

# A biokémiai folyamatok alapjai

Az élő sejtekben kémiai folyamatok játszódnak le. Ezek a folyamatok nem feltétlenül hasonlítanak azokra a kémiai reakciókra, amikről korábban tanultunk. Alapvető különbség, hogy a spontán létrejöttükhöz szükséges energia magas, ezért katalizátorok nélkül ezek a folyamatok nem játszódhatnak le. Az élő szervezetek kémiai folyamatainak katalizátorai az **enzimek**. Az enzimek specifikusak, azaz egy adott folyamatot tudnak csak felgyorsítani, létrehozni. Az *invertáz* nevű enzim például a répacukrot bontja fel glükózra és fruktózra, de a szintén két gyűrűből álló tejucukorral más nem tud mit kezdeni.

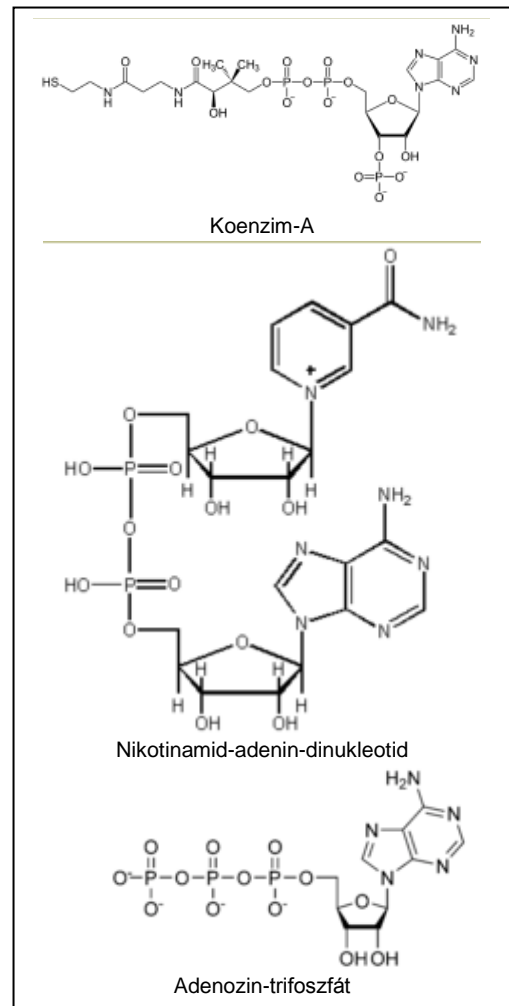
Az enzimek szerkezetüket tekintve fehérjék. Különleges működésüket speciális térszerkezetük teszi lehetővé. (Ezért is fontos, hogy az élőlényekben olyan körülmények legyenek, amikben állandó a fehérjék térszerkezete. Ezt a belső állandóságot nevezik *homeosztázisnak*.) Sok enzimhez kapcsolódnak olyan részek is, melyek nem fehérje szerkezetűek. Ezeket koenzimeknek nevezzük. A koenzimek gyakran egy adott feladatra specializálódtak, nukleotid szerkezetű vegyületek, egy ősbib biokémiai rendszer maradványai. Mi most három ilyen koenzimmel ismerkedünk meg:

A **Koenzim-A** az acetil csoportok szállítását végzi. Az acetil csoport kovalens kötással kapcsolódik hozzá.

A nikotinamid-adenin-dinukleotid (**NAD<sup>+</sup>**) feladata a magas energiájú hidrogének szállítása. Hidrogén bőségesen található a sejtekben, de többségében alacsony energiaszinten, vízmolekulákban. A NAD<sup>+</sup> ezzel szemben kifejezetten magas energiaszinten levő hidrogének szállítását végzi.

A biokémiai folyamatokban fontos még egy nukleotid, amivel már megismerkedhettünk a nukleinsavak tanuláskor. Az **ATP** vagyis *adenozin-trifoszfát* egy ribózt, egy adenint és foszfátot tartalmaz (akár az RNS-t felépítő nukleotida), itt azonban a foszfáthoz még egy újabb foszforsav is csatlakozik, amihez még egy újabb foszforsav kötődik. Ez az úgynevezett pirofoszfát kötés nagyon magas energiatartalmú. Ha egy mol ATP-ről leválasztjuk a legkülső foszfátot 30,5 kJ energia szabadul fel (szükség esetén a második foszfát is leválasztható, úgy a teljes energianyereség 45,6 kJ/mol). Az olyan folyamatok nagy részében, ahol energiára van szükség, azt többnyire ATP bontásával fedezi a sejt, a felszabaduló energiát pedig ATP szintézisével köti meg. Érdekes még megjegyezni, hogy az AMP (adenozin monofoszfát) egy különleges formája a ciklikus AMP a sejten belüli folyamatok szabályozásában játszik központi szerepet.

