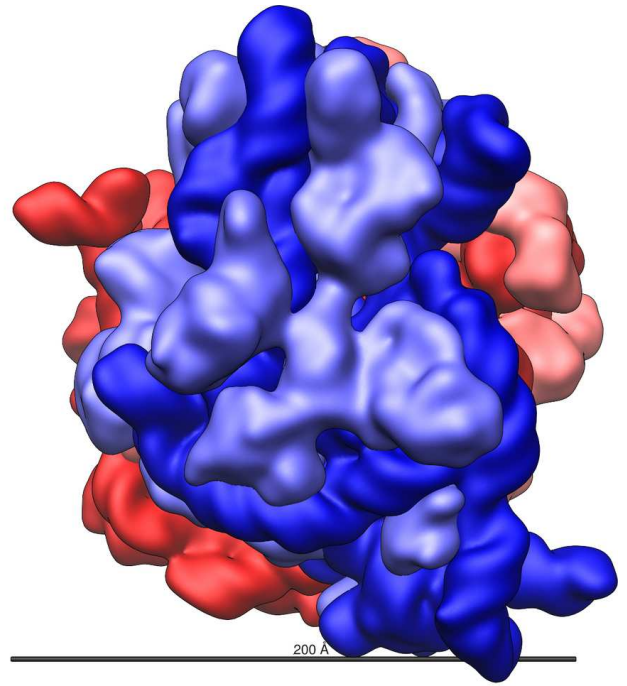
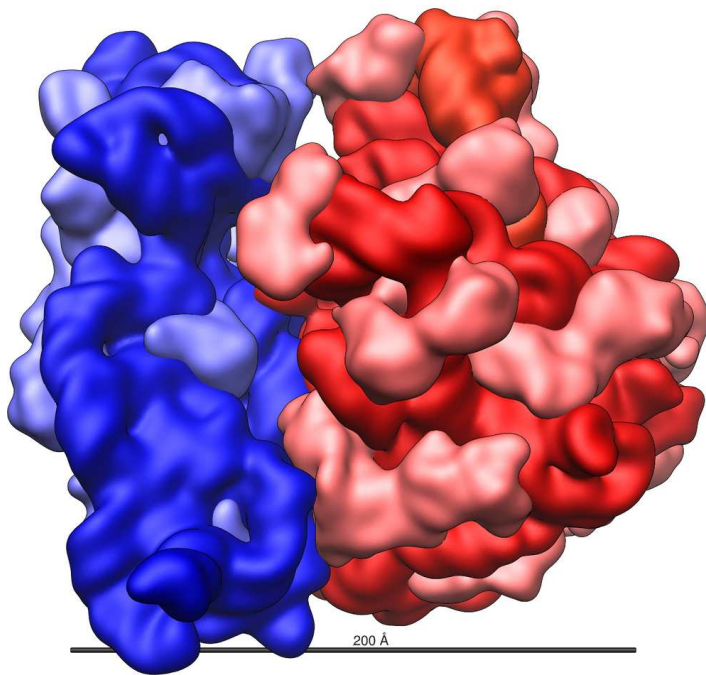
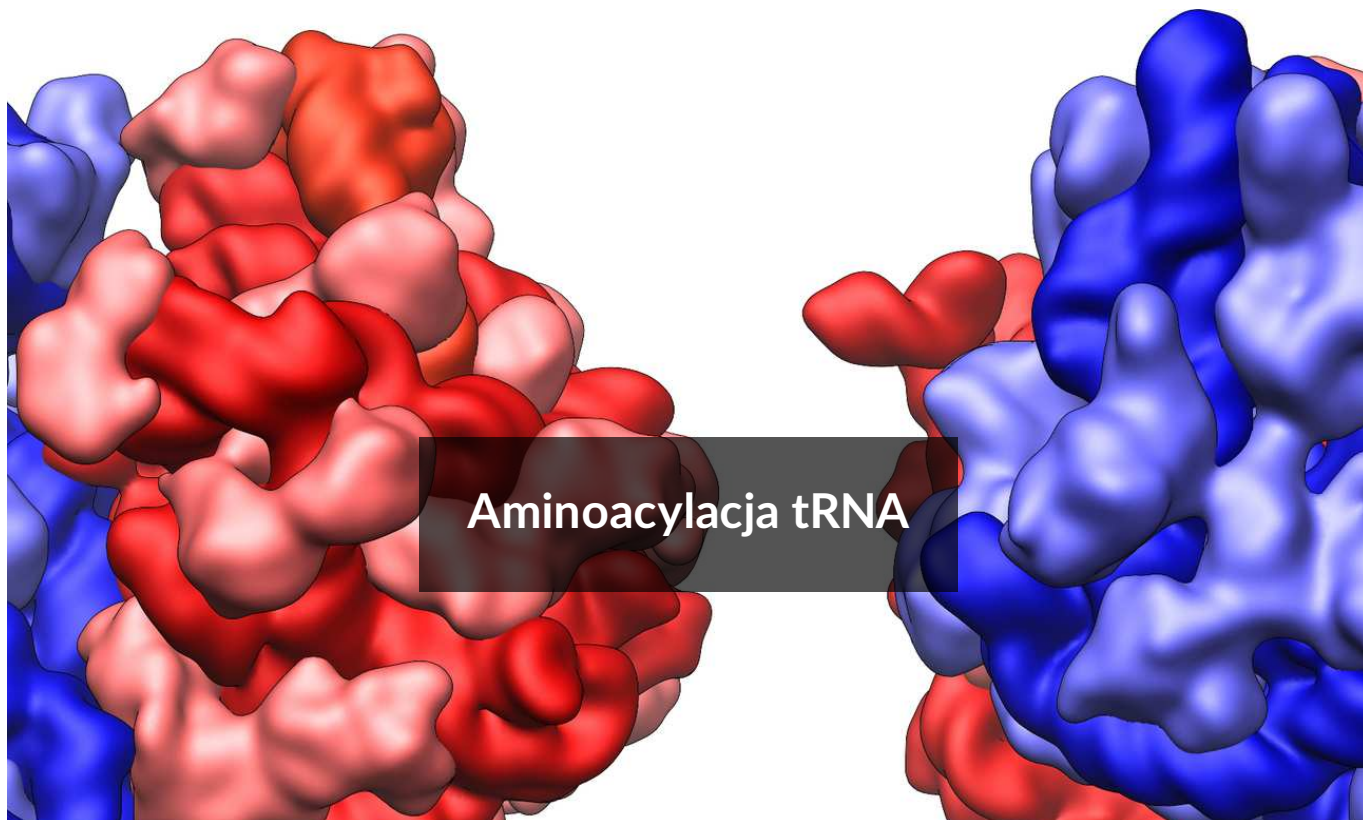




