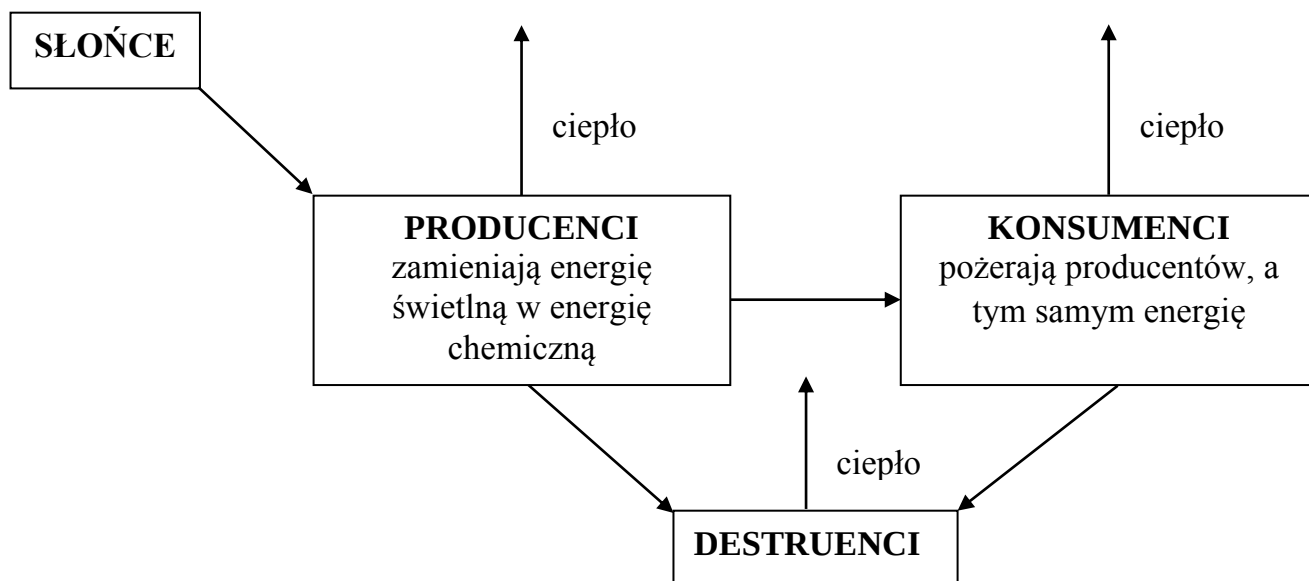


METABOLIZM

1. Metabolizm to całokształt przemian materii i energii zachodzących w organizmie (w przypadku metabolizmu komórkowego – w komórce):
 - a) anabolizm¹
 - b) katabolizm²
2. Szlak metaboliczny to szereg reakcji zachodzących kolejno po sobie i prowadzących do powstania określonego produktu/ów. Większość reakcji jest elementem takich szlaków.
3. Cykl biochemiczny to odmiana szlaku metabolicznego, w którym część produktów jest jednocześnie substratami dla pierwszej reakcji (cykle te tworzą zamknięte pętle). Niekiedy cykl może składać się z kilku powiązanych ze sobą funkcjonalnie szlaków metabolicznych jak np. oddychanie komórkowe, synteza białek i tłuszczów, usuwanie zbędnych i szkodliwych produktów przemiany materii.
Szlaki syntezy nigdy nie pokrywają się całkowicie ze szlakami rozpadu.

4. Przepływ energii



¹ przemiany endoergiczne, a więc wymagające dostarczenia energii pochodzącej z przemian egzoergicznych (produkty mają wyższy poziom energetyczny niż substraty) m.in. reakcje syntezy

² przemiany egzoergiczne, a więc uwalniające energię, stąd mogą zachodzić samorzutnie (produkty mają niższy poziom energetyczny niż substraty) m.in. reakcje rozpadu

5. Energia a prawa termodynamiki

a) I prawo termodynamiki³

Ilość energii w danym ośrodku nie zmienia się.

b) II prawo termodynamiki⁴

Entropia⁵ wszechświata nieustannie się powiększa.

6. Adenozynotrifosforan⁶ to nukleotyd zbudowany z trzech reszt fosforanowych (między dwiema są wiązania wysokoenergetyczne, stąd cały związek jest wysokoenergetyczny). Jest on głównym przenośnikiem i akumulatorem energii w komórce. Energia powstaje w wyniku hydrolizy tego związku:

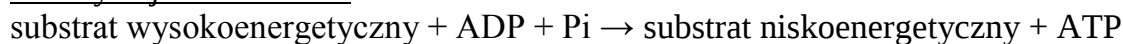


Niekiedy hydroliza zachodzi dalej:

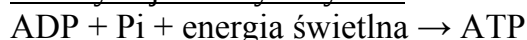


ATP powstaje w wyniku fosforylacji⁸ ADP:

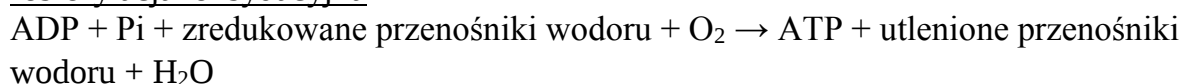
a) fosforylacja substratowa⁹



b) fosforylacja fotosyntetyczna¹⁰



c) fosforylacja oksydacyjna¹¹



7. Koenzym A¹² to uniwersalny węzeł metaboliczny, a więc związek, w którym skupiają się liczne przemiany, co pozwala na płynne połączenie istotnych szlaków metabolicznych.

Zbudowany z grupy –SH, która może reagować z grupą acylową¹³ związków organicznych

³ wynika z niego, że energia nie jest tworzona ani nie jest niszczona, lecz jedynie przepływa

⁴ wynika z niego, że ilość ogólnej energii nie maleje, ale ilość energii użytecznej maleje, gdyż zamieniana jest na bezużyteczne ciepło, które można wykorzystać do wykonania pracy jedynie w przypadku różnicy temperatur (przesuwanie się cząsteczek z obszaru chłodniejszego do cieplejszego)

⁵ stan nieuporządkowania

⁶ ATP

⁷ adenozynomonofosforan

⁸ kowalencyjne przyłączanie reszty fosforanowej do innego związku

⁹ zachodzi w początkowych reakcjach oddychania komórkowego (jest mało wydajna) i polega na przeniesieniu grupy fosforanowej z substratu wysokoenergetycznego na ADP

¹⁰ inaczej fotofosforylacja; zachodzi u fotoautotrofów i polega na zamianie energii świetlnej na chemiczną wiązań ATP

¹¹ zachodzi u wszystkich organizmów tlenowych (jest bardzo wydajna) i polega na wykorzystaniu energii elektronów przekazywanych z wodoru na tlen

¹² CoA

¹³ -C(=O)R; grupa pochodząca od kwasu karboksylowego

powstaje wtedy acylo-CoA¹⁴). Przykładem takiej reakcji jest przyłączanie grupy acetylowej¹⁵ (powstaje wtedy acetylo-CoA¹⁶).

