.o. (Na podstawie "Biologia na czasie 3. Podręcznik. Zakres rozszerzony"), licencja: CC BY-SA 3.0.

Kiedy brakuje tryptofanu

Gdy zmniejsza się stężenie tryptofanu w komórce, represor pozostaje nieaktywny. Zachodzi wówczas ekspresja genów kodujących enzymy szlaku syntezy tryptofanu. Polimeraza RNA przyłącza się do promotora i przeprowadza transkrypcję **genów struktury** operonu. W wyniku tego tworzą się enzymy szlaku biochemicznego, w którym powstaje tryptofan. Stężenie tego związku w komórce zwiększa się.

Należy pamiętać, że w komórce represor wytwarzany jest stale w niewielkiej ilości w formie nieaktywnej, niełączącej się z operatorem. Dzieje się tak ze względu na stałą ekspresję kodującego represor genu.



Na skutek braku tryptofanu w komórce operon tryptofanowy zostaje włączony.

Źródło: Englishsquare.pl sp. z o.o. (Na podstawie "Biologia na czasie 3. Podręcznik. Zakres rozszerzony"), licencja: CC BY-SA 3.0.

Dla zainteresowanych

Dla operonu tryptofanowego obserwuje się dodatkowy mechanizm regulacji – jego aktywność może opierać się na **atenuacji**, która zachodzi przy wysokim stężeniu tryptofanu. W przeciwieństwie do regulacji za pomocą represora, który hamuje proces inicjacji transkrypcji genów, proces atenuacji blokuje ukończenie syntezy powstającego mRNA oraz prowadzi do terminacji translacji.

Proces atenuacji operonu tryptofanowego możliwy jest dzięki obecności sekwencji atenuatora. Fragment ten pozwala na utworzenie różnych struktur drugorzędowych RNA. Tworzą się struktury „spinki do włosów”, które biorą udział w regulacji zachodzenia transkrypcji mRNA.

Kiedy zaczyna się transkrypcja operonu, rybosom wiąże się do powstającego transkryptu i rozpoczyna translację sekwencji liderowej. Sekwencja ta koduje polipeptyd, w skład którego wchodzi dwie reszty tryptofanowe. Jeśli tryptofan jest obecny w komórce, tRNA transportujące ten związek zostaje szybko dostarczone do rybosomu – do końca sekwencji liderowej proces translacji zachodzi niezwłocznie i rybosom odłącza się od mRNA po syntezie tego peptydu. W obrębie sekwencji atenuatora tworzy się odpowiednia „spinka do włosów”, co powoduje terminację translacji mRNA operonu.

W przypadku niedoboru tryptofanu rybosom zatrzymuje się na sekwencji liderowej. Jeśli jej translacja zachodzi powoli, w obrębie sekwencji atenuatora powstaje inna struktura „spinki do włosów”, która nie blokuje translacji genów struktury.

Słownik

atenuacja

mechanizm ograniczający ekspresję operonu trp w warunkach wysokiego stężenia tryptofanu, poprzez blokowanie zakończenia transkrypcji

geny struktury

geny zawierające informację o syntezie określonych białek enzymatycznych

korepresor

mała cząsteczka, która wiąże się z białkowym represorem bakteryjnym, zmieniając jego kształt, przez co umożliwia włączenie wyłączonego operonu

mRNA

makrocząsteczki mRNA powstają (przy udziale polimerazy RNA) jako komplementarne kopie poszczególnych odcinków kwasu deoksyrybonukleinowego (DNA) odpowiadających określonym genom (transkrypcja) i zawierają tę samą co DNA informację genetyczną; w procesie translacji mRNA stanowi matrycę, na której przy udziale wielu innych czynników komórkowych aminokwasy są łączone w odpowiedniej kolejności w cząsteczkę białka (biosynteza białka) – w ten sposób informacja genetyczna zawarta w DNA zostaje „przetłumaczona” na sekwencję aminokwasów w białku

operator

sekwencja DNA w operonie regulująca aktywność genów struktury, do której wiąże się białko regulatorowe (aktywator lub represor)

operon

specyficzna i powszechna u bakterii strukturalna i funkcjonalna jednostka genomu zawierająca od dwóch do kilku kolejno ułożonych genów strukturalnych kodujących enzymy jednego szlaku metabolicznego oraz, położone bezpośrednio przed genami, sekwencje operatora i promotora kontrolujące ich aktywność transkrypcyjną; termin *operon* wprowadzili do genetyki w 1961 r. François Jacob i Jacques Monod, odkrywcy mechanizmu jego regulacji

promotor

odcinek DNA zawierający sekwencje rozpoznawane przez polimerazę RNA zależną od DNA

represor

białko regulacyjne wiążące się z określoną sekwencją DNA w operatorze i hamujące proces transkrypcji genów; represor uniemożliwia przyłączanie się polimerazy RNA do promotora

RNA

kwasy rybonukleinowe będące składnikami licznych elementów komórki: jądra, mitochondriów, rybosomów i cytoplazmy. Zawartość kwasu rybonukleinowego jest szczególnie duża w komórkach, w których zachodzi intensywna biosynteza białka.

transkrypcja

proces syntezy RNA, podczas którego na matrycy DNA syntetyzowana jest komplementarna nić RNA

tryptofan

aromatyczny aminokwas; należy do aminokwasów niezbędnych (które nie mogą być syntetyzowane w organizmie człowieka i muszą być dostarczane z pożywieniem)

Symulacja interaktywna

Symulacja 1

Aby zaobserwować działanie operonu tryptofanowego, umieść podane elementy w odpowiednich miejscach.



