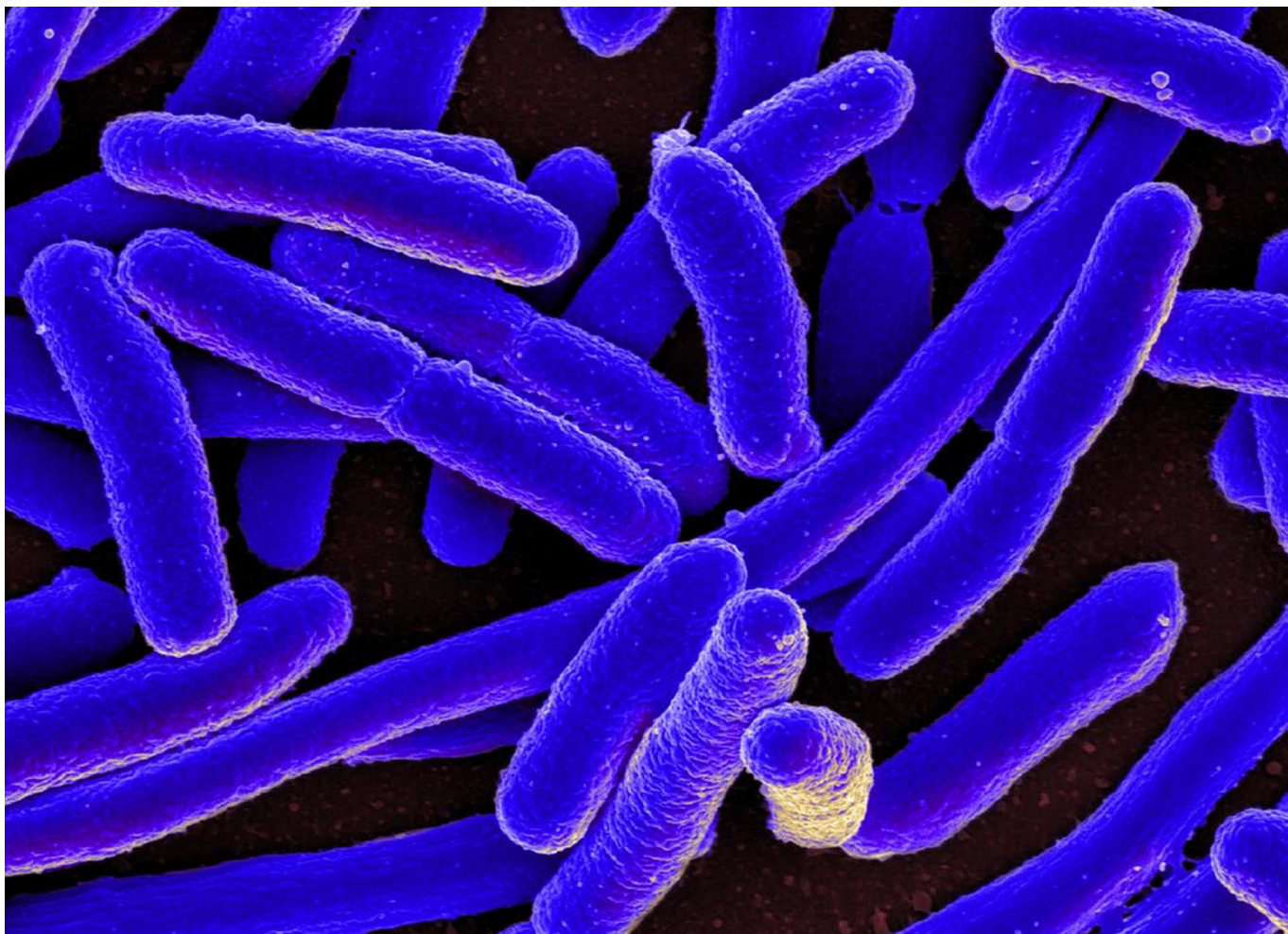




Struktura i sposoby regulacji operonów prokariotycznych

- [Wprowadzenie](#)
- [Przeczytaj](#)
- [Gra edukacyjna](#)
- [Sprawdź się](#)
- [Dla nauczyciela](#)



Struktura i sposoby regulacji operonów prokariotycznych

Bakteria *Escherichia coli* – obraz mikroskopowy. U bakterii tej występują dwa podstawowe rodzaje operonów: operon laktozowy oraz operon tryptofanowy. Pierwszy z nich odkryli i opisali w 1961 r. francuscy uczeni François Jacob i Jacques Monod. To właśnie oni wprowadzili wówczas do genetyki pojęcie operonu.

Źródło: Flickr, licencja: CC BY 2.0.