Aminoacylacja tRNA

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



Aminokwas przyłączany jest do tRNA w procesie aminoacylacji. Aminoacylo-tRNA wraz z dwoma podjednostkami rybosomalnymi i mRNA tworzą aparat translacyjny – strukturę, dzięki której zachodzi translacja.

Źródło: Vossmann, Wikimedia Commons, licencja: CC BY-SA 3.0.

Aminoacylacja to proces przyłączenia aminokwasu do cząsteczki transportującego kwasu rybonukleinowego (tRNA). Aminokwas przyłączany jest do sekwencji CCA na końcu 3' tRNA przez wiązanie kowalencyjne typu estrowego. Ten prosty z pozoru proces ma ogromne znaczenie dla funkcjonowania organizmów.

Twoje cele

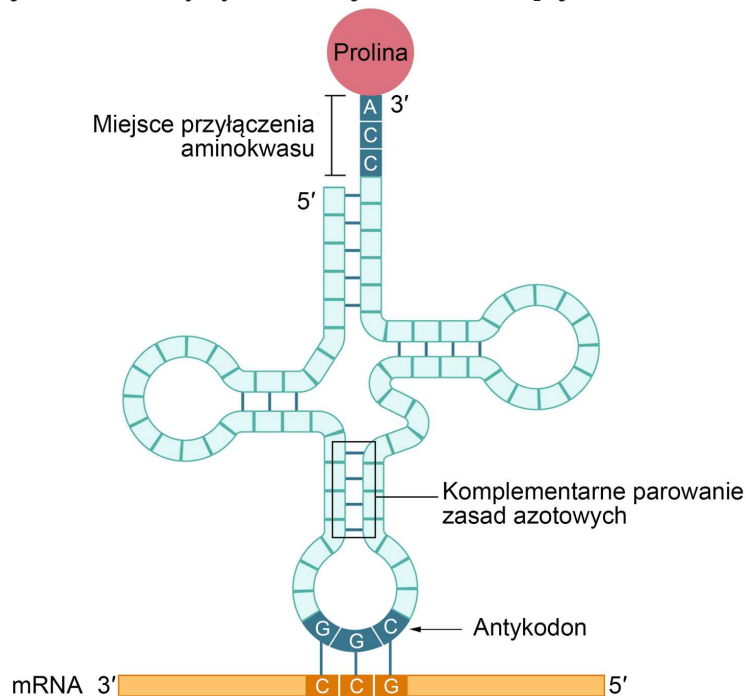
- Scharakteryzujesz przebieg aminoacylacji.
- Wykażesz znaczenie tRNA jako cząsteczki adaptorowej w procesie biosyntezy białka.
- Omówisz funkcjonowanie tRNA między informacyjnym poziomem kwasów nukleinowych a poziomem funkcjonalnym białek.
- Wskażesz znaczenie aminoacylacji tRNA.

Przeczytaj

Funkcje tRNA

Proces ekspresji genu zachodzi zarówno w jądrze komórkowym, jak i w cytoplazmie. W jądrze komórkowym odbywa się [transkrypcja](#). Poza matrycą i rybosomami do biosyntezy białka niezbędna jest obecność transportującego kwasu rybonukleinowego (tRNA), który przenosi aminokwasy do nowo syntetyzowanego polipeptydu.

Cząsteczka tRNA jest łącznikiem między mRNA a aminokwasami tworzącymi polipeptyd. Ma formę przypominającą liść koniczyny złożoną z czterech pętli.



Model drugorzędowej struktury tRNA z dołączonym aminokwasem.

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

Podczas biosyntezy białka wykorzystywane są różne rodzaje tRNA, ponieważ każdy z nich może transportować tylko jeden, swoisty dla siebie aminokwas.

tRNA w komórce pełni dwie podstawowe funkcje:

- rozpoznanie właściwego aminokwasu podczas interakcji tRNA oraz mRNA – na podstawie zawartej w mRNA informacji zapisanej kodem genetycznym;
- przeniesienie właściwego aminokwasu do tworzonego łańcucha polipeptydowego.

Więcej na temat tRNA w e-materiale [Budowa i funkcje tRNA i rybosomów](#).