8. Sposoby odżywiania się organizmów żywych:

a) autotrofy¹⁷

- fotoautotrofy przez fotosyntezę np. rośliny zielone, niektóre protisty, niektóre bakterie i sinice

☐ fotosynteza tlenowa¹⁸



☐ fotosynteza beztlenowa¹⁹



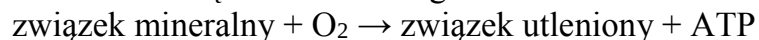
Równanie ogólne fotosyntezy:



gdzie: A – dawca wodoru, (CH₂O) – cukier

- chemoautotrofy

☐ utlenianie związku chemicznego



☐ asymilacja CO₂



b) heterotrofy²⁰

- holozoiki

☐ wszystkożercy

☐ roślinożercy

☐ mięsożercy

✓ padlinożercy

✓ drapieżniki

- półpasożyty i pasożyty

☐ pasożyty względne²¹

☐ pasożyty bezwzględne²²

✓ pasożyty stałe²³

✓ pasożyty okresowe²⁴

¹⁴ czyli reszta acylowa-koenzym A

¹⁵ -C(=O)CH₃; grupa pochodząca od kwasu octowego

¹⁶ czyli reszta acetylowa-koenzym A; resztę acetylową organizm może zużyć w celach energetycznych, zużyć do syntezy kwasów tłuszczowych lub przekształcić w ciała ketonowe, cholesterol bądź szkielety węglowe niektórych aminokwasów

¹⁷ inaczej samożywne

¹⁸ inaczej fotosynteza oksygeniczna

¹⁹ inaczej fotosynteza anoksygeniczna

²⁰ inaczej cudzożywne

²¹ inaczej pasożyty okolicznościowe lub fakultatywne; mogą funkcjonować jako pasożyty lub w stanie wolnym

²² inaczej pasożyty ściśle lub obligatoryjne

²³ wykorzystują żywiciela przez całe życie np. tasienmce

²⁴ wykorzystują żywiciela jedynie w czasie niektórych stadiów rozwojowych np. gzy

- ✓ pasożyty czasowe²⁵
- saprobionty
- saprofagi²⁶
- ✓ glebożercy
- ✓ mułożercy
- ✓ kałożercy
- saprofity²⁷

9. Bakterie chemosyntetyzujące dzielimy ze względu na rodzaj substratu energetycznego biorącego udział w utlenianiu na:

- azotowe
- bakterie *Nitrosomonas*
 $2\text{NH}_3 + 3\text{O}_2 \rightarrow 2\text{HNO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + \text{energia}$
- bakterie *Nitrobacter*
 $2\text{HNO}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{HNO}_3 + \text{energia}$
- siarkowe
- bakterie *Beggiatoa*
 $2\text{H}_2\text{S} + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{H}_2\text{O} + 2\text{S} + \text{energia}$
- bakterie *Thiotrix*
 $2\text{S} + 2\text{H}_2\text{O} + 3\text{O}_2 \rightarrow 2\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{energia}$
- żelazowe
 $2\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2 + \frac{1}{2}\text{O}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{Fe}(\text{OH})_3 + 4\text{CO}_2 + \text{energia}$
- wodorowe
 $2\text{H}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{H}_2\text{O} + \text{energia}$
- metanowe
 $\text{CH}_4 + 2\text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + \text{energia}$

10. Barwniki fotosyntetyczne to substancje, które są zdolne do absorpcji²⁸ światła (pochodzi ono ze Słońca – największego i najbardziej stabilnego źródła energii na Ziemi) i zamiany energii świetlnej na energię użyteczną biologicznie. Barwa światła, która nie jest pochłaniana przez barwniki danego organizmu jest zarazem jego kolorem (np. chlorofile nie pochłaniają światła zielonego, stąd zielona barwa roślin). Prawie wszystkie fotoautotrofy absorbują światło niebieskie i czerwone – najkorzystniejsze dla fotosyntezy. Niektóre barwniki:

a) chlorofile a, b, c, d²⁹

²⁵ wykorzystują żywiciela jedynie w czasie pożywiania się np. pijawki, kleszcze

²⁶ odżywiają się szczątkami organicznymi

²⁷ odżywiają się związkami pochodzącymi od szczątków organicznych

²⁸ pochłaniania

²⁹ roślina zawiera mieszaninę różnych chlorofili (nieznacznie różnią się od siebie długością pochłanianych fal), stąd pochłania ona duży zakres promieniowania; chlorofile to magnezoporfiryny (z centralnie położonym atomem magnezu oraz pierścieniami porfirowymi posiadającymi wiązania podwójne) z przyłączonym długim

b) fikobiliny³⁰

- fikokreatyna (czerwona)
- fikocyjanina (niebieska)

c) karotenoidy

- karoteny
- karoten (pomarańczowy)
- likopen (czerwony)
- ksantofile
- fukoksantyna (ciemnoczerwona lub brunatna)
- luteina (żółta)

W liściach występuje kilka barwników. W ciągu roku są maskowane przez chlorofile, jednakże jesienią, gdy chlorofile za pomocą enzymów zostają zdegradowane, pozostałe barwniki ujawniają się i nadają różnorakie barwy liściom.

11. Fotosystem³¹ to uporządkowana struktura kilkuset cząsteczek chlorofili ciasno i równomiernie ułożonych obok siebie tworzących sieć krystaliczną. Stwarza to o wiele większe możliwości pochłonięcia energii niż w przypadku pojedynczej cząsteczki. W przypadku cząsteczek fotosystemu wzbudzonych przez kwanty światła nie tracą one energii, lecz przekazują innym cząsteczkom w sieci (tzw. układ antenowy); w przypadku pojedynczej cząsteczki wzbudzonej przez kwant światła energia łatwo ulega rozproszeniu (elektrony wzbudzone przez pochłonięcie światła wracają na orbitale podstawowe wydzielając energię w postaci ciepła lub światła).
- W środku fotosystemu (w tzw. centrum reakcji) znajduje się przekształcona cząsteczka chlorofilu, która ma niższy poziom wzbudzenia niż cząsteczki układu antenowego, więc odbiera ona energię od cząsteczek antenowych, a jej elektrony osiągają poziom emisji i ulegają wybiciu poza cząsteczkę (koncepcja pułapki energetycznej). W centrum reakcji jest też pierwotny akceptor elektronów³², czyli cząsteczka odbierająca wybite elektrony i przekazująca je dalej.