A sejten zajló kémiai folyamatokat megkülönböztethetjük aszerint, hogy energia befektetést igényelnek-e, miáltal bonyolultabb, magasabb energiájú anyagok jönnek létre (**felépítő folyamatok**), vagy ellenkezőleg, a bonyolultabb molekulák lebontásával energiát szabadítanak-e fel (**lebontó folyamatok**). A következőkben a lebontó folyamatok fő útvonaltát tanuljuk meg vázlatosan, valamint a felépítő folyamatok egy speciális típusával ismerkedünk meg.



## Lebontó folyamatok

A lebontó folyamatok központi molekulája a szőlőcukor, a glükóz. Szinte minden egyéb anyag lebontása a kapcsolódik valamiképpen a glükózéhoz. A glükóz lebontása négy lépésben történik: **glikolízis**, **piroszőlősav redukció**, **citromsav-ciklus** és **terminális oxidáció**. A prokariótákban (baktériumokban) csak az első két lépés játszódik le, a második kettő az eukarióták sajátja.

### Glikolízis

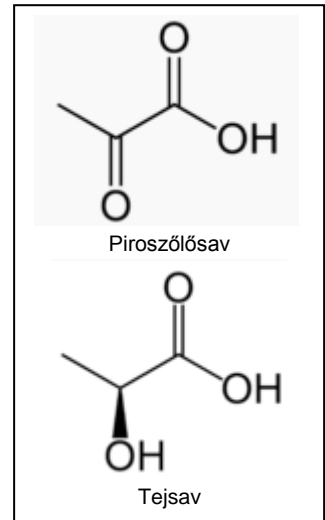
Ebben a folyamatban a hat szénatomos szőlőcukor két piroszőlősavra bomlik le. A sok lépéses folyamat minden egyes lépését más-más enzim katalizálja. A glikolízis során a szervezet 2 ATP-t állít elő és két NADH is keletkezik. Ez a folyamat a **sejtplazmában** játszódik le.

### Piroszőlősav redukció

A prokariótáknak valamilyen módon vissza kell nyerniük a  $\text{NAD}^+$  molekulát, hogy további glükóz molekulákat bonthassanak le. Ezt a célt szolgálja a piroszőlősav átalakítása **etil-alkohollá**, ebben a lépésben felhasználódik a NADH és szén-dioxid keletkezik. Ugyanígy termelnek energiát egyes egysejtű élőlények, például élesztőgombák.

Ha az eukarióta szervezeteknek nincsen elegendő oxigénjük, a lebontás nem folytatódhat a citromsav-ciklusban, ebben az esetben a keletkező piroszőlősav a NADH felhasználásával átalakul **tejsavvá**. Ez a sav okozza az izomlázatot, de a rákos sejtek is szinte kizárólag így termelnek ATP-t.

Sejtjeink normális működése során a piroszőlősavból kiválik egy szén-dioxid és a keletkező acetyl csoport egy Koenzim-A molekulához kapcsolódik. Eközben egy NADH keletkezik. Ez a folyamat már a mitokondriumban történik meg.



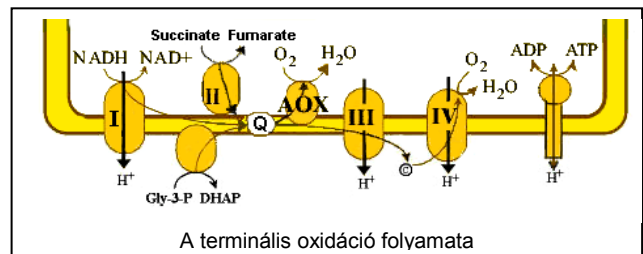
### Citromsav-ciklus

A citromsav-ciklus a mitokondrium belső membránján belül (az úgynevezett **mátrixban**) játszódik le. Mint a neve is mutatja körfolyamat, ebbe lépnek be a korábban keletkezett acetyl-csoportok, amiket a Koenzim-A szállít. A ciklus során két molekula szén-dioxid keletkezik (tehát ezáltal a glükóz összes szénatomja szén-dioxidba kerül), de eközben termelődik egy ATP és több NADH molekula is. Igazán ezek az utóbbiak, vagyis a bennük megkötött magas energiájú elektronok lesznek a fontosak a következő lépésben.