Aminoacylacja tRNA

Aminokwas przyłączany jest do tRNA w procesie **aminoacylacji**. Reakcja ta jest katalizowana przez enzymy **syntetazy aminoacylo-tRNA**, specyficzne dla danego aminokwasu.

Energia niezbędna do przeprowadzenia aminoacylacji uwalniana jest dzięki hydrolizie wysokoenergetycznych wiązań bezwodnikowych nukleotydów **ATP** i **GTP**. Proces ten odbywa się w przestrzeni cytoplazmatycznej komórki. Poprawność przebiegu procesu aminoacylacji tRNA zapewnia prawidłową strukturę pierwszorzędową syntezowanych białek i odwzorowanie informacji kodowanej w DNA na łańcuch polipeptydowy. Wszelkie nieprawidłowości mogą z kolei prowadzić do powstawania błędnie sfałdowanych białek, mogących tworzyć agregaty i niekorzystnie wpływać na funkcjonowanie komórek.

Aminoacylo-tRNA powstaje przez wytworzenie wiązania estrowego pomiędzy grupą karboksylową aminokwasu ($-\text{COOH}$) a grupą wodorotlenową ($-\text{OH}$) w pozycji 2' lub 3' nukleotydu adeninowego znajdującego się w sekwencji CCA na końcu 3' ramienia akceptorowego tRNA.

Reakcja ta jest dwuetapowa, a na każdym z etapów niezbędna jest energia, pochodząca z rozerwania wiązania wysokoenergetycznego cząsteczki ATP lub GTP.

I etap aminoacylacji - aktywacja aminokwasu

powstanie aminoacylo-AMP (skutkiem rozerwania dwóch wiązań wysokoenergetycznych ATP jest powstanie dwóch reszt kwasu fosforowego).



II etap aminoacylacji - transfer aminokwasu

dochodzi do powstania **aminoacylo-tRNA**, gotowego do przeniesienia aminokwasu i połączenia się z mRNA.

Uwolnione w pierwszym etapie dwie reszty kwasu fosforowego zostają wykorzystane do odtworzenia ATP, który jest niezbędny do aminoacylacji kolejnych cząsteczek tRNA.



Po połączeniu aminoacylo-tRNA z resztą **aparatu translacyjnego**, rozpoczyna się proces formowania polipeptydu – **translacja**.

Syntetazy aminoacylo-tRNA

Syntetazy aminoacylo-tRNA to enzymy odpowiedzialne za przyłączanie odpowiednich aminokwasów do właściwych cząsteczek tRNA.

Syntetazy aminoacylo-tRNA katalizują reakcję transestryfikacji aminokwasów do tRNA, czego efektem jest utworzenie aminoacylo-tRNA. Opisano 23 syntetazy aminoacylo-tRNA, z czego trzy spotyka się jedynie u bakterii i archeonów. U ludzi wstępuje 20 różnych typów syntetaz aminoacylo-tRNA. Rolę **kofaktora** pełni w nich jon magnezu (Mg^{2+}).

Syntetazy aminoacylo-tRNA podzielono na dwie klasy.

Klasa I:

- Przeprowadzają proces aminoacylacji tRNA na grupie wodorotlenowej ($-OH$) w pozycji 2' adenylanu na końcu ramienia akceptorowego tRNA.
- Zazwyczaj zbudowane są z jednej lub dwóch podjednostek.
- Odpowiadają za przyłączanie aminokwasów hydrofobowych.
- Centrum aktywne składa się z pięciu ułożonych na przemian alfa-helis, tworząc tzw. strukturę Rossmanna.
- Odpowiadają za przyłączenie do tRNA m.in. leucyny, cysteiny, argininy i waliny.

Klasa II:

- Przeprowadzają proces aminoacylacji tRNA na grupie wodorotlenowej ($-OH$) w pozycji 3' adenylanu na końcu ramienia akceptorowego tRNA.
- Zazwyczaj występują w formie **dimeru** lub **tetrameru**.
- Rozpoznają najczęściej małe aminokwasy.
- Centrum aktywne tworzy siedem antyrównolegle ułożonych struktur beta-kartki oraz trzy alfa-helisy.
- Odpowiadają za przyłączenie do tRNA m.in. seryny, proliny, histydyny, glicyny i alaniny.

W genomie mitochondrialnym człowieka występują 22 geny związane z tRNA, a wszystkie syntetazy aminoacylo-tRNA kodowane są przez genom jądrowy. Jedynie dwie syntetazy (syntetaza lizylo-tRNA i syntetaza glicylo-tRNA) kodowane są przez te same geny zarówno jako białka cytoplazmatyczne, jak i mitochondrialne. W mitochondriach występuje łącznie 19 syntetaz aminoacylo-tRNA, gdyż nie odnaleziono syntetazy dla kwasu glutaminowego. Zaburzenia związane z genami mitochondrialnych syntetaz aminoacylo-tRNA zostały powiązane z szeregiem chorób, w tym **chorobą Charcota-Mariego-Tootha**, **encefalopatią**, **mikrocefalią** czy padaczką.

Syntetazy aminoacylo-tRNA odgrywają także rolę:

- w modyfikacjach potranslacyjnych białek;
- w odpowiedzi immunologicznej;
- w rozwoju układu nerwowego.

Ważne!