12. Rodzaje fotosystemów:

- a) fotosystem I (PS_I)
- b) fotosystem II (PS_{II})

W błonach tylakoidów gran wbudowane są liczne fotosystemy obu typów, między którymi znajdują się cząsteczki tworzące łańcuch fotosyntetyczny³³.

ogonem fitolu o charakterze silnie hydrofobowym (nie uczestniczy on w absorpcji światła, a ma za zadanie kotwiczyć cząsteczkę chlorofilu w błonie tylakoidu)

³⁰ pochłaniają taki zakres fal, że umożliwiają fotosyntezę w głębokich partiach wody, gdzie dochodzi niewiele światła (chlorofile są tam nieskuteczne) np. sinice

³¹ inaczej fotoukład

³² jest nim forma białka ferredoksyny lub plastochinonu

³³ przenosi elektrony i protony

13. Jednostka fotosyntetyczna to zespół fotosystemów i łańcuchów przenoszących.

14. Fotosynteza

a) faza jasna³⁴

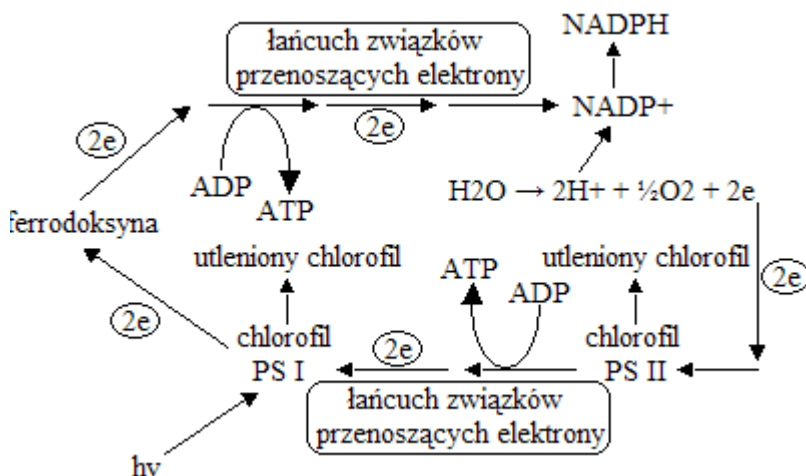
- zachodzi w błonach tylakoidów gran chloroplastów aktywnych fotosyntetycznie (u prokariotów w błonach tylakoidów)
- w fazie jasnej powstaje siła asymilacyjna³⁵, której składnikami są:
 - ATP gromadzący energię
 - NADPH³⁶ gromadzący potencjał redukcyjny niezbędny do syntezy cukrów
- faza jasna nazywana jest fazą przemiany energii (w fazie jasnej następuje naładowanie wiązań ATP i wytworzenie NADPH)

- równanie ogólne:



- wszystkie procesy fazy jasnej zachodzą równocześnie i są ze sobą sprzężone
- wyróżniamy:

- fosforylację fotosyntetyczną niecykliczną



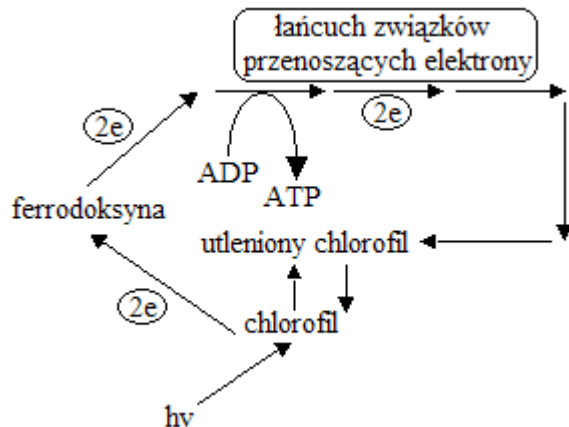
- ✓ pod wpływem światła dochodzi do pobudzenia PS_I i wybicia elektronów z centrum reakcji, które wędrują w łańcuchach fotosyntetycznych i trafiają na NADP⁺, który dobiera ze środowiska jony H⁺ i przyjmuje postać NADPH
- ✓ uzupełnienie elektronów w centrum reakcji PS_I przez zassanie elektronów z PS_{II}
- ✓ uzupełnienie elektronów w PS_{II} przez wykorzystanie elektronów z rozpadu wody ($\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{H}^+ + \frac{1}{2}\text{O}_2 + 2\text{e}^-$ – tzw. fotoliza, tlen uwalniany jest do atmosfery)
- ✓ powstaje gradient protonowy (na zewnątrz tylakoidu jest mniej protonów niż wewnątrz) w wyniku:
 - przepompowania jonów H⁺ ze stromy do wnętrza tylakoidu w czasie ich wędrówki w łańcuchu fotosyntetycznym z PS_I na PS_{II}

³⁴ zachodzi tylko przy udziale światła

³⁵ umożliwia zachodzenie fazy ciemnej

³⁶ zredukowany fosforan dinukleotydu nikotynoamidoadeninowego; powstaje przez przyłączenie jonu H⁺ do NADP⁺ (fosforan dinukleotydu nikotynoamidoadeninowego)

- fotolizy wody we wnętrzu tylakoidu
Znajdujące się wewnątrz tylakoidu jony H^+ mogą wracać do stromy jedynie przez kanały jonowe³⁷ (błona tylakoidu jest dla nich nieprzepuszczalna) – jony nimi wracające obdarzone są dużą energią kinetyczną zamienianą na ruch obrotowy innych białek tworzących czynniki sprzęgające; ruch ten umożliwia syntezę i uwolnienie powstających cząsteczek ATP (kanał jonowy i obracające się białko to tzw. syntaza ATP)
- ✓ schemat przepływu elektronów podczas fosforylacji fotosyntetycznej niecyklicznej: fotoliza wody → PS II → PS I → redukcja $NADP^+$
- fosforylację fotosyntetyczną cykliczną



- ✓ zachodzi przy deficycie wody
- ✓ pod wpływem światła dochodzi do pobudzenia PS_I i wybicia elektronów z centrum reakcji, które wędrują w łańcuchach fotosyntetycznych i wracają z powrotem (możliwe jest więc przepompowanie wodoru i synteza ATP)
- ✓ nie dochodzi do redukcji $NADP^+$ oraz fotolizy wody

b) faza ciemna³⁸

- zachodzi w stromie chloroplastów (u niektórych bakterii w cytoplazmie)
- faza ciemna nazywana jest fazą przemiany substancji (w fazie ciemnej zachodzi asymilacja CO_2 i powstanie związków organicznych będących produktami fotosyntezy)
- równanie ogólne:



- wyróżniamy trzy etapy:

□ karboksylacja

- ✓ przyłączenie 6 cząsteczek CO_2 do 6 cząsteczek rybulozo-1,5-bisfosforanu³⁹ katalizowane przez karboksylazę rybulozobifosforanową⁴⁰ – powstałe 6 cząsteczek sześciowęglowych rozpada się na 12 cząsteczek kwasu 3-fosfoglicerynowego⁴¹

□ redukcja

³⁷ CF; pojedynczy kompleks sprzęgający transport H^+ z syntezą ATP; jest częścią białkowych kompleksów sprzęgających

³⁸ inaczej cykl Calvina; światło jest czynnikiem obojętnym

³⁹ RuBP; pentoza będąca akceptorem CO_2

⁴⁰ RuBisCO

⁴¹ PGA; trioza

- ✓ przeniesienie reszty fosforanowej z 12 cząsteczek ATP na 12 cząsteczek PGA
- ✓ redukcja 12 cząsteczek PGA do 12 cząsteczek aldehydu 3-fosfoglicerynowego⁴² przez przyłączenie wodoru pochodzącego z 12 cząsteczek NADPH
- regeneracja
- ✓ 5/6 (10 cząsteczek) powstałego PGAL służy do odtworzenia RuBP ($5 \times C_3 \rightarrow 3 \times C_5$)
- ✓ 1/6 (2 cząsteczki) powstałego PGAL to zysk fotosyntezy (z nich otrzymujemy wtórne produkty fotosyntezy: glukoza⁴³, ketokwasy⁴⁴, kwasy tłuszczowe⁴⁵)

15. Fotooddychanie

- zachodzi w oświetlonych chloroplastach przy niedoborze CO₂ (stąd nie występuje u roślin C₄)
- utlenianie RuBP przy użyciu ATP katalizowane przez karboksylazę rybulozobifosforanową – powstaje CO₂
- proces jest niekorzystny, gdyż zmniejszenie liczby cząsteczek RuBP ogranicza wydajność fotosyntezy

16. Fotosynteza C₃ i C₄

- niektóre rośliny (tzw. rośliny C₄⁴⁶) mogą zwiększać stężenie CO₂ w komórkach miękiszu asymilacyjnego i go gromadzić, co ma duże znaczenie u roślin tropikalnych, gdzie za dnia następuje zamykanie aparatów szparkowych np. kukurydza, trzcina cukrowa
- powyższą funkcję umożliwia układ wieńcowy, tworzony przez dwie koncentryczne warstwy miękiszu asymilacyjnego otaczające wiązki przewodzące w liściach:
- pochwy wokółwiązkowe⁴⁷
- mezofil⁴⁸

⁴² PGAL

⁴³ z niej zaś inne cukry; aby otrzymać jedną cząsteczkę glukozy (heksozę) potrzebne są dwa obroty cyklu Celvina, ponieważ w wyniku jednego obrotu powstaje tylko jedna cząsteczka PGAL (trioza)

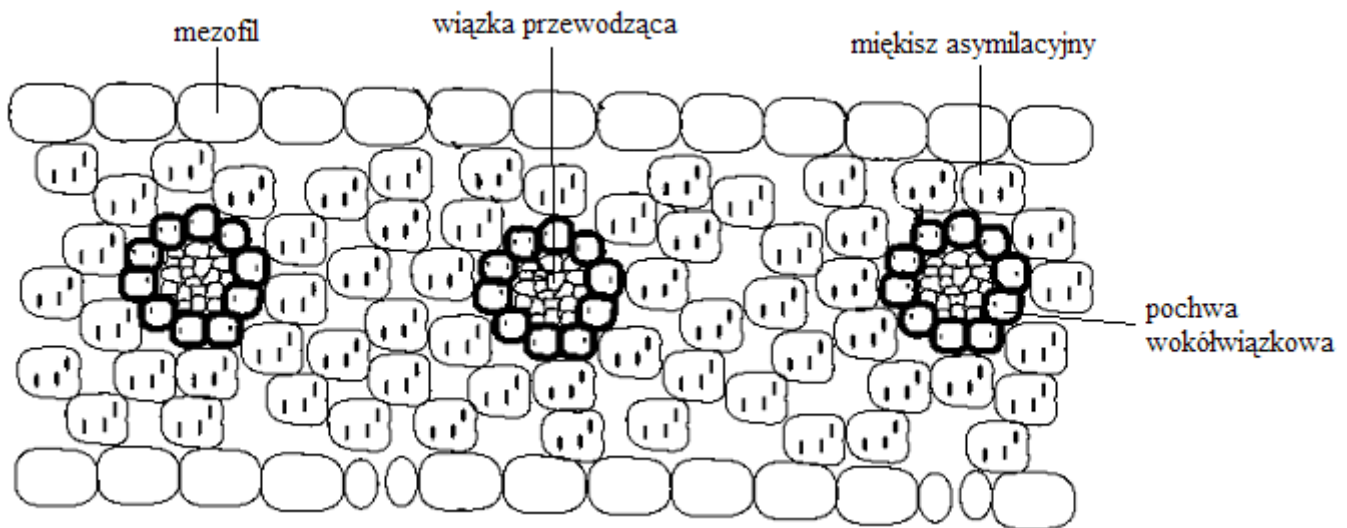
⁴⁴ z nich zaś aminokwasy

⁴⁵ z nich zaś tłuszczone

⁴⁶ pozostałe nazywamy roślinami C₃

⁴⁷ komórki wewnętrzne; mają chloroplasty pozbawione gran, z licznymi enzymami cyklu Calvina

⁴⁸ komórki zewnętrzne; mają chloroplasty z licznymi granami i nietypowymi enzymami



- faza jasna (zachodzi normalnie)
 - szlak Hatcha-Slacka (stanowi wstęp do fazy ciemnej)
 - w mezofilu (dzięki nietypowym enzymom) zachodzi przyłączenie CO_2 do fosfoenolopirogronianu⁴⁹ – powstała cząsteczka szczawiooctanu⁵⁰ redukuje się przy udziale NADH_2 – powstaje jabłczan⁵¹ i NADH^+
 - jabłczan przenika przez liczne plazmodesmy do komórek pochwy wokółwiązkowej, gdzie ulega dekarboksylacji – powstaje pirogonian⁵² i CO_2
 - pirogonian wędruje do mezofilu i przekształca się przy udziale ATP w PEP
 - CO_2 wchodzi do cyklu Calvina i jest przyłączany do RuBP
- Tak więc rośliny C_4 posiadają dwa akceptory CO_2 : RuBP (wtórny akceptor CO_2) i PEP (pierwotny akceptor CO_2).

