

**Az élelmiszer-tudomány
szempontjából legfontosabb
enzimek**

Oxidoreduktázok:

Hidrogén- vagy elektronátvitelt (oxigénbevítelt) katalizálnak.

Dehidrogenázok: H-donort oxidálják, H-akceptort redukálják

Oxidázok: szubsztrát H-jét az O₂-nek adják át.

Oxigenázok: szubsztrátok O₂-felvételét katalizálják.

Hidrogenázok: a hidrogénezést segítik.

Piridinenzimek:

NAD⁺ vagy NADP⁺ koenzim.

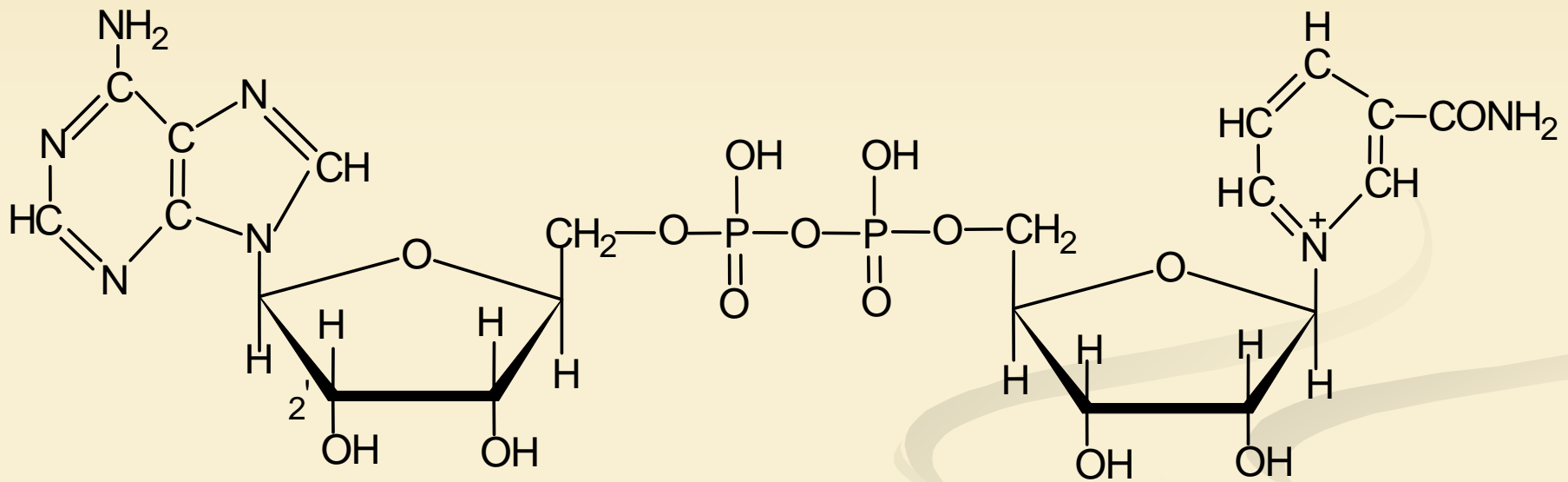
Szubsztráttól H-t vesz át; a koenzim reverzibilisen redukálódik.

Piridinenzimek oxidációja: más *hidrogenázokkal*.

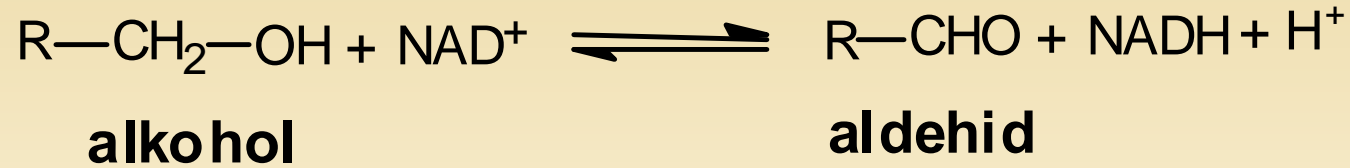
Legfontosabb képviselőik:

- ***alkohol dehidrogenáz***
- ***glicerinaldehid-foszfát dehidrogenáz***
- ***tejsav dehidrogenáz***
- ***aldehid dehidrogenáz***
- ***butándiol dehidrogenáz***

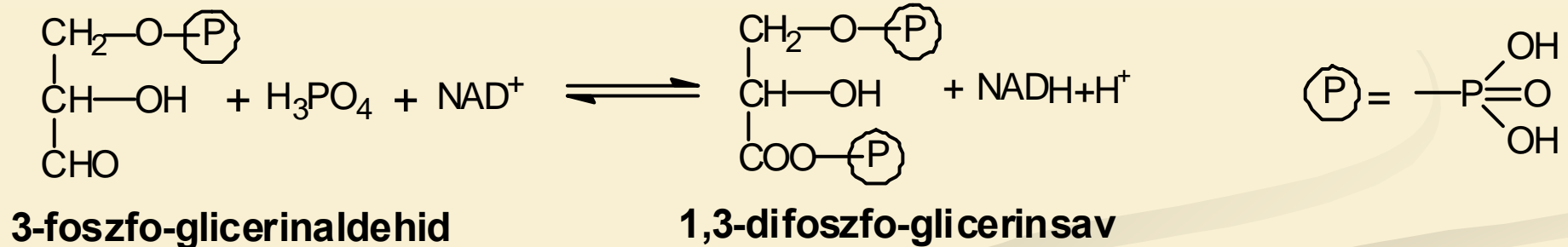
Nikotinsavamid-**a**denin-**d**inukleotid (NAD)