Wykazano, że niektóre syntetazy aminoacylo-tRNA, takie jak syntetaza izoleucylo-tRNA 2, syntetaza lizylo-tRNA i syntetaza asparaginylo-tRNA, sprzyjają rozwojowi nowotworów.

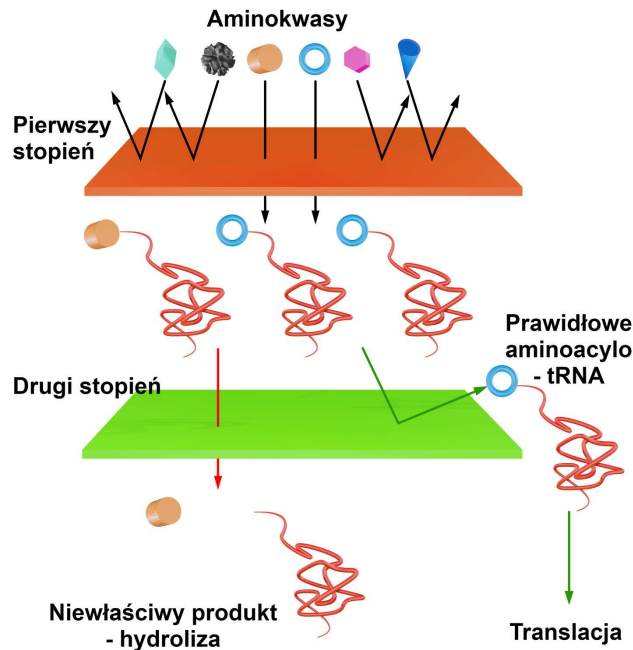
Mechanizmy naprawy błędnie sparowanych aminoacylo-tRNA

Aby doszło do prawidłowego sparowania aminokwasu z tRNA, niezbędne jest rozpoznanie aminokwasu oraz tRNA. Syntetazy rozpoznają aminokwasy dzięki obecności miejsca wiązania aminokwasów, w które cząsteczki te dopasowują się i mogą przyłączyć się do cząsteczki ATP. Rozpoznanie tRNA ma miejsce na bazie jego struktury, a także determinant w sekwencji nukleotydowej. Determinantami mogą być pojedyncze nukleotydy, pary zasad czy [motywy strukturalne tRNA](#).

Reakcja aminoacylacji jest podatna na błędy, związane z niewłaściwą aktywacją aminokwasów oraz nieprawidłowym sparowaniem aminokwasu z tRNA, szczególnie w przypadku aminokwasów podobnych strukturalnie. Niebezpieczeństwo błędnego sparowania występuje w przypadku aminokwasów, które są [izosteryczne](#) (walina i treonina) lub różnią się tylko grupą metylową (izoleucyna i walina).

W 1985 roku Alan Fersht zaproponował model dwustopniowego zabezpieczenia przed pomyłką w sparowaniu aminokwasu z tRNA na przykładzie syntetazy izoleucylo-tRNA. W przypadku tej syntetazy istnieje możliwość zamiany izoleucyny na walinę, ze względu na niewielką różnicę w budowie obu aminokwasów. Pierwszym z różnicujących elementów pozwalających na prawidłowe sparowanie jest wielkość aminokwasów. Aminokwasy większe od izoleucyny nie są w stanie wpasować się w miejsce wiązania aminokwasów. Drugim parametrem umożliwiającym poprawne związanie aminokwasu z tRNA przez syntetazę aminoacylo-tRNA jest charakter hydrofilowy aminokwasu.

Proces edycji, czyli zmiany błędnie sparowanego aminokwasu, może obejmować etap po aktywacji aminokwasu lub po transferze aminokwasu na tRNA. Mechanizm edycji opiera się na aktywności hydrolitycznej syntetaz aminoacylo-tRNA, która możliwa jest dzięki obecności domeny CP1 (ang. *connective peptide 1*). Domena ta odpowiada za zmianę struktury przestrzennej enzymu, która niszczy centrum aktywne przeprowadzające proces aminoacylacji.



Dwa poziomy mechanizmu naprawy błędnie sparowanych aminoacylo-tRNA. Niewłaściwe sparowanie aminokwasu do tRNA skutkuje hydrolizą wiązań i uwolnieniem elementów składowych.

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

Słownik

aminoacylo-tRNA

tRNA zawierający aminokwas przyłączony w procesie aminoacylacji

aparat (kompleks) translacyjny

struktura przeprowadzająca translację, złożona z dwóch podjednostek rybosomalnych, mRNA i aminoacylo-tRNA

ATP

adenozyno-5'-trifosforan; nukleotyd, połączenie kwasu adenozynodifosforowego z resztą kwasu fosforowego wiązaniem wysokoenergetycznym

choroba Charcota-Mariego-Tootha

grupa chorób o charakterze dziedzicznych neuropatii

dimer

cząsteczka utworzona przez połączenie się dwóch takich samych cząsteczek prostych; najprostszy oligomer

encefalopatie

ogólne określenie przewlekłych, rozlanych lub wieloogniskowych uszkodzeń mózgu spowodowanych różnymi czynnikami