17. Czynniki wpływające na fotosyntezę:

a) zewnętrzne

- barwa i natężenie światła (nadmierne oświetlenie hamuje tempo procesu w wyniku utleniania chlorofilu w fotosystemach)
- temperatura (wpływa na fazę ciemną, w której występują enzymy; zbyt wysoka temperatura powoduje gwałtowny spadek tempa procesu)
- stężenie CO_2 (duże stężenie poprawia wydajność asymilacji CO_2 przez RuBP; u roślin szklarniowych źródłem CO_2 jest gleba, gdzie destruenci przeprowadzają rozkład materii organicznej)
- ilość wody (niedobór powoduje więdnienie liści i zamykanie aparatów szparkowych)
- niektóre pierwiastki mineralne (np. niedobór żelaza, magnezu czy azotu hamuje syntezę chlorofilu; niedobór potasu, manganu czy chloru hamuje aktywność enzymów)

b) wewnętrzne

⁴⁹ PEP; trioza będąca akceptorem CO_2

⁵⁰ tetroza

⁵¹ tetroza

⁵² trioza

- ilość i rozmieszczenie aparatów szparkowych
- powierzchnia blaszki liściowej
- grubość kutykuli
- rozmieszczenie chloroplastów i zawartość w nich chlorofilu
- położenie chloroplastów (przy słabym oświetleniu chloroplasty ustawiają się prostopadle do promieni świetlnych, przy silnym oświetleniu chloroplasty ustawiają się równolegle do promieni świetlnych, przy umiarkowanym świetle lub w ciemności chloroplasty ustawiają się równomiernie)

18. Oddychanie komórkowe⁵³ polega na utlenianiu prostych związków organicznych w celu uwolnienia energii. Składa się nań wiele reakcji katalizowanych enzymatycznie, co pozwala na stopniowe uwalnianie energii w małych porcjach (jest to wydajne, a poza tym gwałtowne spalanie prowadziłoby do śmierci termicznej komórki). Zachodzi w cytoplazmie i we wnętrzu mitochondrium. Substratem oddechowym często jest glukoza, gdyż łatwo utlenia się do CO₂ i H₂O, a sporą część energii wydzielonej można zmagazynować w ATP (resztę organizm traci w postaci ciepła).

19. Oddychanie beztlenowe

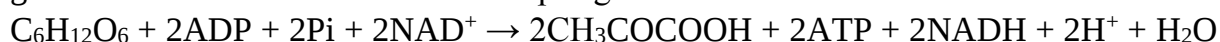
a) glikoliza

- zachodzi w cytoplazmie
- przeniesienie reszty fosforanowej z ATP na glukozę – powstały glukoza-6-fosforan jest izomeryzowany do fruktozo-6-fosforanu
- przeniesienie reszty fosforanowej z ATP na fruktozo-6-fosforan – powstały fruktozo-1,6-difosforan jest rozkładany do aldehydu-3-fosfoglicerynowego⁵⁴ oraz fosfodihydroksyacetonu
- izomeryzacja fosfodihydroksyacetonu – powstaje druga cząsteczka aldehydu-3-fosfoglicerynowego
- odwodornienie (akceptorem wodoru jest NAD⁺) i przyłączenie nieorganicznej reszty fosforanowej do dwóch cząsteczek aldehydu-3-fosfoglicerynowego – powstają dwie cząsteczki kwasu 1,3-difosfoglicerynowego i dwie cząsteczki NADH
- przeniesienie reszty fosforanowej z dwóch cząsteczek kwasu 1,3-difosfoglicerynowego na dwie cząsteczki ADP – powstają dwie cząsteczki ATP (fosforylacja substratowa) oraz dwie cząsteczki 3-fosfoglicerynianu
- przekształcenie dwóch cząsteczek 3-fosfoglicerynianu w dwie cząsteczki 2-fosfoglicerynianu
- odwodnienie dwóch cząsteczek 2-fosfoglicerynianu – powstają dwie cząsteczki fosfoenolopirogronianu

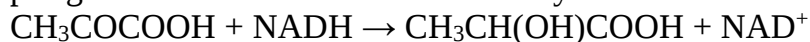
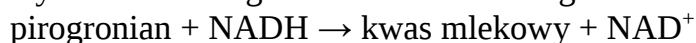
⁵³ inaczej oddychanie wewnątrzkomórkowe

⁵⁴ trioza

- przeniesienie reszty fosforanowej z dwóch cząsteczek fosfoenolopirogronianu na dwie cząsteczki ADP – powstają dwie cząsteczki ATP (fosforylacja substratowa) oraz dwie cząsteczki pirogronianu

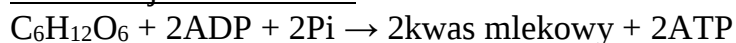


- b) redukcja przez uwodornienie powstałego w glikolizie kwasu pirogronowego bez wydzielania energii do kwasu mlekowego:



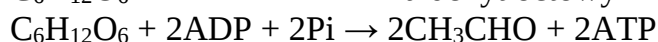
20. Podział oddychania beztlenowego:

a) fermentacja mleczanowa⁵⁵



b) fermentacja alkoholowa⁵⁶

- przekształcenie pirogronianu w aldehyd octowy i CO_2
- uwodornienie (źródłem wodoru jest NADH) aldehydu octowego – powstaje alkohol etylowy i NAD^+



21. Oddychanie tlenowe

a) glikoliza

- zachodzi w cytoplazmie
- przeniesienie reszty fosforanowej z ATP na glukozę – powstały glukoza-6-fosforan jest izomeryzowany do fruktozo-6-fosforanu
- przeniesienie reszty fosforanowej z ATP na fruktozo-6-fosforan – powstały fruktozo-1,6-difosforan jest rozkładany do aldehydu-3-fosfoglicerynowego⁵⁷ oraz fosfodihydroksyacetonu
- izomeryzacja fosfodihydroksyacetonu – powstaje druga cząsteczka aldehydu-3-fosfoglicerynowego
- odwodornienie (akceptorem wodoru jest NAD^+) i przyłączenie nieorganicznej reszty fosforanowej do dwóch cząsteczek aldehydu-3-fosfoglicerynowego – powstają dwie cząsteczki kwasu 1,3-difosfoglicerynowego i dwie cząsteczki NADH
- przeniesienie reszty fosforanowej z dwóch cząsteczek kwasu 1,3-difosfoglicerynowego na dwie cząsteczki ADP – powstają dwie cząsteczki ATP (fosforylacja substratowa) oraz dwie cząsteczki 3-fosfoglicerynianu
- przekształcenie dwóch cząsteczek 3-fosfoglicerynianu w dwie cząsteczki 2-fosfoglicerynianu