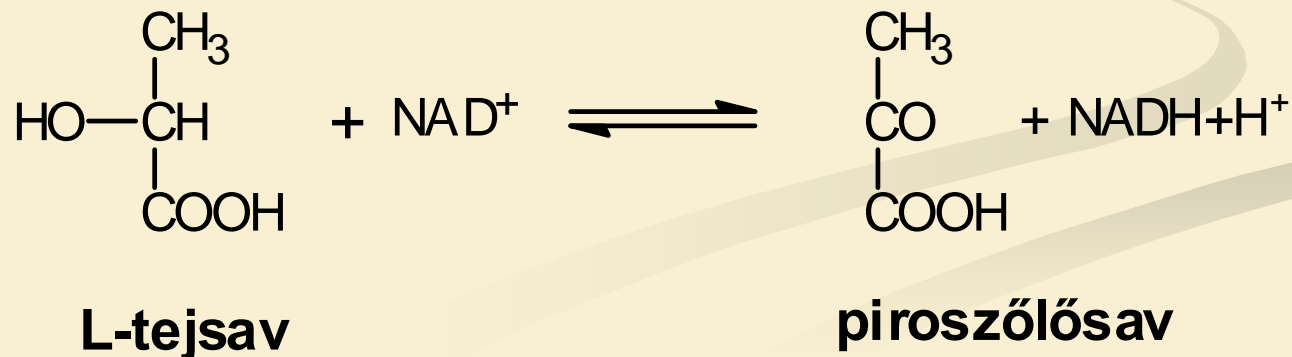
Alkohol dehidrogenáz



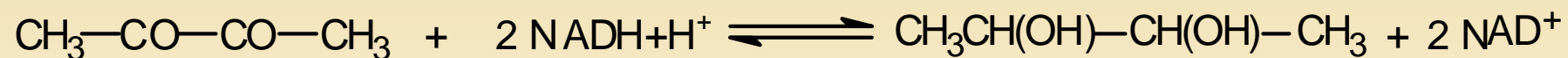
Glicerinaldehid-foszfát dehidrogenáz



Tejsav dehidrogenáz



Butándiol dehidrogenáz



diacetil

2,3-butándiol

Aldehyd dehidrogenáz



Flavinenzimek:

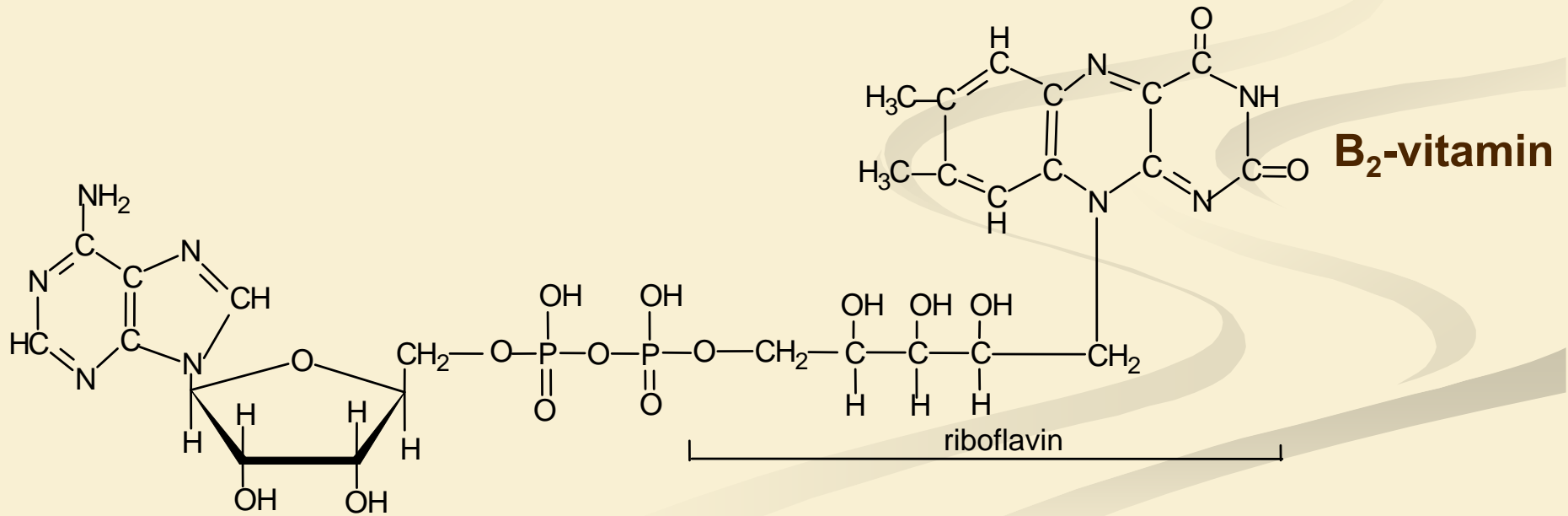
Koenzim: FMN, FAD

Kofaktor: B₂-vitamin-foszfát

: adenilsavval kapcsolódó riboflavin

Szerep: A biológiai oxidáció 2. lépcsője:

Redukált piridinenzimektől H-t vesznek át.