Przeżycie bakterii zależy od ich możliwości dostosowania się do zmiennych warunków środowiska. Zmiany te wpływają na aktywność niektórych genów, w wyniku czego dochodzi do ich ekspresji. W rezultacie zmienia się funkcja komórki bakteryjnej. Pierwszym etapem ekspresji informacji genetycznej jest „przepisanie” jej z DNA na mRNA, czyli transkrypcja. Następnie zachodzi translacja, która polega na syntezie łańcucha polipeptydowego w oparciu o kolejność nukleotydów w mRNA. Odkryto, że geny bakterii skupione są w zespoły, które podlegają wspólnej regulacji. Nazwano je operonami.

Twoje cele

- Poznasz budowę operonu.
- Przeanalizujesz różnice między regulacją negatywną a regulacją pozytywną operonu.
- Porównasz funkcjonowanie operonów laktozowego i tryptofanowego.

Operon i jego ekspresja

Termin **operon** wprowadzili do genetyki w 1961 r. François Jacob i Jacques Monod, odkrywcy mechanizmu jego regulacji. Pierwszym z odkrytych operonów był operon laktozowy bakterii *Escherichia coli*.



Jacques Monod.

Źródło: Wikimedia Commons, domena publiczna.

Operon jest specyficzną, powszechną u bakterii strukturalną i funkcjonalną jednostką **genomu** bakteryjnego. Zawiera od dwóch do kilku kolejno ułożonych **genów struktury** kodujących enzymy jednego szlaku metabolicznego oraz, położone bezpośrednio przed genami, sekwencje **operatora** i **promotora** kontrolujące ich aktywność **transkrypcyjną**.

Ekspresja operonu nadzorowana jest przez **gen regulatorowy**, położony często w znacznym oddaleniu od kontrolowanego operonu. Koduje on cząsteczkę białka regulatorowego - **represora** lub **aktywatora** - łączącego się z sekwencją operatora. Należy pamiętać, że sekwencja genów struktury operonu jest transkrybowana jako jedna cząsteczka matrycowego RNA (mRNA). W wyniku translacji dochodzi jednak do powstania wielu polipeptydów.

Operon – jednostka transkrypcyjna

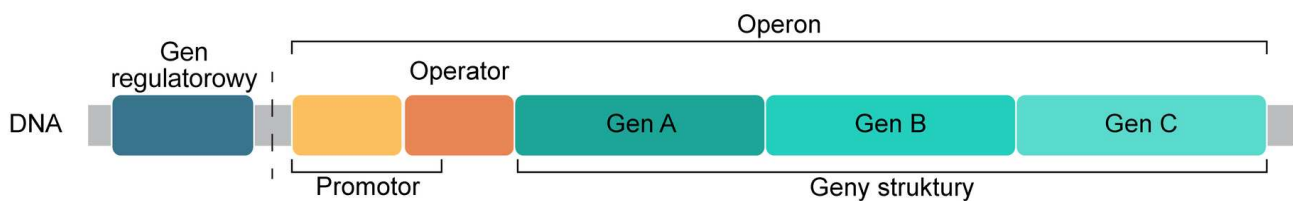
Podstawowy sposób kontroli ekspresji informacji genetycznej w komórkach prokariotycznych opisywany jest modelem **operonu**. W ściśle określonym momencie w komórce bakteryjnej zostają zsyntetyzowane jedynie te produkty genów, które są niezbędne dla jej funkcjonowania. Operon to jednostka **transkrypcyjna**. Jest fragmentem

helisy DNA, który zawiera geny leżące obok siebie i wspólnie transkrybowane oraz odcinki DNA niekodujące białek:

- **promotor**, czyli miejsce przyłączenia do DNA polimerazy RNA, wspólne dla wszystkich genów transkrybowanych przez polimerazę RNA;
- **operator**, do którego przyłącza się białko regulatorowe, które kontroluje dostęp polimerazy RNA do genów.

Przed promotorem znajduje się **regulator** – gen regulatorowy kodujący białko regulatorowe, które może łączyć się z operatorem i hamować transkrypcję genów struktury. Gen regulatorowy nie stanowi strukturalnej części operonu i zlokalizowany jest w oddali od kontrolowanego operonu.

Kolejną częścią operonu są **geny struktury**, które kodują białka będące najczęściej kolejnymi enzymami określonego szlaku metabolicznego, np. syntezy lub rozkładu jakiegoś związku.