⁵⁵ zachodzi u bakterii mlekowych

⁵⁶ zachodzi u drożdży i niektórych bakterii

⁵⁷ trioza

- odwodnienie dwóch cząsteczek 2-fosfoglicerynianu – powstają dwie cząsteczki fosfoenolopirogronianu
- przeniesienie reszty fosforanowej z dwóch cząsteczek fosfoenolopirogronianu na dwie cząsteczki ADP – powstają dwie cząsteczki ATP (fosforylacja substratowa) oraz dwie cząsteczki pirogronianu



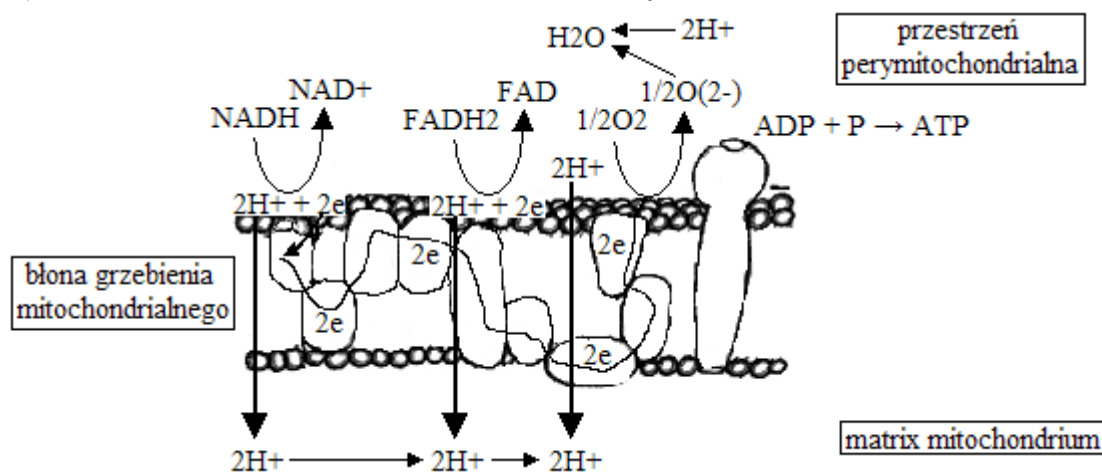
b) reakcja pomostowa

- zachodzi w matrix mitochondrium
- dekarboksylacja, dehydrogenacja dwóch cząsteczek pirogronianu (akceptorem wodoru jest NAD^+) i przyłączenie dwóch cząsteczek CoA – powstają dwie cząsteczki acetylo-CoA, dwie cząsteczki CO_2 i dwie cząsteczki NADH

c) cykl Krebsa⁵⁸

- zachodzi w matrix mitochondrium
- kondensacja szczawiooctanu z grupą acetylową jednej cząsteczki acetylo-CoA – powstaje jedna cząsteczka cytrynianu⁵⁹ (drugi obieg cyklu Krebsa pozwala na zużycie drugiej cząsteczki acetylo-CoA)
- kolejne reakcje prowadzą do odtworzenia szczawiooctanu – podczas jednego obiegu cyklu Krebsa zachodzi dwukrotnie dekarboksylacja (powstają więc dwie cząsteczki CO_2), trzykrotnie dehydrogenacja z udziałem NAD^+ (powstają więc trzy cząsteczki NADH), jednokrotnie dehydrogenacja z udziałem FAD ⁶⁰ (powstaje więc jedna cząsteczka FADH_2 ⁶¹), jednokrotnie fosforylacja substratowa (powstaje jedna cząsteczka GTP, a z niej ATP)

d) utlenianie końcowe w łańcuchu oddechowym⁶²



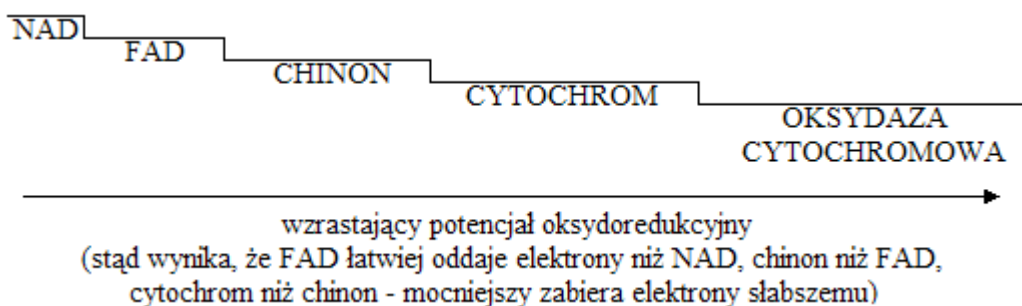
⁵⁸ inaczej cykl kwasu cytrynowego

⁵⁹ heksoza

⁶⁰ dinukleotyd flawinoadeninowy

⁶¹ zredukowany dinukleotyd flawinoadeninowy

⁶² inaczej odtwarzanie NAD^+ i FAD



- zachodzi w błonach grzebieni mitochondrialnych
 - z powstałych w cyklu Krebsa NADH i FADH₂ pochodzą atomy wodoru, które wędrują w łańcuchach oddechowych. Przez jedno z tworzących łańcuch oddechowy białek atomy wodoru rozkładane są na protony i elektrony ($H_2 \rightarrow 2H^+ + 2e^-$). Ostatecznie elektrony trafiają na O₂ (elektrony redukujące tlen umożliwiają pracę pompy protonowej – stąd nazwa procesu fosforylacja oksydacyjna), który dobiera ze środowiska jony H⁺ i powstaje H₂O
 - powstaje gradient protonowy (w matrix mitochondrium jest mniej protonów niż w przestrzeni perymitochondrialnej⁶³) w wyniku:
 - przepompowania jonów H⁺ z matrix mitochondrium do przestrzeni perymitochondrialnej dzięki energii pochodzącej z transportu elektronów w łańcuchach oddechowych. Znajdujące się w przestrzeni perymitochondrialnej jony H⁺ mogą wracać do matrix mitochondrium jedynie przez kanały jonowe⁶⁴ (błona mitochondrium jest dla nich nieprzepuszczalna) – jony nimi wracające obdarzone są dużą energią kinetyczną zamienianą na ruch obrotowy innych białek tworzących czynniki sprzęgające; ruch ten umożliwia syntezę i uwolnienie powstających cząsteczek ATP (kanał jonowy i obracające się białko to tzw. syntaza ATP).
- Para elektronów łańcucha oddechowego pochodzących z NADH pozwala na przepompowanie tylu jonów H⁺, że możliwa jest synteza trzech cząsteczek ATP, zaś para elektronów łańcucha oddechowego pochodzących z FADH₂ pozwala na przepompowanie tylu jonów H⁺, że możliwa jest synteza dwóch cząsteczek ATP (różnica wynika stąd, iż elektrony z FADH₂ przekazywane są na łańcuch oddechowy w miejscu o niższym poziomie energetycznym).