Flavin-adenin-dinukleotid (FAD)

Dehidrogénező flavinenzimek: diaforázok, citokrom reduktázok

Közvetlen oxidációt végző flavinenzimek:

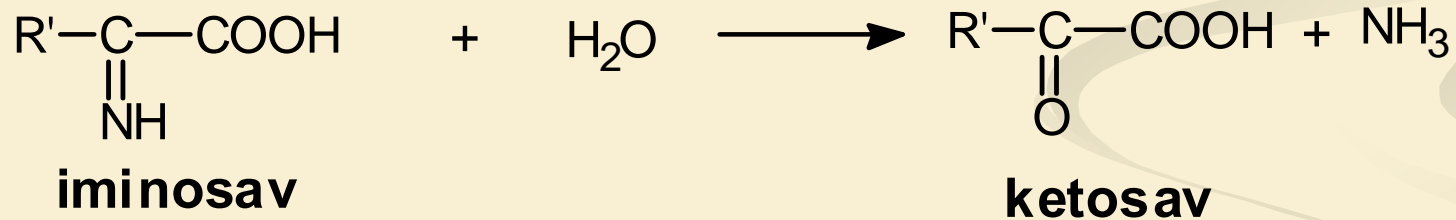
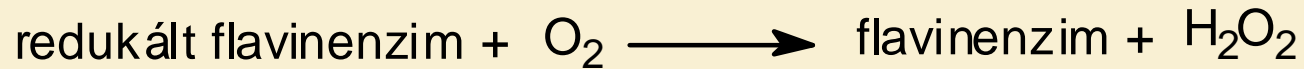
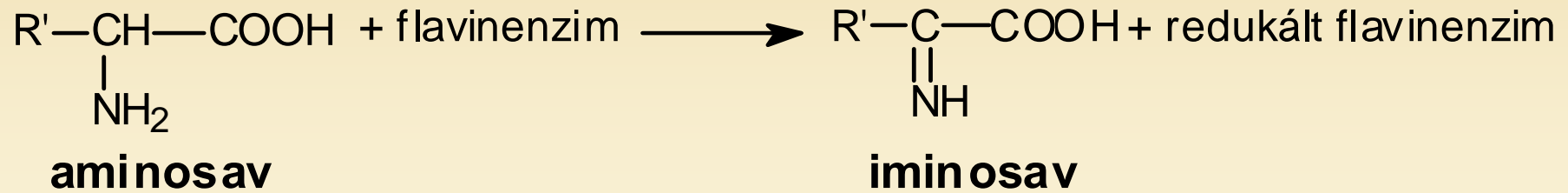
aminosav oxidázok

glükóz oxidázok

a keletkező H_2O_2 -t *kataláz* bontja

**glükóz oxidáz a glükózszelektív elektródban
glükóz direkt potenciometriás meghatározása**

Aminosav oxidázok



Heminenzimek:

Kofaktor a hemin (vas-porfirin komplex)

redukált enzim: Fe^{2+} \longrightarrow oxidált enzim: Fe^{3+}

A FADH_2 hidrogénjét átveszi:

citokrom a, b, c + FAD \longrightarrow *citokrom oxidáz* (csak a citokromokat oxidálja)

Kataláz: 5 millió H_2O bontás/perc. Tőgygyulladásos eredetű tej kimutatása.

Peroxidázok: H_2O_2 + különböző anyagok reakciója.
Lehetővé teszi az oxigén jobb biológiai kihasználását.

Oxigenázok:

Oxigénbeépülést katalizálnak szubsztrátba

2 O–atom: *dioxigenázok*

1 O–atom: *monooxigenázok, hidrolázok*

Fenol oxidázok: réztartalmú fehérjék.

Tirozináz vagy ***polifenol oxidáz:*** az enzimes barnulás okozója (*monooxigenáz*).

Gátlás: 0,5% citomsavval.

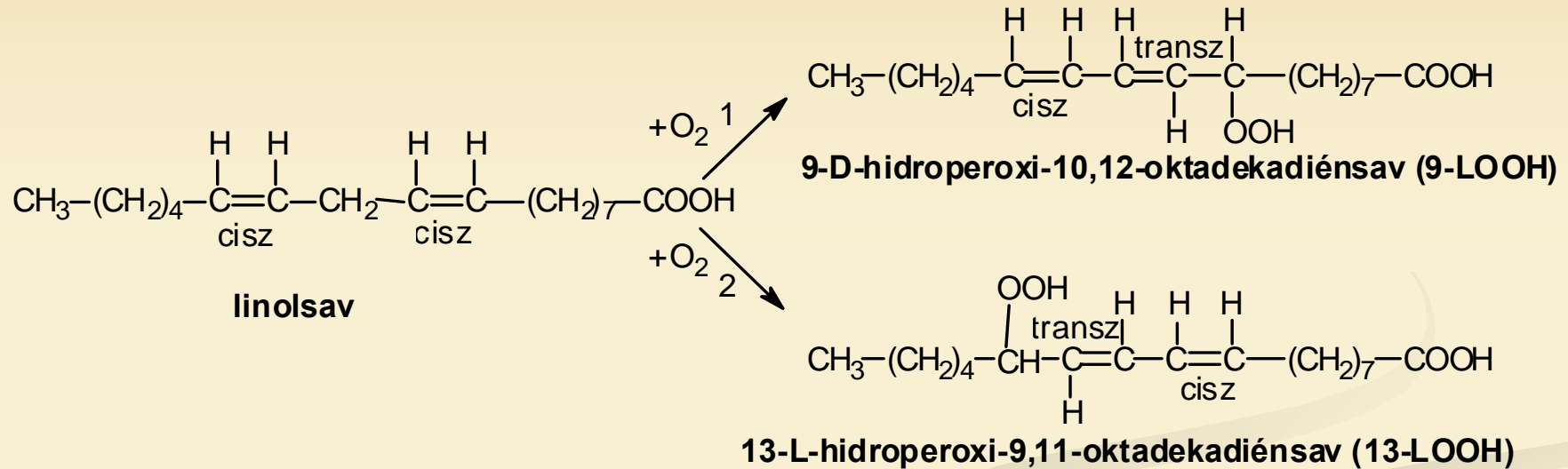
Lipoxigenázok: (*dioxigenázok*)