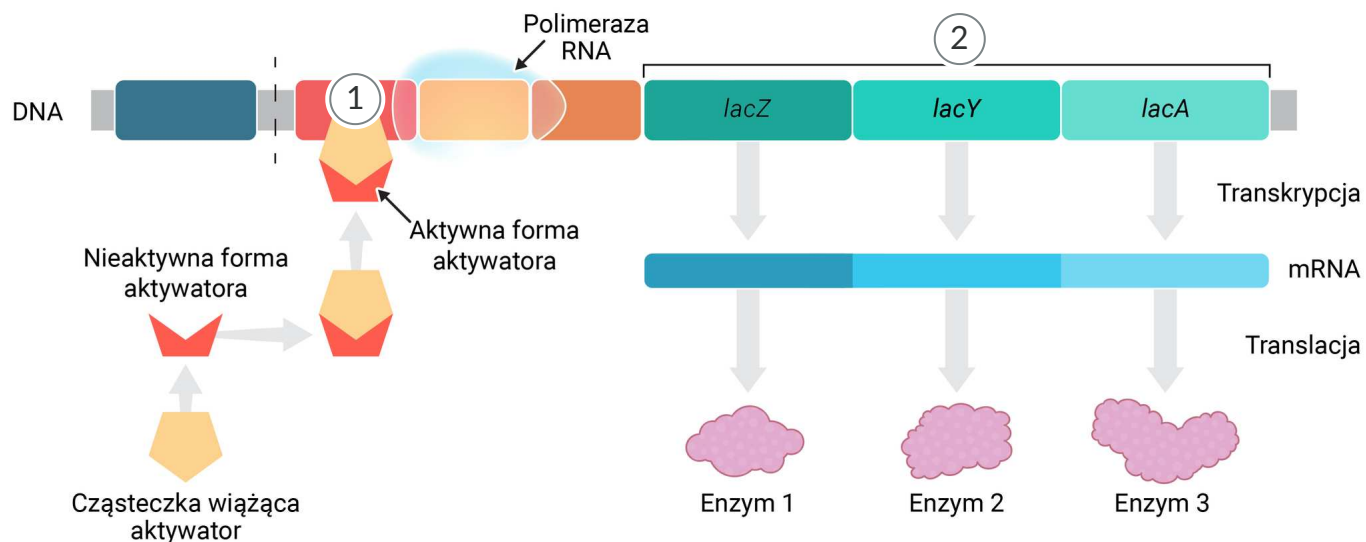
Schemat operonu prokariotycznego. Gen regulatora nie wchodzi w skład struktury operonu, lecz stanowi jego element kontrolny. Przerywana linia między genem regulatora i promotorem oznacza, że dane sekwencje są od siebie oddalone, a elementy genomu pomiędzy nimi są pominięte na potrzeby schematu.

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

Pozytywna i negatywna regulacja działania operonów

Regulacja działania operonów może przebiegać dwójako. Wyróżniamy regulację pozytywną i negatywną.

W przebiegu **regulacji pozytywnej** białko regulatorowe (**aktywator**) włącza operon, umożliwiając ekspresję informacji genetycznej genów struktury.



1

Miejsce wiązania aktywatora

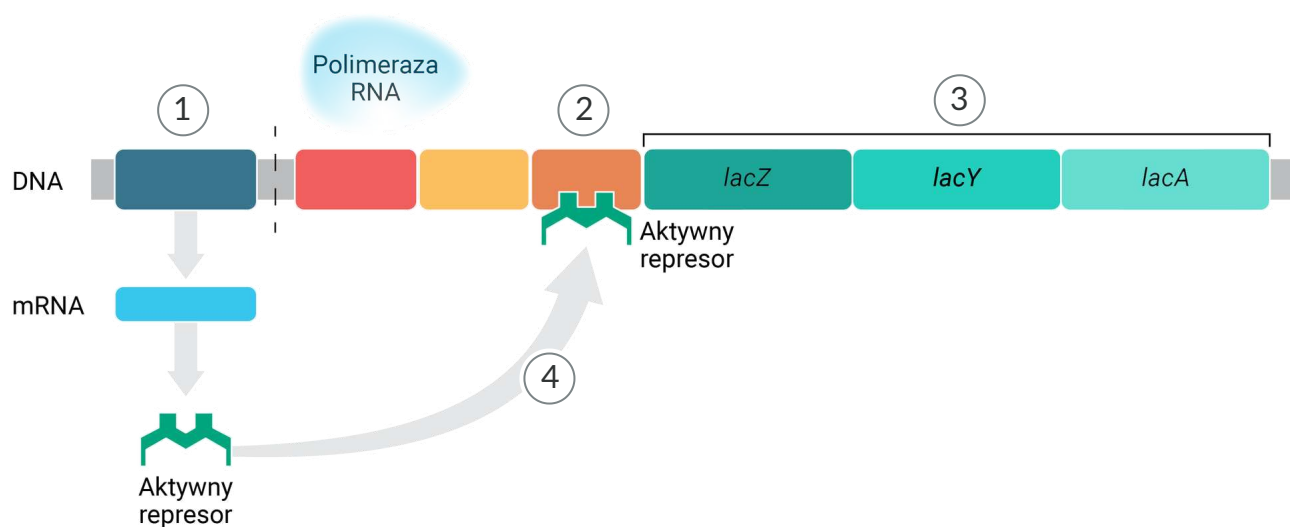
2

Geny struktury – warunkujące transport i rozkład laktozy

Włączenie operonu laktozowego – regulacja pozytywna. Aktywny aktywator łączy się z promotorem i ułatwia związanie polimerazy RNA i transkrypcję genów struktury.