### Terminális oxidáció

Ez a folyamat a mitokondrium belső membránján játszódik le és két részből áll. Az elektrontranszport során a NADH magas energiájú elektronját átadja egy a belső membránba merülő fehérjének. Ez a fehérje tovább adja egy következő fehérjének, amin már alacsonyabb az elektron energiaszintje. A felszabaduló energiát arra használja fel, hogy hidrogén ionokat juttasson át a mátrixból a membránok közötti térbe. Mivel a mátrix enyhén lúgos, a membránok közötti tér pedig erősen savas, ez aktív transzport, azaz energiát igénylő folyamat. Miután több fehérje adogatta egymásnak az egyre alacsonyabb energiájú elektront, azt végül egy oxigén veszi fel, ezáltal víz képződik. Ez az a lépés, amihez az oxigénre szükségünk van, oxigén hányában a felhalmozódó elektronok miatt leáll a terminális oxidáció.

A terminális oxidáció másik része az ATP előállítás, az ezt végző enzim szintén a mitokondrium belső membránjában található meg. A membránok közötti térből enged át hidrogén-ionokat a mátrixba, a közben



felszabaduló energiát pedig ATP gyártására használja fel. Ebben a folyamatban, ha az egy glükózból származó összes NADH-t felhasználja a szervezet összesen 30-32 ATP szintetizálódik. Jól látható tehát, hogy ez mennyivel hatékonyabb a glikolízisnél, amiben egy glükóz lebontásából 2 ATP-t nyert a szervezet.

## Felépítő folyamatok

A lebontó folyamatok során a szervezet ATP-t állított elő, az ebben tárolt energia jelentős részét a felépítő folyamatok használják fel. A felépítő folyamatokban egyszerűbb vegyületekből lesznek bonyolult makromolekulák. Ezeket a folyamatokat is enzimek teszik lehetővé. Most a sokféle felépítő folyamat közül kettőt emelünk ki, a nukleinsavak és a fehérjék előállítását (szintézisét).

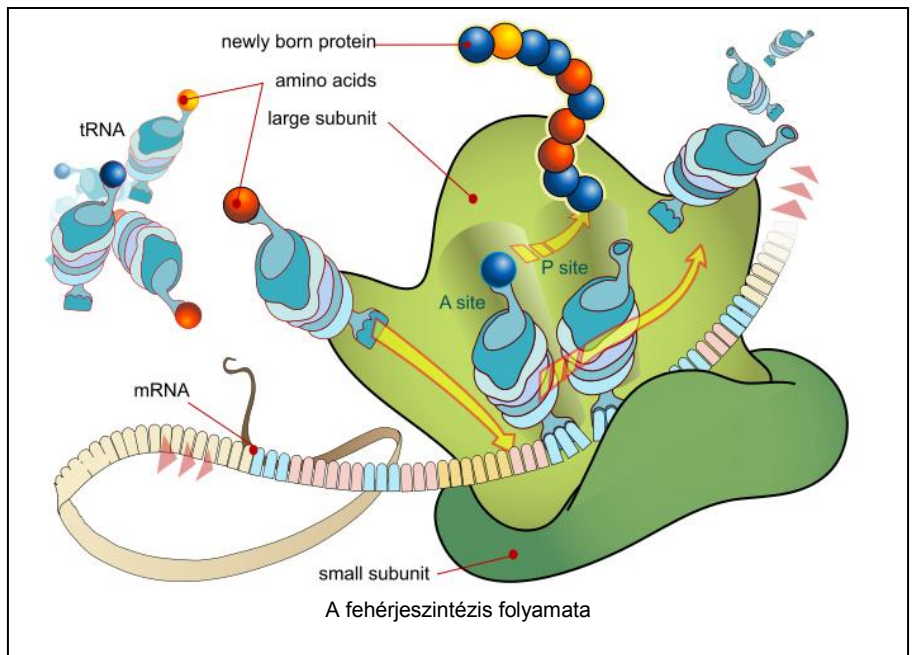
### Nukleinsav szintézis

Már kémiából megtanultátok, hogy a nukleinsavak nukleotidokból felépülő polimer molekulák és a nukleotidok szerves bázisai képesek egy másik bázissal hidrogén-kötést kialakítani. Minthogy minden bázis csak egyfajta bázissal képes hidrogén hidat kialakítani, a nukleinsavak másolhatóak. A **DNS polimeráz** enzim az egyszálú DNS-hez csatolja a megfelelő nukleotidokat, míg az **RNS polimeráz** az egyszálú DNS-ről RNS másolatot készít el. Mivel az emberi DNS nagyon nagy (3 milliárd bázis), ezért a DNS másolása párhuzamosan, több helyről indulva történik. Maga a másolás nem tökéletes folyamat, becsúszhatnak hibák, már maguk a polimeráz enzimek is rendelkeznek hibajavító képességgel, de a másolást követően még több enzim is leellenőrzi, hogy a kapcsolódások tökéletesek-e. Még így is előfordul hiba, ennek esélye egy az egymilliárdhoz.