Telítetlen zsírsav → monohidroperoxid

(linol-, linolén-, arachidonsav) (olajsav nem)

A linolsav oxidációja különböző eredetű *lipoxigenáz I* enzimekkel

1. paradicsomból, 2. szójababból eredő enzim



Lipoxigenáz I.: szabad zsírsavak átalakítása.

Lipoxigenáz II.: észterkötésben lévőket is.

Kedvező hatások: jellegzetes íz- és aromaanyagok.

Kedvezőtlen: színezőanyag, esszenciális zsírsav bomlása, avasodás.

Aszkorbinsav oxidáz:

Aszkorbinsav → dehidroaskorbinsav → hatástalan termék

Transzferázok:

Atomcsoport, gyökátvitel szubsztrátról másik szubsztrátra.

Foszfotranszferázok, glikoziltranszferázok, aminotranszferázok.

Foszfotranszferázok:

Kinázok: foszfátdonor az ATP.

Hexokinázok: hexózokra visznek P-t.

Foszfofruktokináz: Fru-1,6-di-P, Fru-6-P-ból.

***Foszfomutázok: P-átvitel molekulán belül
(foszfoglüko-, foszfogliceromutáz)***

Glikozil transzferázok (vagy *transzglikozilázok*):

Glikozilkötésű atomcsoportokat visznek át.

Foszforilázok: szénhidrátokat foszforsavval kapcsolva bontják, foszforilezik.

Glükán foszforiláz:

Keményítő, glikogén \longrightarrow glükóz-1-P

Amilo foszforiláz: α -1-4-glikozidos kötések.

Amilopektin foszforiláz: α -1-6-glikozidos kötések.

Előfordulásuk: gabonamagvak, burgonya, borsó, máj, izom, élesztő.

Glikozil transzferáz:

UDP-glükóztól vesz át glükózt \longrightarrow szénhidrátok szintézise.

Aminotranszferázok: (transzamilázok)

L-As NH₂-csoport átvitele ketosavra.

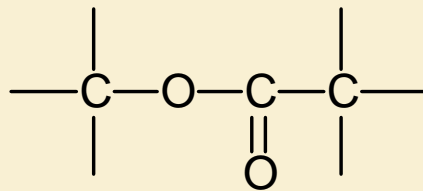
Koenzim: piridoxál-foszfát (B₆-vitamin)

Sok L-aminosavra specifikus *transzamináz*.

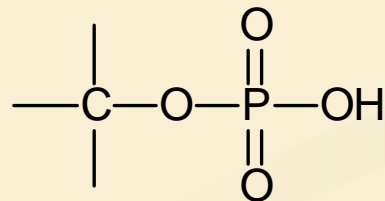
Hidrolázok:

A szubsztrátum kovalens kötéseit víz hozzáadásával bontják, legtöbb esetben irreverzibilisek (lebontás).

Észterázok: karboxil- vagy szervesetlen észterek.



karboxil-észter



foszfát-észter

Lipázok: triacil-glicerolokat bontanak, relatív szubsztrát-fajlagosság

Hosszú lánc, sok kettős kötés: gyors hidrolízis.

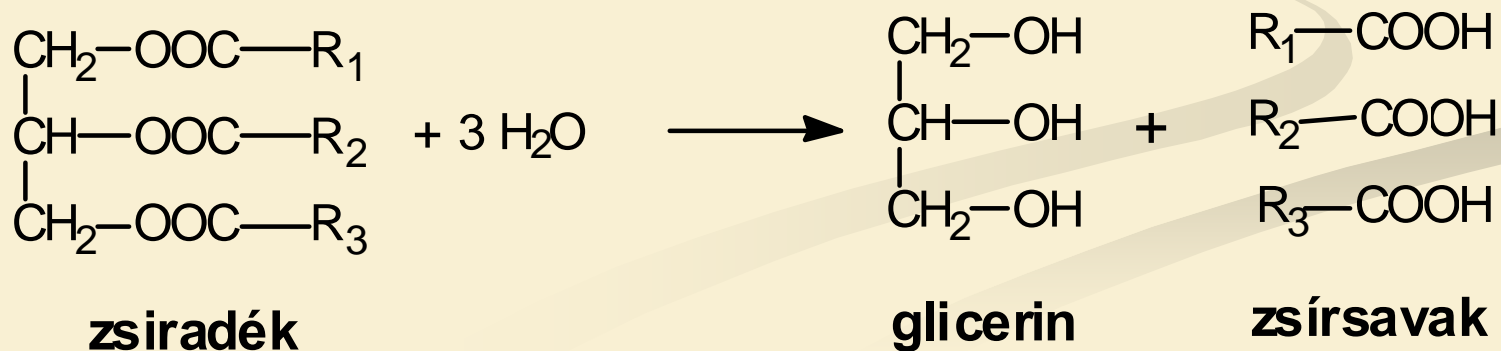
Előfordulásuk: hasnyálmirigy, máj, ricinusmag, gabonamagvak, tej, gabonák (penész).