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

Przy **negatywnej regulacji** białko regulatorowe (**represor**) wyłącza operon i nie następuje ekspresja genów strukturalnych.



1

2

Operator – miejsce wiązania represora

3

Geny struktury – warunkujące transport i rozkład laktozy

4

Ekspresja genu kodującego represor zachodzi ciągle na niskim poziomie, więc w komórce stale jest obecna niewielka ilość represora.

Wyłączenie operonu laktozowego – regulacja negatywna. Aktywny represor pozostaje związany do operatora, przez co uniemożliwia wiązanie polimerazy RNA i rozpoczęcie transkrypcji genów struktury.

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

Rodzaje operonów

Możemy wyróżnić dwa rodzaje operonów:

Operony indukowane, których geny kodują enzymy szlaków katabolicznych. Ekspresja genów tego szlaku kontrolowana jest przez substrat danego szlaku. Przykładem jest operon laktozowy.

1

2

Operony represorowe (hamowane) składają się z genów kodujących enzymy szlaków

anabolicznych. Ekspresję genów kontroluje produkt końcowy szlaku. Przykładem jest operon tryptofanowy.

Działanie operonu indukowanego na przykładzie operonu laktozowego

Operon laktozowy pozwala bakteriom wytwarzać enzymy w ilości adekwatnej do stężenia glukozy i laktozy w otoczeniu. Zawiera on trzy geny struktury kodujące enzymy, które umożliwiają transport laktozy do komórki i jej rozkład do cukrów prostych. Geny te zostały nazwane *lacZ*, *lacY*, *lacA*. Podstawowym źródłem energii wykorzystywanym przez bakterie jest glukoza, która jest substratem oddychania komórkowego. Aby mogła zostać nim laktoza musi ona zostać rozłożona do cukrów prostych (glukozy i galaktozy) przy udziale enzymów. Jeżeli glukoza z otoczenia zostanie zużyta, a pozostanie laktoza, komórka włączy operon, laktoza zostanie przeniesiona do jej wnętrza, a powstające enzymy rozpoczną jej [hydrolizę](#). Jeżeli w środowisku bakterii znajdzie się zarówno glukoza, jak i laktoza, to pierwsza zostanie wykorzystana glukoza (przy wyłączonym operonie laktozowym), a jako druga laktoza.

Jak wygląda działanie operonu laktozowego w przypadku braku laktozy i obecności glukozy w środowisku?

Pozostaje on wyłączony i może ulegać zarówno regulacji negatywnej, jak i pozytywnej. W tym przypadku regulacja negatywna odbywa się dzięki obecności represora. Gdy nie ma laktozy, białka represora są stale, w niewielkich stężeniach, obecne w komórce w formie aktywnej. Aktywny represor wiąże się z operatorem operonu, blokując możliwość przyłączenia polimerazy RNA do promotora (dzieje się tak dlatego, że pierwsze sekwencje operatora są ostatnimi sekwencjami promotora).

Regulacja pozytywna jest możliwa dzięki wytworzeniu nieaktywnego aktywatora. Przy wyższych stężeniach glukozy brak laktozy powoduje, że aktywator wytwarzany w formie nieaktywnej nie może połączyć się z promotorem w miejscu wiązania aktywatora. Uniemożliwia to wiązanie polimerazy RNA i transkrypcję genów warunkujących metabolizm laktozy.

Operon laktozowy zostaje włączony w obecności laktozy. Podlega także regulacji negatywnej i pozytywnej.

Regulacja negatywna

Regulacja negatywna operonu w obecności laktozy w podłożu, na którym żyją bakterie, następuje na skutek przekształcenia aktywnego represora w formę nieaktywną po jego połączeniu się z laktozą. Wówczas nie może on się połączyć z operatorem w operonie. W rezultacie miejsce wiązania polimerazy zostaje odsłonięte i rozpoczyna się transkrypcja genów struktury kodujących informację o enzymach, które odpowiadają za transport i rozkład laktozy.