GTP

guanozyno-5'-trifosforan; nukleotyd o budowie i funkcjach podobnych do ATP, zawierający dwa wiązania wysokoenergetyczne

izosteria

podobieństwo właściwości fizycznych cząsteczek, które zbudowane są z takiej samej liczby atomów i mają tę samą liczbę elektronów

kofaktor

niebiałkowy składnik niezbędny do katalitycznej aktywności wielu enzymów

mikrocefalia

małogłowie; zaburzenie rozwojowe charakteryzujące się nienaturalnie małymi wymiarami czaszki, a co za tym idzie – także mózgu

motyw

sekwencja nukleotydowa lub aminokwasowa związana z funkcją cząsteczki kwasu nukleinowego lub białka

syntetaza aminoacylo-tRNA

enzym odpowiedzialny za katalizowanie reakcji aktywacji aminokwasu oraz transferu aminokwasu na tRNA

tetramer

cząsteczka utworzona przez połączenie się czterech takich samych cząsteczek prostych

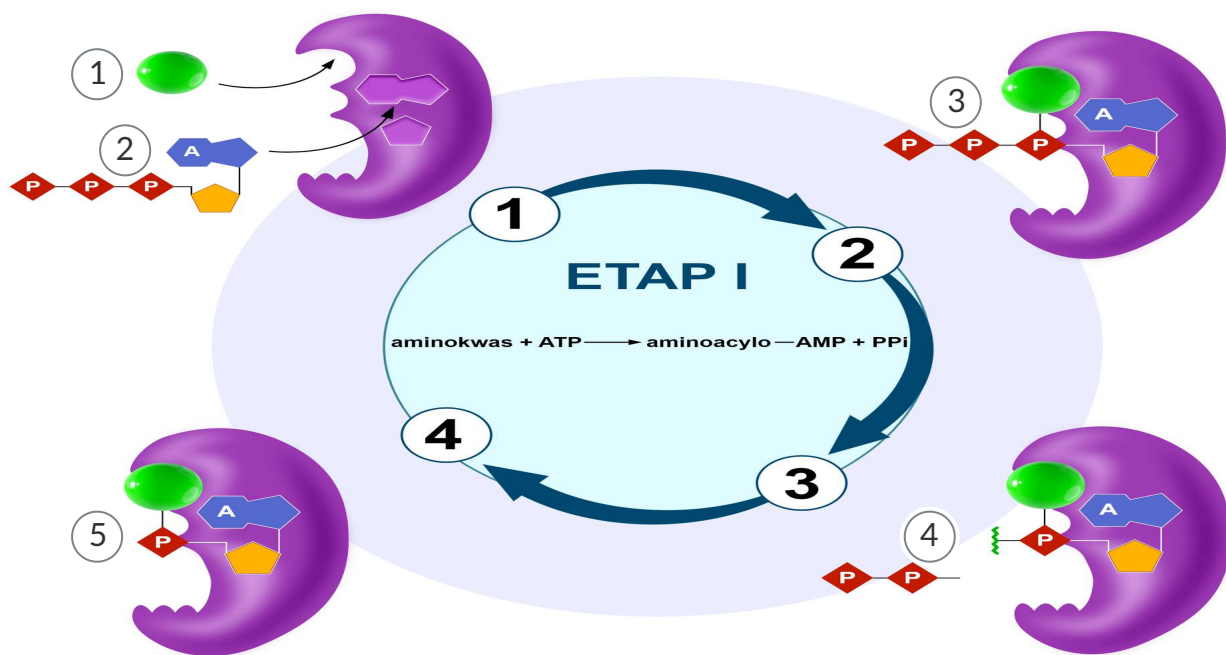
transkrypcja

proces, w którym następuje przepisanie kolejności nukleotydów DNA na mRNA

translacja

drugi etap biosyntezy białka, podczas którego, na podstawie informacji zapisanej w nici mRNA, jest syntetyzowany polipeptyd

Grafika interaktywna



1

Przyłączenie aminokwasu do syntetazy aminoacylo-tRNA

2

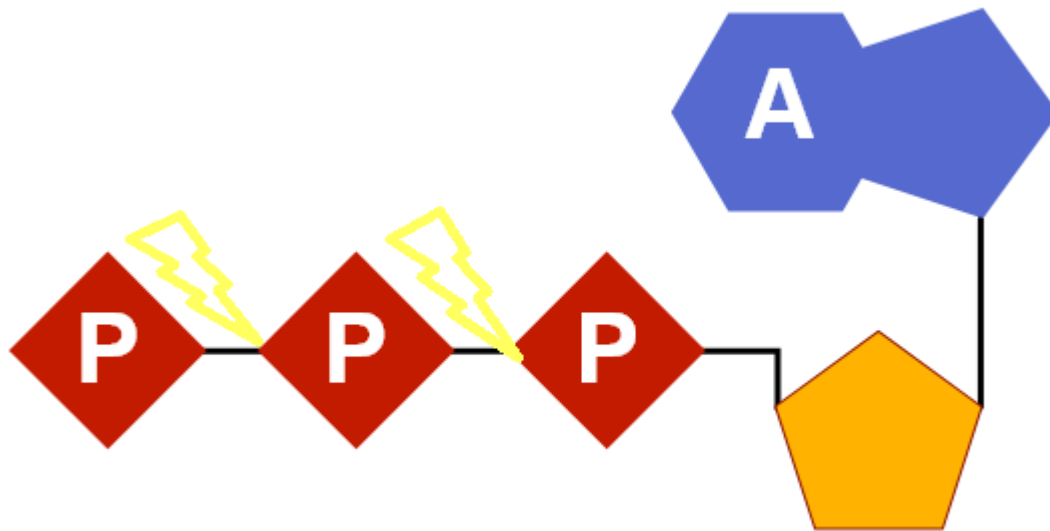
Przyłączenie ATP do syntetazy aminoacylo-tRNA