22. Oddychanie beztlenowe a tlenowe

<u>CECHA</u>	<u>FERMENTACJA MLECZANOWA</u>	<u>ODDYCHANIE TLENOWE</u>
<u>substrat oddechowy</u>	<u>glukoza</u>	<u>glukoza i tlen</u>
<u>produkt końcowy</u>	<u>kwas mlekowy</u>	<u>CO₂ i H₂O</u>
<u>miejsce zachodzenia</u>	<u>cytozol</u>	<u>cytozol i wnętrze mitochondrium</u>
<u>etapy</u>	<u>glikoliza, redukcja pirogronianu</u>	<u>glikoliza, reakcja pomostowa, cykl Krebsa, utlenianie końcowe</u>
<u>liczba powstałych moli ATP z 1 mola glukozy</u>	<u>4 mole ATP</u>	<u>40 moli ATP</u>
<u>zysk energetyczny</u>	<u>2 mole ATP</u>	<u>36 moli ATP</u>

⁶³ przestrzeń między błoną zewnętrzną a wewnętrzną mitochondrium

⁶⁴ CF; pojedynczy kompleks sprzęgający transport H⁺ z syntezą ATP; jest częścią białkowych kompleksów sprzęgających

23. Czynniki wpływające na tempo oddychania

a) wewnętrzne

- organizm
- rodzaj komórki
- wiek komórki
- liczba mitochondriów w komórce
- chwilowe zapotrzebowanie na energię

b) zewnętrzne

- temperatura
- stężenie CO₂ i O₂
- uwodnienie komórek
- tlenek węgla lub cyjanek potasu (blokują oksydazę cytochromową, której białka – cytochrom a i cytochrom a₃ – są końcowymi przenośnikami elektronów w łańcuchu oddechowym)

24. Oddychanie komórkowe, gdy substratem są tłuszczone

- zachodzi w matrix mitochondrium
- hydroliza tłuszczu obojętnego (trójgliceryd) – powstaje glicerol i kwas tłuszczowy
- przekształcenie glicerolu w fosfodihydroksyaceton
- przyłączenie CoA do kwasu tłuszczowego, tworzy się acylo-CoA, który przenoszony przez karnitynę do wnętrza mitochondrium ulega β-oksydacji przy udziale NAD⁺ i FAD – powstaje 1 cząsteczka acetylo-CoA, 1 cząsteczka acylo-CoA (gdzie grupa acylowa równa się łańcuchowi kwasu tłuszczowego krótszego o dwa atomy węgla wykorzystane w grupie acetylowej acetylo-CoA), 1 cząsteczka NADH i 1 cząsteczka FADH₂
- acetylo-CoA wchodzi do cyklu Krebsa, a β-oksydacja się powtarza aż do momentu utlenienia całej cząsteczki kwasu tłuszczowego

25. Przemiany związków zawierających azot

a) aminokwasy

- przeniesienie reszty aminowej z rozkładanego aminokwasu na glutaminian lub pirogronian – powstaje glutamina lub alanina i ketokwasy⁶⁵
- włączenie ketokwasów do glikolizy (np. produkty deaminacji alaniny i seryny) lub cyklu Krebsa (np. produkty deaminacji glutaminy i argininy)
- glutamina i alanina wydzielane są do krwi i transportowane do wątroby gdzie zachodzi deaminacja – powstałe jony amonowe przetwarzane są przy udziale dwóch moli ATP i CO₂ w karbamylfosforan
- karbamylfosforan wchodzi do cyklu mocznikowego⁶⁶:
- przyłączenie karbamylfosforanu do ornityny⁶⁷ – powstaje cytrulina

⁶⁵ łańcuchy węglowe

⁶⁶ inaczej cykl ornitynowy lub cykl aminokwasów niebiałkowych; zachodzi w cytoplazmie i mitochondrium, gdzie sprzężony jest z cyklem Krebsa; do wytworzenia 1 mola mocznika potrzeba 4 moli ATP

- ❑ kondensacja cytruliny z asparaginianem przy udziale ATP – powstały arginiobursztynian rozpada się na fumaran i argininę
- ❑ arginina rozpada się pod wpływem wody na mocznik i ornitynę
- ❑ usuwanie mocznika wraz z moczem

b) zasady azotowe

- przekształcenie puryn w kwasek moczowy oraz rozkład pirymidyn do mniejszych cząsteczek
- usuwanie kwasu moczowego wraz z moczem
- włączanie mniejszych cząsteczek rozkładu pirymidyn do szlaków podstawowych

26. Punkt kompensacyjny to natężenie światła, przy którym równoważą się procesy pobierania (fotosynteza) i wydzielania CO₂ (oddychanie komórkowe, fotooddychanie) przez rośliny.

27. Enzymy towarzyszą każdej reakcji biochemicznej w organizmie, umożliwiają jej zajście w granicach temperatur fizjologicznych, przyspieszają jej przebieg obniżając energię aktywacji oraz umożliwiają szybsze osiągnięcie stanu równowagi⁶⁸. Nie zużywają się i nie zmieniają w czasie reakcji. Enzymy są białkami o strukturze III-rzędowej. Enzymy dzielą się na:

a) proste, są czystymi białkami

b) złożone, składają się z:

- apoenzymu⁶⁹
- koenzymu⁷⁰ lub grupy prostetycznej⁷¹

28. Enzymy podzielono na sześć klas w zależności od typu katalizowanej reakcji:

- oksydoreduktazy⁷²
- transferazy⁷³
- hydrolazy⁷⁴
- liazy⁷⁵

⁶⁷ akceptor karbamylfosforanu

⁶⁸ w roztworze z enzymem cząsteczki nie zderzają się beładnie, przez co rośnie prawdopodobieństwo zderzeń efektywnych