Regulacja pozytywna

Regulacja pozytywna zachodzi w przypadku spadającego stężenia glukozy w komórce. Aktywowany aktywator łączy się z promotorem w miejscu wiązania aktywatora. Ułatwia to przyłączenie do operatora polimerazy RNA i rozpoczęcie ekspresji genów kodujących enzymy szlaku przekształcania laktozy. Więcej informacji o operonie laktozowym znajdziesz w materiale: Operony indukowane – operon laktozowy.

Działanie operonu represorowego na przykładzie operonu tryptofanowego

Operon tryptofanowy, będący przykładem operonu represorowego (hamowanego), zawiera geny enzymów szlaku syntezy tryptofanu. W operonie tym występuje pięć genów struktury, o dwa więcej, niż w operonie laktozowym. Operon ten jest włączany w przypadku spadku stężenia **tryptofanu** w komórce. Jeżeli w środowisku znajduje się tryptofan, to szlak jego syntezy zostaje wyłączony.

Obecny w komórce tryptofan wiąże się z nieaktywnym represorem, aktywując go. Tryptofan staje się w tym momencie **korepresorem**. Aktywny, połączony z korepresorem represor blokuje transkrypcję genów struktury na skutek przyłączenia się do operatora. Uniemożliwia tym samym polimerazie RNA dostęp do promotora. W konsekwencji nie zachodzi ekspresja genów kodujących informację o enzymach szlaku syntezy tryptofanu.

Represor w komórce bakterii jest wytwarzany w formie nieaktywnej i taki pozostaje, gdy w komórce nie ma tryptofanu. W takiej sytuacji promotor pozostaje odsłonięty i nie utrudnia polimerazie RNA dostępu do genów struktury. Może zachodzić ich ekspresja na drodze transkrypcji, a następnie translacji. Dzięki temu powstają enzymy szlaku syntezy tryptofanu.

Ważne!

Regulacja negatywna występuje zarówno w przypadku operonu laktozowego, jak i tryptofanowego. W przypadku operonu tryptofanowego represor jest wydzielany w formie nieaktywnej i dopiero obecność tryptofanu aktywuje go do wyłączenia operonu. W działaniu operonu laktozowego represor od razu jest wydzielany w formie aktywnej i wyłącza operon. Obecna w komórce laktoza, przyłączając się do represora, dezaktywuje go i operon zostaje włączony.

Słownik

aktywator

białko przyłączające się do DNA, które wiąże się z odpowiednim miejscem operonu i indukuje lub zwiększa transkrypcję jego genów; miejsce wiązania aktywatora na operonie znajduje się przed miejscem wiązania polimerazy RNA

genom

kompletny materiał genetyczny zawarty w podstawowej liczbie chromosomów osobnika

geny struktury

geny zawierające informację o syntezie określonych białek enzymatycznych

geny regulatorowe

regulatory, geny kontrolujące działanie genów struktury

hydroliza

rozkład substancji pod wpływem wody; reakcja podwójnej wymiany zachodząca między wodą a substancją w niej rozpuszczoną, prowadząca do powstania cząsteczek nowych związków chemicznych

korepresor

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

transkrypcja

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

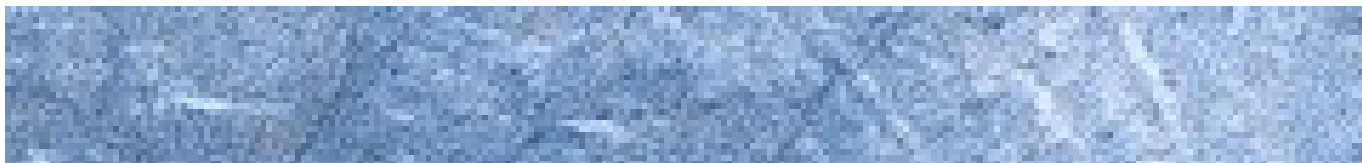
tryptofan

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

Gra edukacyjna

Polecenie 1

Rozwiąż quiz i sprawdź swoją wiedzę na temat operonów prokariotycznych.



Test

Sprawdź swoją wiedzę

Poziom trudności:

łatwy

Limit czasu:

4 min

Twój ostatni wynik:

—

Uruchom

Polecenie 2

Wyjaśnij, jakiemu typowi regulacji podlega operon laktozowy.

Polecenie 3

Sprawdź się

Pokaż ćwiczenia:   

Ćwiczenie 1



Uzupełnij poniższą tabelę dotyczącą operonu tryptofanowego i laktozowego. W odpowiednie miejsca wstaw plus (+), jeśli dany operon wykazuje określoną cechę, lub minus (-), jeśli jej nie przejawia.