3

Powstanie wiązania estrowego pomiędzy aminokwasem a resztą fosforanową ATP

4

Zerwanie wiązań wysokoenergetycznych pomiędzy resztami fosforanowymi



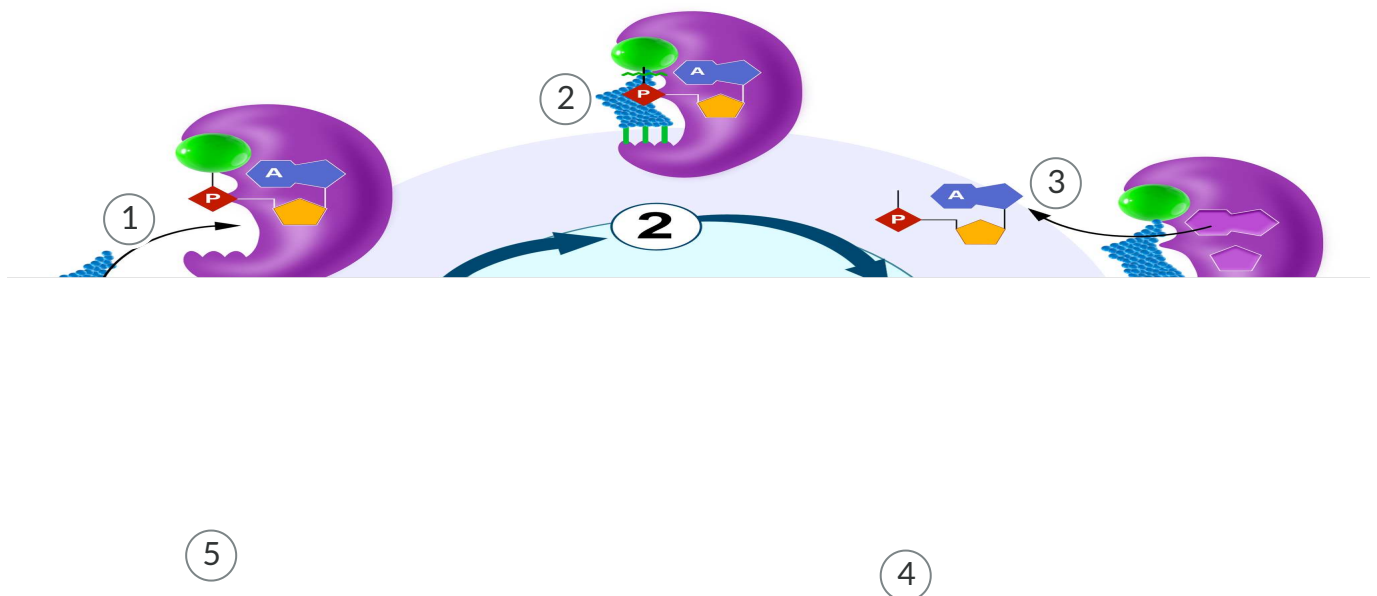
Zachodzi równoległe w czasie z powstaniem wiązania pomiędzy aminokwasem a resztą fosforanową. W procesie tym uwalniana jest energia potrzebna do przeprowadzenia reakcji aminoacylacji.

5

Powstanie aminoacylo-AMP

Aminoacylacja tRNA – etap I.

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



1

Przyłączenie tRNA do syntetazy aminoacylo-tRNA

2

Hydroliza wiązania estrowego pomiędzy aminokwasem a resztą fosforanową AMP

3

Odłączenie się AMP od enzymu (syntetazy aminoacylo-tRNA)

Z cząsteczki AMP, po ponownym przyłączeniu dwóch reszt fosforanowych, odtworzona zostaje cząsteczka ATP.

4

Wytworzenie wiązania estrowego pomiędzy aminokwasem a tRNA prowadzące do powstania aminoacylo-tRNA

5

Odłączenie gotowego aminoacylo-tRNA od enzymu (syntetazy aminoacylo-tRNA)

Aminoacylacja tRNA – etap II.

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

Polecenie 1

Wymień składniki biorące udział w aminoacylacji tRNA i określ, jaka jest ich rola.

Polecenie 2

Wyjaśnij, w jakim celu jest wytwarzany aminoacylo-tRNA.

Sprawdź się

Pokaż ćwiczenia:   

Ćwiczenie 1



Enzym katalizujący reakcję aminoacylacji tRNA to:

- ☐ syntetaza glutationowa
- ☐ syntetaza aminoacylo-RNA
- ☐ syntetaza aminoacylo-tRNA
- ☐ syntetaza tRNA

Ćwiczenie 2



Dopasuj odpowiednie struktury tRNA do pełnionych przez nie funkcji.

Pętla antykodonowa

Odpowiada za rozpoznanie i związanie z właściwym kodonem na nici mRNA.

Ramię zmienne

Występuje tylko w niektórych typach tRNA.

Ramię aminokwasowe

Zawiera informację o tym, jakiego rodzaju aminokwas może zostać przyłączony do danego tRNA.

Pętla D

Zawiera zmodyfikowaną zasadę, która służy do łączenia się z rybosomem i umocowania tRNA na matrycy.

Pętla TpsiC

W tym miejscu przyłączają się chemicznie aktywowane aminokwasy za pomocą wiązania estrowego.