A DNS-ről készült RNS másolat többféle célt szolgálhat. Van olyan RNS, ami a riboszómákban katalizátorként segíti a fehérjék szintézisét (ez az rRNS), mások a fehérjeszintézis során aminosavakat szállítanak a riboszómákra, míg a leghosszabb RNS-ek feladata, hogy az aminosavak sorrendjéről szóló információt szállítsák át a DNS-ről a riboszómákra, ezek a hírvivő RNS-ek (mRNS).

### Fehérje szintézis

A fehérjeszintézis a riboszómákon történik. A riboszómák fehérjékből és rRNS-ből álló komplex szerkezetek, többségük az endoplazmatikus retikulumon található, de a sejtplazmában is vannak szabadon. A riboszómák megkötik az mRNS-t. A szállító RNS-ek az aminosavakat szállítják. A szállító RNS-en három kiemelt hely található meg: az aminosav kötő hely, ide köti meg az adott RNS a rá jellemző aminosavat, az ATP kötő hely, ide egy ATP kapcsolódik, ennek energiája fedezi majd a peptidkötés létrehozását, valamint az RNS kötő hely, ezzel az mRNS-hez kapcsolódik a szállító RNS. Az RNS kötő helyen három bázis található meg, ez a bázishármas határozza meg, hogy melyik szállító RNS tud az adott helyhez kötődni,



végző soron tehát azt is, hogy milyen aminosav kerül a fehérjére. Minthogy egyféle szállító RNS csak egyféle aminosavat tud szállítani, így elkészíthetjük a genetikai kódszótárt, ez mutatja meg, hogy az egyes bázishármasoknak milyen aminosav fele meg. A kódszótár **redundáns**, azaz egy-egy aminosavhoz (természetesen) több kód is tartozik, ezen felül **univerzális** is, mivel az élőlények döntő többségében ugyanazt a szótárt találjuk meg. A riboszómán két szállító RNS kapcsolódására van lehetőség, ha mindkettő kapcsolódott a két aminosav között létrejön a peptidkötés, az első szállító RNS (amiről levált az aminosav) leválik és a riboszóma három bázisnyit előre lép az mRNS-en. Van három olyan bázishármas, amihez nem tartozik szállító RNS, ezek jelentik a fehérje végét, ezek az úgy nevezett stop kódok. Ha a riboszóma stop kódhoz ér, leválik az elkészült fehérje róla.

		1st base					
		U	C	A	G		
2nd base	U	UUU Phenylalanine UUC Phenylalanine UUA Leucine UUG Leucine	UCU Serine UCC Serine UCA Serine UCG Serine	UAU Tyrosine UAC Tyrosine UAA Stop UAG Stop	UGU Cysteine UGC Cysteine UGA Stop UGG Tryptophan	U C A G	3rd base
	C	CUU Leucine CUC Leucine CUA Leucine CUG Leucine	CCU Proline CCC Proline CCA Proline CCG Proline	CAU Histidine CAC Histidine CAA Glutamine CAG Glutamine	CGU Arginine CGC Arginine CGA Arginine CGG Arginine	U C A G	
	A	AUU Isoleucine AUC Isoleucine AUA Isoleucine AUG Methionine (Start)	ACU Threonine ACC Threonine ACA Threonine ACG Threonine	AAU Asparagine AAC Asparagine AAA Lysine AAG Lysine	AGU Serine AGC Serine AGA Arginine AGG Arginine	U C A G	
	G	GUU Valine GUC Valine GUA Valine GUG Valine	GCU Alanine GCC Alanine GCA Alanine GCG Alanine	GAU Aspartic Acid GAC Aspartic Acid GAA Glutamic Acid GAG Glutamic Acid	GGU Glycine GGC Glycine GGA Glycine GGG Glycine	U C A G	
		Nonpolar, aliphatic	Polar, uncharged	Aromatic	Positively charged	Negatively charged	
A genetikai kódszótár							