Cecha	Operon laktozowy	Operon tryptofanowy
Regulacja oparta jest na białku represorowym.		
Represor ulega aktywacji po przyłączeniu laktozy / tryptofanu.		
Zawiera geny kodujące enzymy szlaku anabolicznego.		
Zawiera geny kodujące enzymy szlaku katabolicznego.		

-

+

-

+

-

+

-

+

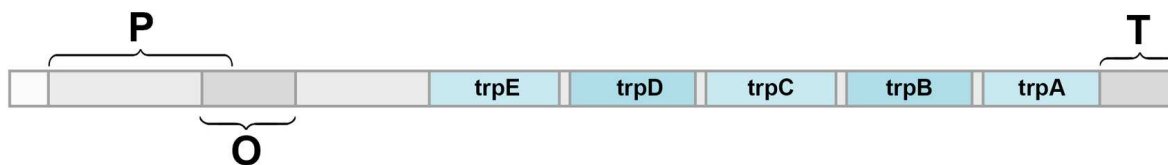
-

+

Ćwiczenie 2



Na poniższym rysunku przedstawiono operon tryptofanowy. Literą „P” oznaczono promotor, literą „O” – operator, a literą „T” – terminator.



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

Połącz oznaczenie literowe z odpowiednim opisem.

O	miejsce odłączania się polimerazy RNA
P	miejsce łączenia się z białkiem represorowym
T	miejsce przyłączania się polimerazy RNA

Ćwiczenie 3



Zaznacz, czy podane zdania są prawdziwe, czy fałszywe.

Zdanie	Prawda	Fałsz
Jednym z elementów operonu jest terminator, który odpowiada za zakończenie translacji genów struktury.	☐	☐
Liczba genów struktury jest stała dla wszystkich rodzajów operonów prokariotycznych.	☐	☐
Za inicjację transkrypcji wszystkich genów struktury operonu odpowiedzialny jest jeden promotor.	☐	☐
Gen regulatorowy operonu znajduje się zawsze bezpośrednio przy promotorze.	☐	☐

Ćwiczenie 4



Ryby są pokarmem bogatym w aminokwas cysteinę. W 2011 r. potwierdzono obecność dwugenowego operonu u bakterii *Yersinia ruckeri* odpowiedzialnego za metabolizowanie cysteiny. *Yersinia ruckeri* jest pasożytem żerującym na rybach. W DNA operonu zapisane są informacje o dwóch enzymach: permeazie cysteinowej oraz desulfurazie cysteinowej. Pierwszy z nich jest niezbędny do pobrania cysteiny z otoczenia, a drugi odpowiada za katabolizm tego aminokwasu.

Na podstawie: Jessica Mendez i wsp., *A novel cdsAB operon is involved in the uptake of L-cysteine and participates in the pathogenesis of Yersinia ruckeri*, Journal of Bacteriology, 2011.

Wytworzono dwa zmienione genetycznie szczepy bakterii *Yersinia ruckeri* – A i B. Szczep A wykazywał brak ekspresji genu permeazy cysteinowej przy normalnej ekspresji drugiego z genów. Szczep B wykazywał brak ekspresji genu desulfurylasy cysteinowej przy normalnej ekspresji genu permeazy cysteinowej.

Szczepy A, B i C, będące szczepami dzikimi (występującymi w naturze i niepoddanymi manipulacjom genetycznym) wysiano na pożywkę bogatą w związki organiczne i nieorganiczne niezbędne bakteriom *Yersinia ruckeri* do życia oraz wzbogaconą w cysteinę.

Przeanalizuj powyższy tekst i połącz oznaczenie szczepu z właściwym opisem.

A

Bakterie tego szczepu nie pobierały cysteiny.

C

Bakterie tego szczepu pobierały cysteinę i ją rozkładały.

B

Bakterie tego szczepu pobierały cysteinę, lecz jej nie rozkładały.

Zaznacz, który ze szczepów charakteryzuje się o największym stężeniem cysteiny w cytoplazmie.

☐ B

☐ C

☐ A

Ćwiczenie 5



Do klasycznych przykładów regulacji ekspresji genów u prokariotów należy operon laktozowy. Ekspresja genów struktury tego operonu jest hamowana przez przyłączenie aktywnego białka represorowego do operonu i uzależniona od obecności w środowisku bakterii cukru – laktozy.