Zasób interaktywny dostępny pod adresem <https://zpe.gov.pl/a/D8tAoZqoA>

Działanie operonu tryptofanowego.

Źródło: Englishsquare.pl Sp. z o.o., licencja: CC BY-SA 3.0.

Polecenie 1

Przeanalizuj symulację interaktywną i wyjaśnij działanie operonu tryptofanowego.

Polecenie 2

Dokończ zdanie. Operon tryptofanowy podlega regulacji:

☐ negatywnej,

☐ pozytywnej,

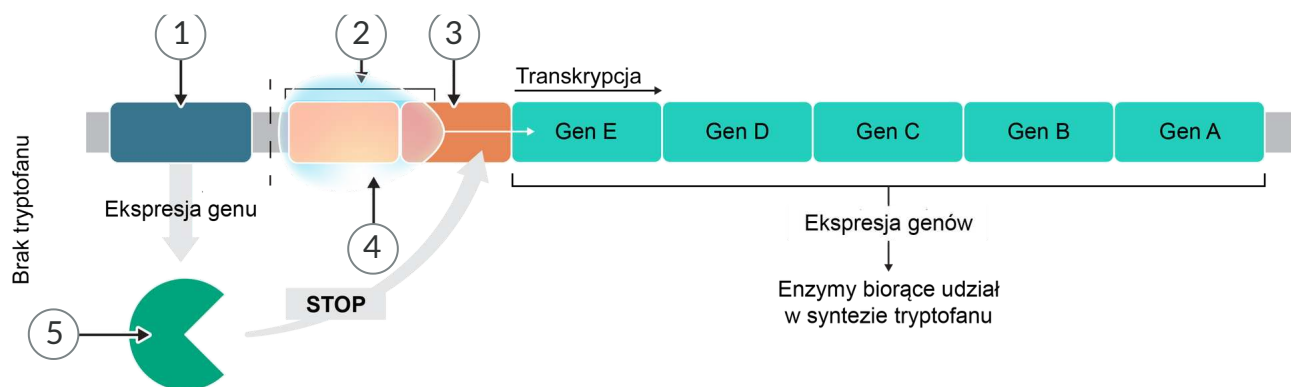
a cząsteczka tryptofanu pełni w operonie funkcje:

☐ korepresora.

☐ induktora.

Grafika interaktywna

Operon tryptofanowy – sposób działania



1

gen kodujący represor

2

promotor

3

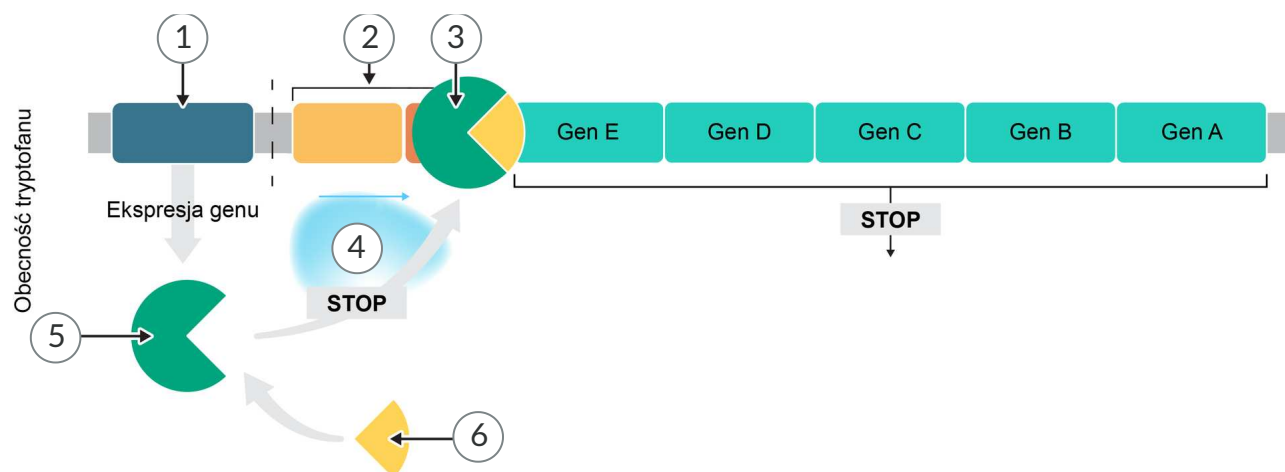
operator

4

polimeraza RNA

5

nieaktywny represor



1

gen kodujący represor

2

promotor

3

operator z aktywnym represorem

4

polimeraza RNA

5

nieaktywny represor

6

tryptofan

Polecenie 1



U którego z organizmów obecny jest operon tryptofanowy? Zaznacz poprawną odpowiedź.