Aktív centrum: Leu-oldallánc \longrightarrow kapcsolat a szubsztráttal

Optimális pH = 7,0–8,8; hőmérséklet: 30–40 °C

Még –30 °C-on is bont \longrightarrow húsromlás a mélyhűtőben.

Zsíradékok lipázos hidrolízise



Foszfolipázok: a foszfatidokat bontó enzimek

A, B: szerves észterázok,

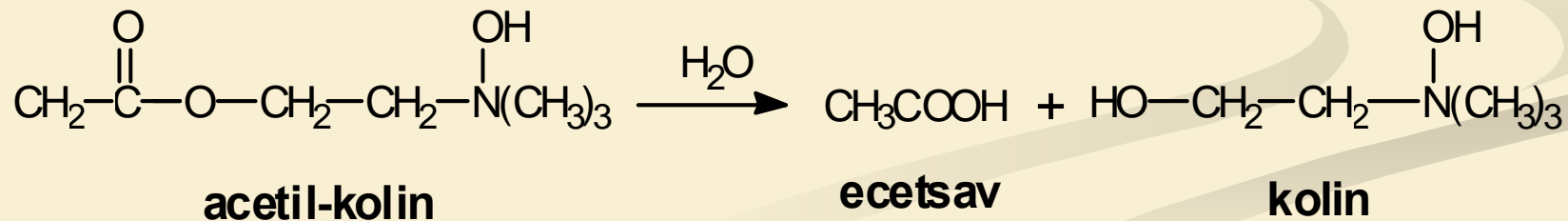
C, D: foszfatázok.

Acetil-kolin észteráz:

acetil-kolin \longrightarrow ecetsav + kolin

Növényvédelemben inszekticidek: bénítják az enzim működését \longrightarrow idegkárosodás \longrightarrow **halál**

Az acetil-kolin enzimes hidrolízise



Fitáz: a fitint (inozitifoszforsav Ca–Mg-sóját) bontja.
Savanyú foszfomonoészteráz (pH = 5,5).

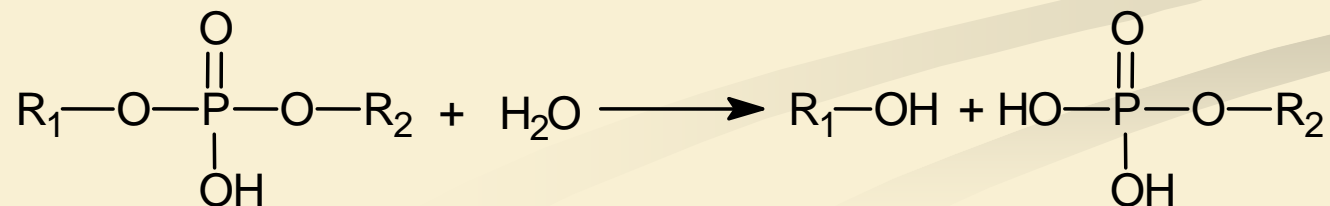
Foszfodiészterázok:

foszforsav kettős észter \longrightarrow alkohol + foszforsav monoészter

Ribonukleáz, dezoxiribonukleáz:

Nukleinsavak \longrightarrow mono- és oligonukleotid.

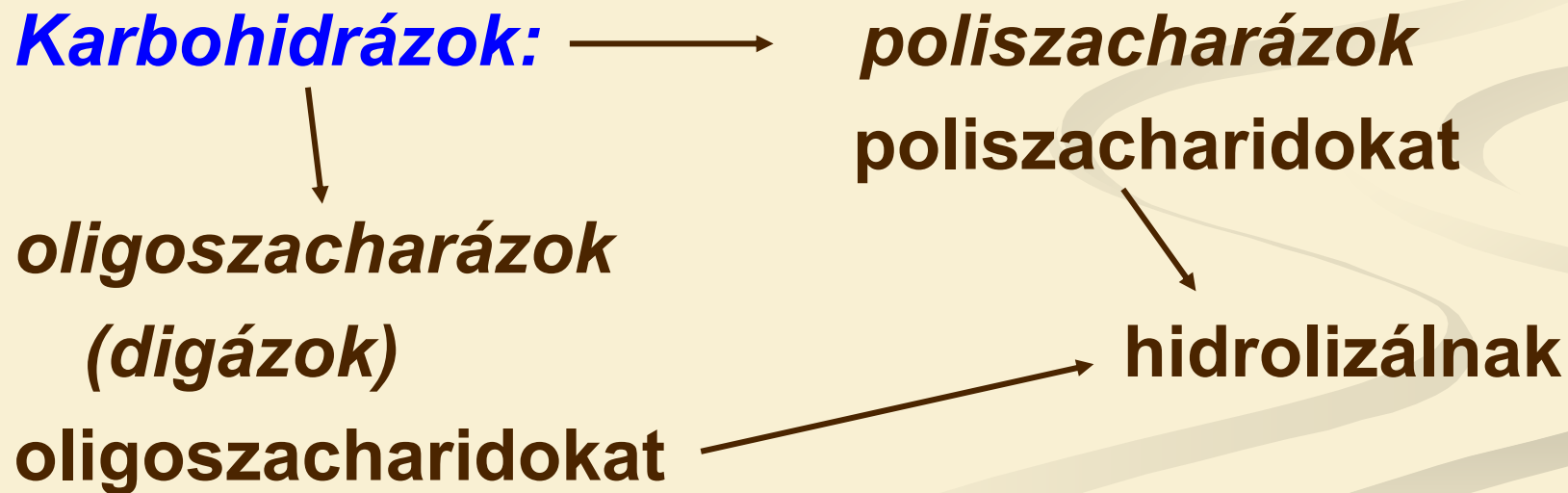
A foszfodiészterázok hatása



Glikozidázok:

O-, N-, S-glikozid szerkezetű szubsztrátumot hidrolizálnak

*O-: karbohidrázok vagy O-glikozidázok,
N-: nukleozidázok vagy N-glikozidázok,
S-: tioglikozidázok vagy S-glikozidázok.*



Oligoszacharázok:

Maltáz vagy α -glükozidáz:

α -helyzetű OH glikozidjait hidrolizálja, *amilázok* kísérője



Glükóz és fruktóz inhibitorok.

Cellobiáz vagy β -glükozidáz:

β -helyzetű OH glikozidjait hidrolizálja.



Előfordulás: baktériumok, élesztő- és penészgombatörzsek, éticsiga.

α -galaktozidáz: a szubsztrát végén nem redukáló galaktóz.

β -galaktozidáz, vagy ***laktáz:*** a galaktóz glikozidos OH-ja β -térállású.

Immobilizált laktázkészítmények, laktózérékenység, intolerancia.

pH-optimum: 4,2–7,0; hőmérséklet: 38 °C.

β -fruktozidáz: (szacharóz, *invertáz*) β -térállású glikozidos OH-t tartalmazó fruktóz.

szacharóz \longrightarrow glükóz + fruktóz

A forgatóképesség megváltozik \longrightarrow *invertáz*.

Poliszacharázok:

exoamilázok: glükózlánc végén támadnak

endoamilázok: glükózlánc középtáján támadnak

***β*-amiláz:** a nem redukáló láncvéget támadja utolsó előtti α -(1→4) kötést → maltóz

α -(1→6) glikozidos kötés: hasítást megállítja



Határdextrin: MT 42–50%-a az amilopektinének.

***Amiloglükozidáz* (glükoamiláz)**

α -(1→4) glikozidos kötés → glükózrészeket hasít

Szerep: kukorica → invertcukor

α -amiláz: amilózt több helyen támadja \longrightarrow
dextrinek \longrightarrow maltózmolekulák

dextrinesítési, cukrosítási szakasz

A bontás termékei: maltóz, izomaltóz, glükóz.

Savérzékeny enzim; pH opt.: 5,0–7,0; hőtűrő: max.
hőmérséklet 65–70 °C (100 °C)

Gabonamagvakban fehérjéhez kötve inaktív.

α - + β -amiláz együtt: csirizes keményítő rendkívül
gyorsan bomlik.

Izoamiláz: endoamiláz, α -(1 \rightarrow 6) kötéseket bontja.

Cellulázok: endo- és exocellulázok + cellulóz → cellobióz, hangyasav, ecetsav, vajsav, metán, CO₂, H₂.
pH opt.: 4,7–5,9

Hemicellulázok: hemicellulóz → cukrok;
pH = 5,0; 40–45 °C

Inulináz: inulin → fruktóz

Pektinázok: (Pektin metilészterázok, endopektinázok, exopektinázok)

A pektint hidrolizálják. Nehezen szűrhető levek tisztítása.

Lizozim: a peptidoglikánokat hidrolizálja.
Sajtgyártásnál: csíraszám csökkentés.

Tioglikozidáz: glükozinolátok (izotiocianid-glükozidok) → mustárolaj, glükóz, KHSO₄.

Proteázok:

A peptidkötést hidrolizálják.

Peptidázok: (exo...) utolsó vagy utolsó előtti peptidkötést hidrolizálják.

Pl. *dipeptidázok*.

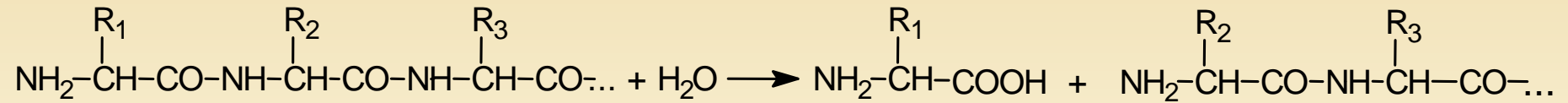
Proteinázok: (endo...) a belső, nem terminális kötéseket hidrolizálják.

D-konfigurációjú aminosavakra hatástalanok.

Aminopeptidázok: peptidek (kis MT) $-NH_2$ -csoport felől támadnak.

pH opt.: 7–9

Az aminosavak hatása

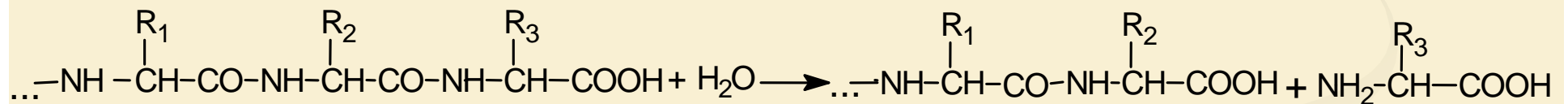


Katepszin C: utolsó előtti kötést hidrolizálja.