Wyjaśnij, co się dzieje z represorem i jakie są konsekwencje tego działania, gdy:

A. W środowisku brak jest laktozy.

B. W środowisku jest obecna laktoza.

Ćwiczenie 6

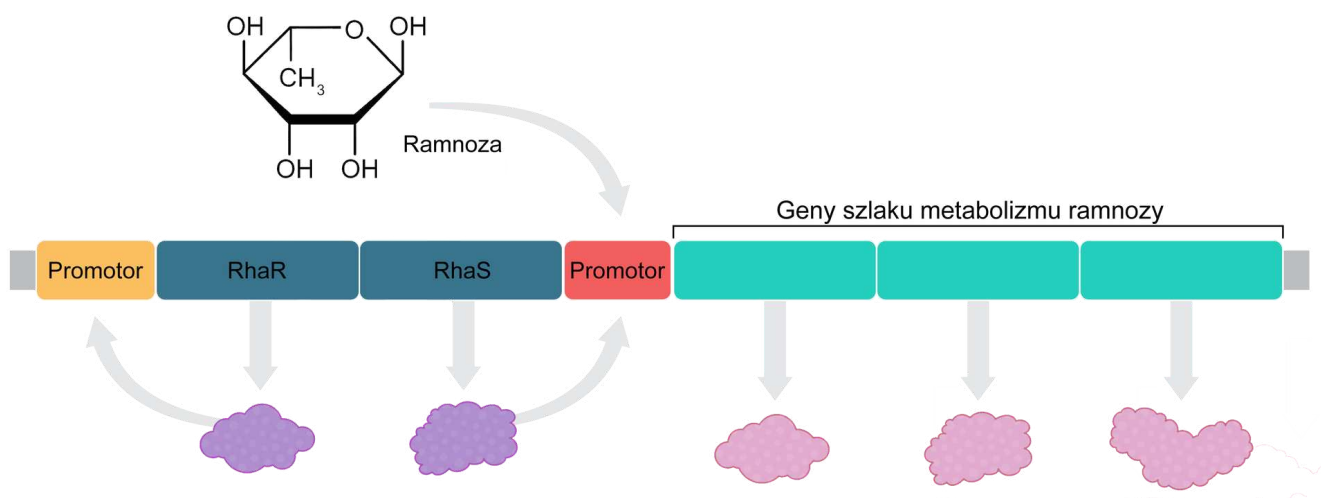


Geny szlaku rozkładu ramnozy zorganizowane są w operon, kontrolowany przez promotor. Promotor ten podlega kontroli przez dwa białka regulatorowe, RhaS oraz RhaR, stanowiące aktywatory transkrypcji. Ekspresja tych białek regulatorowych zależy od wspólnego promotora.

W przypadku braku w otoczeniu ramnozy, białko regulatorowe RhaR reguluje swoją własną ekspresję oraz hamuje ekspresję genu białka RhaS.

W obecności ramnozy RhaR wiąże się z promotorem i aktywuje ekspresję RhaR oraz RhaS. RhaS wraz z ramnozą wiąże się do promotora, aktywując ekspresję genów szlaku metabolizmu ramnozy.

Na podstawie: Angelika Wegerer, Tianqi Sun i Josef Altenbuchner, „Optimization of an *E. coli* L-rhamnose-inducible expression vector: test of various genetic module combinations”, BMC Biotechnology, 2008.



Uproszczony schemat włączania operonu ramnozowego.

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

Korzystając z przedstawionych informacji o operonie ramnozy bakterii *Escherichia coli*, wskaż właściwe określenia w poniższym tekście.

Operon ramnozy bakterii *Escherichia coli* należy do operonów ☐ anabolicznych ☐ katabolicznych ☐ . Po aktywacji promotora białek RhaS oraz RhaR, ramnoza obecna

w pożywce łączy się z ☐ białkiem represorowym ☐ białkiem aktywatorowym ☐ RhaS.

Skutkiem tego połączenia jest ☐ przyłączenie się białka do ☐ odłączenie się białka od ☐

promotora operonu. W konsekwencji geny struktury operonu
transkrybowane przez polimerazę RNA.

nie są ☐

są ☐

Ćwiczenie 7



Odwołując się do informacji z ćwiczenia 6 i własnej wiedzy, wskaż operon (laktozowy/tryptofanowy), u którego dojdzie do indukcji ekspresji genów struktury, jak w przypadku obecności ramnozy w otoczeniu dla operonu ramnozy. Uzasadnij swój wybór.

Ćwiczenie 8



U bakterii z rodziny Rhodobacteraceae występuje operon ramnozy, którego zadaniem jest przekształcenie L-ramnozy do dTDP-L-ramnozy, jednego ze składników biofilmów. Powstanie biofilmu jest niezbędne do przyczepienia się bakterii do powierzchni skał.

Wyjaśnij, jaki wpływ na zdolność do kolonizacji przybrzeżnych skał przez bakterie z rodziny Rhodobacteraceae miałaby mutacja w pierwszym z genów struktury operonu ramnozowego, skutkująca powstaniem kodonu STOP. W odpowiedzi uwzględnij zarówno proces transkrypcji genów struktury, jak i dalszej translacji.