☐ u *Caenorhabditis elegans*

☐ u *Drosophila melanogaster*

☐ u *Nepa nicerea*

☐ u *Escherichia coli*

Polecenie 2



Dokończ podane zdanie.

Operon tryptofanowy składa się z .

promotora, operatora i trzech genów struktury

promotora, represora i trzech genów struktury

promotora, represora i pięciu genów struktury

promotora, operatora i pięciu genów struktury

Polecenie 3



Wskaż zdania prawdziwe i fałszywe.

Stwierdzenie	Prawda	Fałsz
Operon tryptofanowy podlega regulacji negatywnej.	☐	☐
Regulacja operonu tryptofanowego opiera się na systemie represor-operator i przypomina tę, która jest obecna w operonie laktozowym.	☐	☐
Cząsteczka tryptofanu pełni w operonie tryptofanowym funkcję korepresora.	☐	☐
Gdy w komórce jest niewiele tryptofanu, represor <i>trp</i> jest aktywny.	☐	☐

Polecenie 4



Przeanalizuj grafikę interaktywną i wyjaśnij sposób działania operonu tryptofanowego, gdy w komórce bakterii będzie znajdować się duża ilość tryptofanu.

Polecenie 5



Określ, czy operon tryptofanowy jest przykładem operonu indukowanego, czy represorowego. Uzasadnij swoją odpowiedź.

Dla nauczyciela

Autor: Anna Juwan

Przedmiot: Biologia

Temat: Operony hamowane – operon tryptofanowy

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

Podstawa programowa:

Zakres rozszerzony

Treści nauczania – wymagania szczegółowe

XIII. Ekspresja informacji genetycznej. Uczeń:

8) przedstawia na przykładzie operonu laktozowego i tryptofanowego regulację ekspresji informacji genetycznej u organizmów prokariotycznych;

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, na czym polega regulacja negatywna operonu.
- Opiszysz, kiedy operon tryptofanowy ulega aktywacji i dezaktywacji.
- Wyjaśnisz wpływ tryptofanu na regulację operonu tryptofanowego.

Strategie nauczania:

- konstruktywizm;
- konektywizm.

Metody i techniki nauczania:

- z użyciem komputera;
- rozmowa kierowana;
- ćwiczenia interaktywne;
- symulacja;
- analiza grafiki interaktywnej;

- metoda kuli śniegowej.

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 wyświetla na tablicy temat lekcji oraz cele zajęć, omawiając lub ustalając razem z uczniami kryteria sukcesu.
2. **Rozmowa wprowadzająca.** Nauczyciel, odwołując się do wiedzy uczniów zdobytej na wcześniejszych zajęciach, zadaje pytania:
 - Czym jest operon? Jakie pełni funkcje?
 - Jakie są różnice między regulacją negatywną a regulacją pozytywną operonu?

Faza realizacyjna:

1. **Praca z tekstem.** Uczniowie przystępują do cichego czytania tekstu zawartego w sekcji „Przeczytaj” i zapisują pięć najważniejszych ich zdaniem kwestii poruszanych w tekście. Następnie w parach porównują swoje wybory. Nauczyciel prosi wybrane pary o podsumowanie swojej pracy.
2. **Praca z multimedium („Symulacja interaktywna”).** Nauczyciel wyświetla symulację interaktywną i wspólnie z uczniami dokonuje jej analizy. Prosi podopiecznych, by pracując w parach, sformułowali wyjaśnienie, jak działa operon tryptofanowy (polecenie nr 1). Następnie uczniowie konsultują swoje rozwiązania z inną, najbliższą siedzącą parą.
3. **Praca z drugim multimedium („Grafika interaktywna”) – kula śniegowa.** Uczniowie zapoznają się z grafiką interaktywną i rozwiązują odnoszące się do niej polecenia, pracując metodą kuli śniegowej. Nauczyciel objaśnia wspomnianą wyżej metodę i wynikające z niej kolejne etapy pracy:
 - 1) najpierw uczniowie będą indywidualnie opracowywać odpowiedzi na zadane pytania;
 - 2) potem połączą się w pary i porównają swoje propozycje, a na osobnej kartce zapiszą wspólne odpowiedzi;

- 3) kolejnym krokiem będzie połączenie się par w czwórki, które – jak poprzednio – skonfrontują swoje odpowiedzi;
- 4) na koniec uczniowie utworzą 8-osobowe zespoły i znów porównają swoje propozycje.

Faza podsumowująca:

1. Na koniec zajęć nauczyciel raz jeszcze wyświetla na tablicy interaktywnej lub przy użyciu rzutnika temat lekcji i cele zawarte w sekcji „Wprowadzenie”. W kontekście wyświetlonych treści prosi uczniów o rozwinięcie zdania: „Na dzisiejszej lekcji nauczyłem/nauczyłam się...”.

Praca domowa:

1. Wykonaj polecenie nr 2 z sekcji „Symulacja interaktywna”.

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 „Symulacja interaktywna” na lekcji „Struktura i sposoby regulacji operonów prokariotycznych”.