Karboxipeptidázok: rövid (hosszabb) láncú peptidek
–COOH csoportját támadja Zn és Co vagy szeril-
oldallánc segítségével.

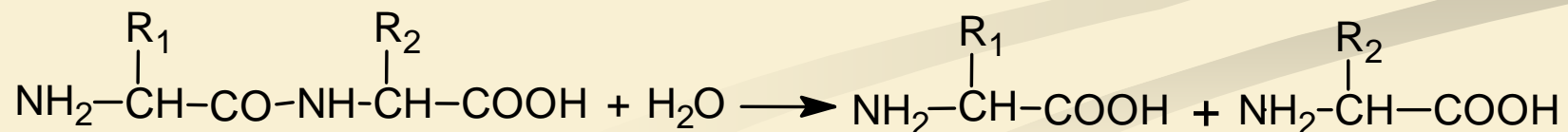
Inaktív alak tripszin → aktív forma (hasnyálmirigy)

pH opt.: 7,5.



Dipeptidázok: szabad –COOH és –NH₂ csoport kell a
bontáshoz.

Sok *dipeptidázt* azonosítottak, több abszolút
szubsztrátspecifikus.



Szerin proteínázok: aktív centrumban szeril- és hisztidil-oldallánc.

pH optimum: 7–11; —→ *alkalikus proteínázok*

Tripszin: tripszinogén —→ *tripszin*

Arg, Lys –COOH csoportja mellett hasít leggyorsabban.

pH optimum: 7,8–8,0.

A *pepszin* által elkezdett bontást fejezi be, illetve folytatja.

Kimotripszin: Phe, Tyr, Trp melletti –COOH csoportra specifikus.

pH optimum: 7,0–8,0.

Alkalikus mikroba proteázok: nem szubsztrát-specifikus minden kötést bont 60 °C-ig.
Mosószeres komponense.

Tiolproteinázok: (*SH-proteinázok*) tioészter kötés a szubsztráttal.

pH optimum: 6,0–7,5.

Papain: növényi fehérjéket bontanak

Aktiválás: glutation, cisztein, H₂S.

Gátlás: oxidálószerekkel.

Felhasználás: húsnál: érésgyorsítás, puhítás.

Savas proteinázok: (*karboxil proteinázok*)

Centrumban 2 –COOH csoport;

opt. pH: 2,0–7,0.

Nem szubsztrátspecifikusak:

Pepszin: gyomorfal:

pepszinogén \longrightarrow gyomor: *pepszin* + 7500 MT
peptid

Szinte minden fehérjét gyorsan bont, kivétel
szkleroproteinek:

(haj, elasztin, nyers kollagén).

Opt. pH: 1,5–2,2; hőérzékeny: 50 °C felett
inaktiválódik.

Kimozin: (*rennin, oltóenzim*)

Endopeptidáz; a tej kazein hidrolízisét katalizálja.

Tejipar: tej alvasztás, túró és kazein előállítás.

Neutrális proteinázok:

Szubsztrátfajlagosság: csekély.

Aktív centrumban: Zn, Cd, Mg.

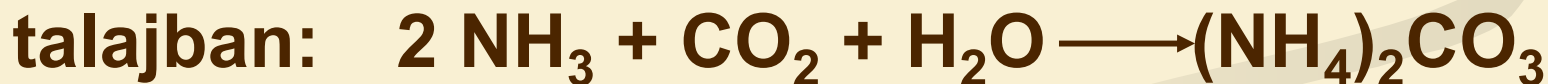
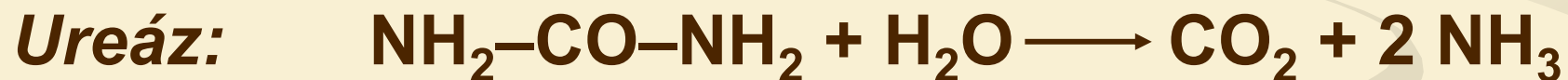
Állati sejtben, szövetben is megtalálhatók;

együttes név: *katepszin* → húserlelés, szervezet elbomlása

pH opt.: 4–5

Amidázok és amidinázok:

C–N közötti kötést hidrolizálják (a peptidkötés kivételével).



A nitrogén-körforgás résztvevője.

Előfordulás: hüvelyesekben.

Hőkezelttség foka: ureázaktivitás mérés.

Abszolút szubsztrát-fajlagosságú tiolenzim. pH: 6,4–7,6

Aminosav dezaminázok és dezaminidázok:

Aminosavakból bázikus N-tartalmú csoportot hasítanak.