Ćwiczenie 3



Uzupełnij brakujące fragmenty, tak aby tekst był spójny i logiczny. Pięć spośród podanych wyrażen nie pasuje do żadnej luki.

Aminokwas przyłączany jest do tRNA w procesie . Reakcję tę katalizują enzymy

. Energia niezbędna do przeprowadzenia aminoacylacji uwalniana jest dzięki

wysokoenergetycznych wiązań bezwodnikowych nukleotydów i

.

aminacji

AMP

GTP

NADP

aminoacylacji

syntetazy aminoacylo-mRNA

ATP

syntetazy aminoacylo-tRNA

hydrolizie

dekarboksylacji

Ćwiczenie 4



Uzupełnij komórki tabeli, tak aby przedstawiała ona pierwszy i drugi etap aminoacylacji.

Etap	Substraty	Produkty
I		
II		

aminoacylo-tRNA, ATP

aminoacylo-AMP, PP_i

aminokwas, ATP

aminoacylo-AMP, tRNA, H₂O, PP_i

Ćwiczenie 5



Zaznacz stwierdzenia, które prawidłowo opisują aminoacylo-tRNA.

☐ dostarcza aminokwas zawsze do miejsca P na rybosomie

☐ powstaje w cytoplazmie komórki

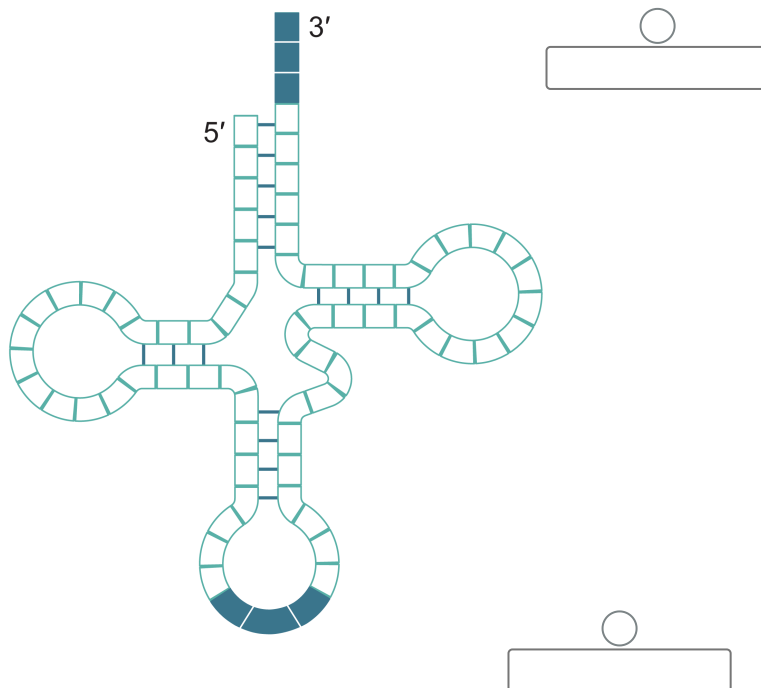
☐ zawiera wiązanie estrowe między aminokwasem a tRNA

☐ synteza aminoacylo-tRNA przebiega w trzech etapach

Ćwiczenie 6



Zaznacz na ilustracji przedstawiającej tRNA miejsce, w którym łączy się on z mRNA, oraz to, w którym łączy się aminokwasem.



Miejsce wiązania mRNA

Miejsce wiązania aminokwasu

Tekst do ćwiczenia 7

RNA – transportujący, transferowy RNA (ang. *transfer RNA*)

Cząsteczka ta zbudowana jest z 76- nukleotydowego, pojedynczego łańcucha przybierającego charakterystyczny kształt liścia koniczyny. Występuje w różnych postaciach, które różnią się między sobą sekwencją nukleotydów. Mogą w nim występować również inne zasady azotowe, tzn. metylocytozyna, hydroksymetylocytozyna, pseudouracyl, dihydrouracyl. Koniec 5' łańcucha jest fosforylowany, natomiast 3' zawiera wolną grupę hydroksylową łączącą się z grupą karboksylową odpowiedniego aminokwasu. Reakcja ta wymaga nakładu energii dostarczanej przez ATP i katalizowana jest przez enzym syntetazę aminoacylo-tRNA. Pośrodku każdej cząsteczki tRNA znajduje się tzw. pętla antykodonowa, determinująca rodzaj transportowanego aminokwasu.