⁶⁹ część białkowa odpowiadająca za specyficzność substratową (decyduje jaki substrat przyłącza się do enzymu). Posiada tzw. centrum allosteryczne, czyli miejsce przyłączenia regulatorów allosterycznych (patrz: inhibicja allosteryczna)

⁷⁰ część niebiałkowa nietrwale (odwracalnie) połączona z grupą białkową, odpowiadająca za typ katalizowanej reakcji (decyduje jakiej przemianie ulegnie substrat). Posiada tzw. centrum aktywne, czyli miejsce przyłączenia substratów. Wraz z apoenzymem tworzy tzw. holoenzym

⁷¹ część niebiałkowa trwale połączona z grupą białkową, odpowiadająca za typ katalizowanej reakcji (decyduje jakiej przemianie ulegnie substrat). Posiada tzw. centrum aktywne, czyli miejsce przyłączenia substratów

⁷² reakcje redox

⁷³ enzymy przenoszące grupy funkcyjne z jednej cząsteczki na inną

⁷⁴ reakcje rozpadu z udziałem wody np. enzymy trawienne

⁷⁵ reakcje rozpadu bez udziału wody

- izomerazy⁷⁶
- ligazy⁷⁷

29. Etapy katalizy enzymatycznej

- aktywacja enzymu i substratu
- przyłączenie enzymu do substratu – powstaje kompleks enzym-substrat (dochodzi wtedy do przemieszczenia określonych elektronów substratu, a wiązania chemiczne substratu ulegają naprężeniu co prowadzi do obniżenia energii aktywacji)
- enzym zapoczątkowuje reakcje i przyspiesza ją
- substrat uległ przemianie – powstaje kompleks enzym-produkt
- odłączenie produktów reakcji od enzymu, który niezmieniony może przyłączyć kolejną cząstkę substratu

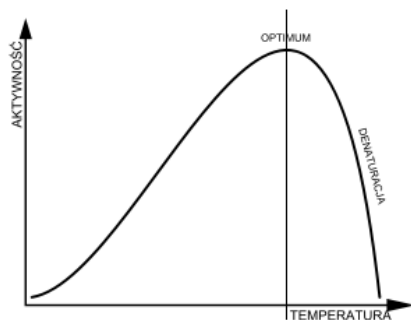
Większość enzymów charakteryzuje się specyficnością substratową, czyli „jeden enzym – jedna reakcja”.

30. Modele działania enzymów:

- model zamka i klucza⁷⁸
- model indukcyjnego dopasowania⁷⁹

31. Czynniki wpływające na pracę enzymów

- odczyn pH środowiska
- temperatura



- inhibitory⁸⁰ i induktory⁸¹:

⁷⁶ reakcje przegrupowania wewnątrzcząsteczkowego

⁷⁷ reakcje syntezy

⁷⁸ zakłada, że substrat pasuje do centrum aktywnego jak klucz do zamka (nie pozwoliłoby to jednak na tak znaczne obniżenie energii aktywacji, stąd model ten nie jest poprawny)

⁷⁹ inaczej model ręki i rękawiczki; zakłada, że konformacja substratu i centrum aktywnego nie są identyczne – w trakcie powstawania kompleksu enzym-substrat substrat jest „wciągany” (enzym nie zmienia swoich wiązań, gdyż jego duża masa powoduje stabilność i mniejszą podatność na odkształcenia), co powoduje naprężenie wiązań w obu składnikach kompleksu

⁸⁰ związek powodujący zahamowanie reakcji

⁸¹ inaczej aktywatory; związek powodujący pobudzenie reakcji

❑ inhibicja kompetycyjna⁸²

- ✓ rywalizacja dwóch podobnych do siebie cząsteczek: substratu i inhibitora o centrum aktywne enzymu – przyłączony zostaje albo substrat albo inhibitor
- ✓ skutkiem zmniejszenie szybkości katalizy (przy zwiększeniu stężenia inhibitora)
- ✓ proces odwracalny poprzez zwiększenie stężenia substratu
- ✓ przykładem takiego inhibitora jest etanol (może blokować np. toksyczny metanol, stąd podawanie etanolu przy zatruciach metanolem jest metodą ratowania życia)

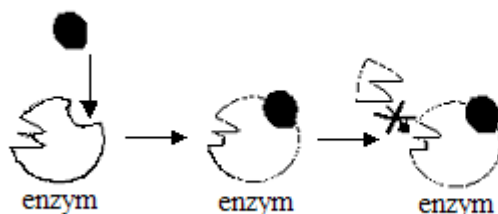
❑ inhibicja niekompetycyjna⁸³

- ✓ przyłączenie dwóch niepodobnych do siebie cząsteczek: substratu i inhibitora do centrum aktywnego enzymu
- ✓ skutkiem zmniejszenie szybkości katalizy
- ✓ proces odwracalny
- ✓ przykładem takiego inhibitora są niektóre związki rtęci

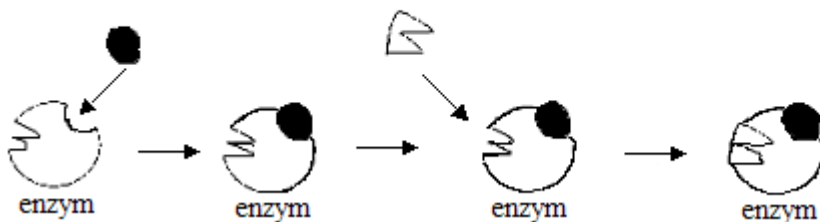
❑ inhibicja allosteryczna⁸⁴

- ✓ przyłączenie inhibitora lub induktora (tzw. regulator allosteryczny) do centrum allosterycznego enzymu, co powoduje zmianę jego struktury przestrzennej
- ✓ skutkiem zablokowanie enzymu (przy zastosowaniu inhibitora allosterycznego) lub odblokowanie enzymu (przy zastosowaniu induktora allosterycznego)
- ✓ proces często wspomagany ujemnym sprzężeniem zwrotnym – dany substrat ulega kolejnym przemianom przy udziale enzymu aż w końcu powstanie w tym procesie związek będący inhibitorem enzymu (hamuje więc rozkład kolejnych cząstek substratu chroniąc się przed jego nadprodukcją)

DZIAŁANIE INHIBITORA



DZIAŁANIE INDUKTORA



- ✓ proces odwracalny
- ✓ przykładem takiego inhibitora jest izoleucyna (powstaje w wyniku enzymatycznej przemiany treoniny, blokując następnie enzym – ujemne sprzężenie zwrotne)

⁸² inaczej hamowanie kompetycyjne

⁸³ inaczej hamowanie niekompetycyjne

⁸⁴ inaczej regulacja allosteryczna