Dla nauczyciela

Autor: Anna Juwan

Przedmiot: biologia

Temat: Struktura i sposoby regulacji operonów prokariotycznych

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):

- Poznasz budowę operonu.
- Przeanalizujesz różnice między regulacją negatywną a regulacją pozytywną operonu.
- Porównasz funkcjonowanie operonów laktozowego i tryptofanowego.

Strategie nauczania:

- konstruktywizm;
- konektywizm.

Metody i techniki nauczania:

- z użyciem komputera;
- ćwiczenia interaktywne;
- gra dydaktyczna;
- gwiazda pytań;

- mapa pojęć;
- analiza tekstu źródłowego.

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;
- telefony z dostępem do internetu.

Przed lekcją:

1. **Przygotowanie do zajęć.** Nauczyciel loguje się na platformie i udostępnia uczniom e-materiał „Struktura i sposoby regulacji operonów prokariotycznych”. Prosi uczestników zajęć o zapoznanie się z tekstem w sekcji „Przeczytaj” i wykonanie ćwiczenia nr 1 (dotyczącego porównania operonu laktozowego i tryptofanowego) w sekcji „Sprawdź się”.

Przebieg lekcji

Faza wstępna:

1. Nauczyciel wyświetla i odczytuje temat lekcji oraz zawarte w sekcji „Wprowadzenie” cele zajęć. Prosi uczniów lub wybraną osobę o sformułowanie kryteriów sukcesu.
2. **Raport z przygotowań.** Nauczyciel, za pomocą dostępnego w panelu użytkownika raportu, sprawdza, którzy uczniowie zapoznali się z udostępnionym e-materiałem i wykonali zadane ćwiczenie. Jeśli odpowiedzi uczniów bardzo się różnią lub ćwiczenie okazało się trudne, nauczyciel omawia je na forum.

Faza realizacyjna:

1. **Gwiazda pytań.** Nauczyciel dzieli uczniów na 4-osobowe grupy, a następnie prezentuje na tablicy interaktywnej schemat „gwiazdy pytań” (zob. materiały pomocnicze). Objaśnia uczniom, w jaki sposób powinni pracować ze schematem: na podstawie e-materiału oraz innych źródeł mają opracować zagadnienie struktury i sposobów regulacji operonów prokariotycznych, odpowiadając na pytania widniejące na schemacie.
Nauczyciel sprawdza wykonanie zadania, podchodząc do każdej grupy. Koryguje

ewentualne błędy. Wybrani przez nauczyciela uczniowie kolejno prezentują wyniki prac swojego zespołu. Omawiają przydzielone zagadnienie, wykorzystując ilustracje z e-materiału wyeksponowane na tablicy interaktywnej.

2. **Praca z multimedium („Gra edukacyjna”).** Uczniowie dzielą się na zespoły i rozwiązują pytania quizowe. Nauczyciel wraz z uczniami określa zasady rywalizacji i punktowania dobrych odpowiedzi (np. gra na czas lub na liczbę poprawnych odpowiedzi).
Przeprowadzenie gry w klasie. Nauczyciel lub wybrany uczeń dba o prawidłowy przebieg quizu zgodnie z wcześniejszymi ustaleniami. Nauczyciel ogłasza zwycięską drużynę.
3. **Utrwalanie wiedzy i umiejętności.** Uczniowie dobierają się w pary i wykonują ćwiczenia nr 7 (w którym mają za zadanie wyjaśnić, co się dzieje z represorem i jakie są konsekwencje tego działania w zależności od obecności laktozy w środowisku) i nr 8 (w którym mają za zadanie – na podstawie tekstu źródłowego – wyjaśnić, jaki wpływ na zdolność do kolonizacji przybrzeżnych skał przez bakterie z rodziny Rhodobacteraceae miałyby mutacja w pierwszym z genów struktury operonu ramnozowego, skutkująca powstaniem kodonu STOP) w sekcji „Sprawdź się”. Następnie konsultują swoje rozwiązania z inną parą uczniów i ustalają jedną wersję odpowiedzi.

Faza podsumowująca:

1. Klasa wspólnie wykonuje mapę pojęć podsumowującą zajęcia.
2. Nauczyciel wyświetla treści zawarte w sekcji „Wprowadzenie” i na ich podstawie dokonuje podsumowania najważniejszych informacji przedstawionych na lekcji. Wyjaśnia także wątpliwości uczniów.

Praca domowa:

1. Wykonaj ćwiczenia od 2 do 6 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.

Załącznik 1. Gwiazda pytań.

Plik o rozmiarze 383.94 KB w języku polskim

Wskazówki metodyczne opisujące różne zastosowania gry edukacyjnej:

- Nauczyciel może wykorzystać grę edukacyjną do podsumowania lekcji.