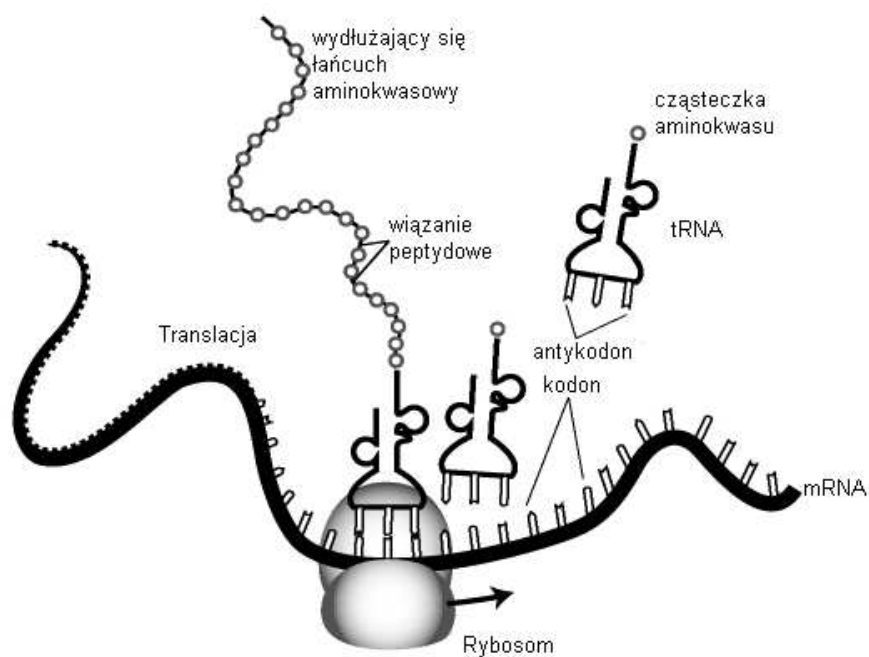
Źródło: Anna Kurcek, *Translacja*,

<http://www.e-biotechnologia.pl/Artykuly/translacja>.

Ćwiczenie 7



Wyjaśnij, co umożliwia rozpoznanie właściwego aminokwasu przez odpowiedni tRNA, mimo że wszystkie aminokwasy przyłączają się do takiego samego końca 3' z wolną grupą hydroksylową.



Źródło: Wikipedia Commons, domena publiczna.

Wyjaśnij, jaką funkcję pełni aminoacylo-tRNA w biosyntezie białek w komórce.

Dla nauczyciela

Autor: Anna Juwan

Przedmiot: biologia

Temat: Aminoacylacja tRNA

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

Podstawa programowa:

Zakres podstawowy

Treści nauczania – wymagania szczegółowe

VI. Ekspresja informacji genetycznej w komórkach człowieka. Uczeń:

5) opisuje proces translacji i przedstawia znaczenie modyfikacji potranslacyjnej białek;

Zakres rozszerzony

Treści nauczania – wymagania szczegółowe

XIII. Ekspresja informacji genetycznej. Uczeń:

6) opisuje proces translacji i przedstawia znaczenie modyfikacji potranslacyjnej białek;

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):

- Scharakteryzujesz przebieg aminoacylacji.
- Wykażesz znaczenie tRNA jako cząsteczki adaptorowej w procesie biosyntezy białka.
- Omówisz funkcjonowanie tRNA między informacyjnym poziomem kwasów nukleinowych a poziomem funkcjonalnym białek.
- Wskażesz znaczenie aminoacylacji tRNA.

Strategie nauczania:

- konstruktywizm;
- konektywizm.

Metody i techniki nauczania:

- z użyciem komputera;
- ćwiczenia interaktywne;
- analiza grafiki interaktywnej;
- śniegowa kula;
- gra dydaktyczna.

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.

Przed lekcją:

1. **Przygotowanie do zajęć.** Nauczyciel loguje się na platformie i udostępnia uczniom e-materiał „Aminoacylacja tRNA”. Prosi uczestników zajęć o rozwiązanie ćwiczenia nr 3 (polegającego na uzupełnieniu tekstu dotyczącego aminoacylacji) z sekcji „Sprawdź się” na podstawie treści w sekcji „Przeczytaj”.

Przebieg lekcji

Faza wstępna:

1. Nauczyciel wyświetla cele zajęć z sekcji „Wprowadzenie”, a następnie wspólnie z uczniami ustala kryteria 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. czy reakcje aminoacylacji tRNA są egzogenne czy endogenne co się dzieje z gotowym aminoacylo-tRNA i w jakim celu jest on wytwarzany **Praca z multimedium („Grafika interaktywna”) – kula śniegowa.** Nauczyciel wyświetla grafikę interaktywną i wspólnie z uczniami dokonuje jej analizy. Prosi podopiecznych, by pracując metodą kuli śniegowej, wykonali polecenia 1 (w którym mają określić, czy reakcje aminoacylacji tRNA są egzogenne czy endogenne) i 2 (każące wyjaśnić, co się dzieje z gotowym aminoacylo-tRNA i w jakim celu jest on wytwarzany).

Nauczyciel objaśnia wspomnianą wyżej metodę i wynikające z niej kolejne etapy pracy:

- 1) najpierw uczniowie będą indywidualnie opracowywać odpowiedzi na polecenia;
- 2) potem łączą 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) uczniowie utworzą 8-osobowe zespoły i znów porównają swoje propozycje;
- 5) przedstawiciele poszczególnych zespołów 8-osobowych prezentują na forum klasy uzgodnione w grupie odpowiedzi.

2. **Utrwalenie wiedzy i umiejętności.** Nauczyciel dzieli klasę na 4-osobowe grupy.

Uczniowie rozwiązują ćwiczenia interaktywne od 4 do 7 z sekcji „Sprawdź się”, od najłatwiejszego do najtrudniejszego. Grupa, która poprawnie rozwiąże zadania jako pierwsza, wygrywa.

Faza podsumowująca:

1. Nauczyciel zadaje pytania w celu sprawdzenia stopnia opanowania wiedzy przez uczniów:
 - Jak jest zbudowane tRNA?
 - Jak przebiega aminoacylacja?
 - Dlaczego zachodzi aminoacylacja tRNA?

Praca domowa:

1. Wykonaj ćwiczenie nr 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.

Wskazówki metodyczne opisujące różne zastosowania grafiki interaktywnej:

- Uczniowie mogą wykorzystać grafikę interaktywną w celu przygotowania się do lekcji powtórkowej.