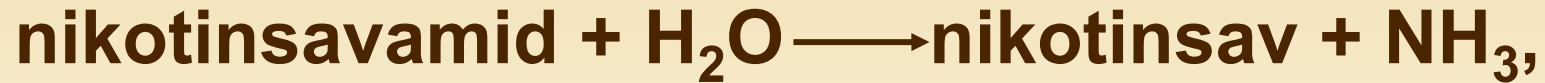
aszparagináz: $\text{Asn} + \text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{Asp} + \text{NH}_3$

glutamináz: $\text{Gln} + \text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{Glu} + \text{NH}_3$

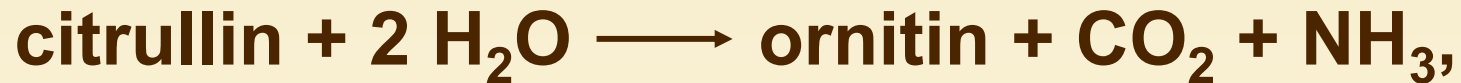
argináz (amidináz): $\text{Arg} + \text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{karbamid} + \text{ornitin}$

Hidrolázok:

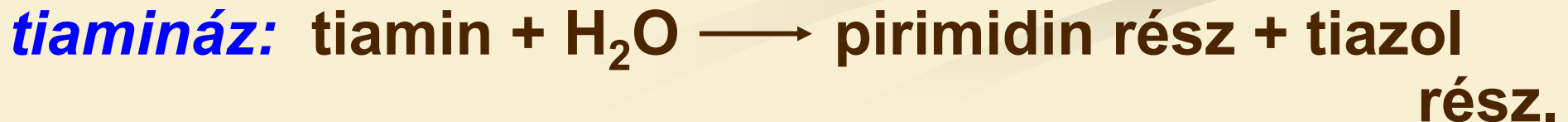
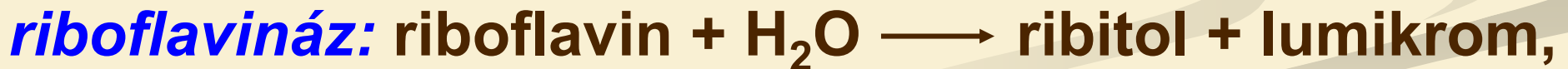
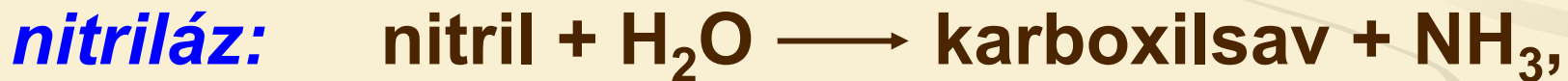
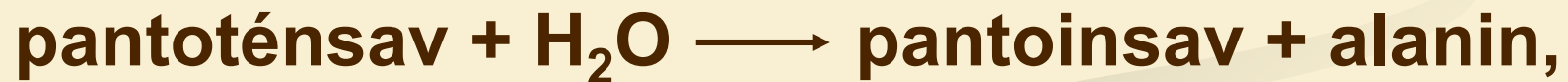
nikotinamidáz:



citrullináz:



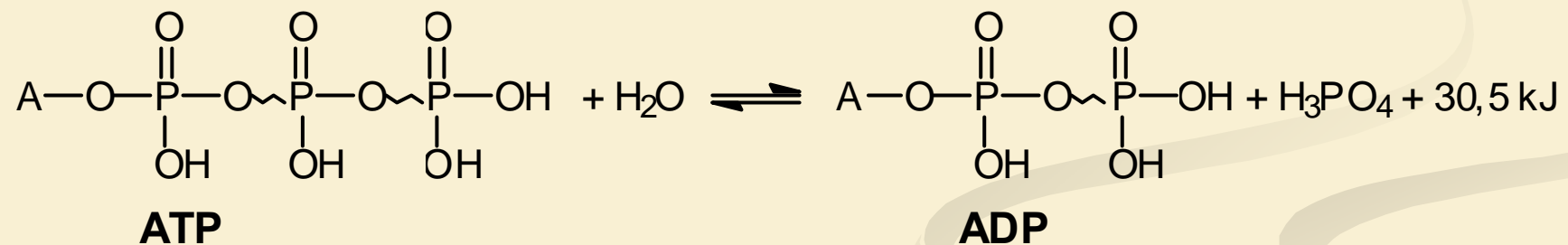
pantotenáz:



Savanhidrid hidrolázok:

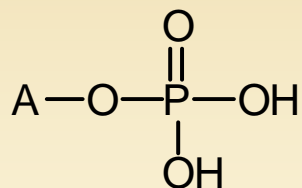
Szervetlen savmaradékot hasítanak le.

Az adenozin trifoszfát hatása

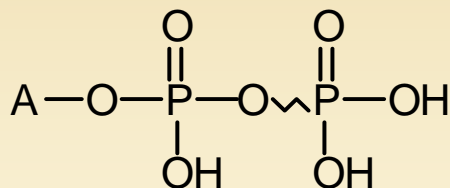


Ca²⁺ növeli, Mg²⁺ csökkenti az aktivitását.

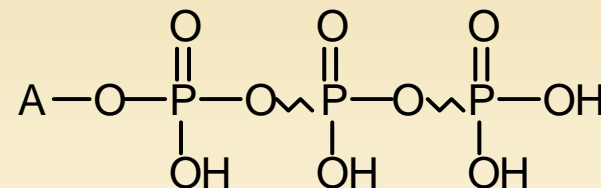
Az adenzin foszfátjai



adenzin-monofoszfát
(AMP)

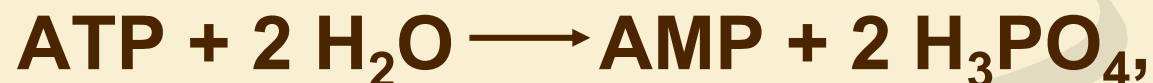


adenzin-difoszfát
(ADP)



adenzin-trifoszfát
(ATP)

Egyéb foszfátok:

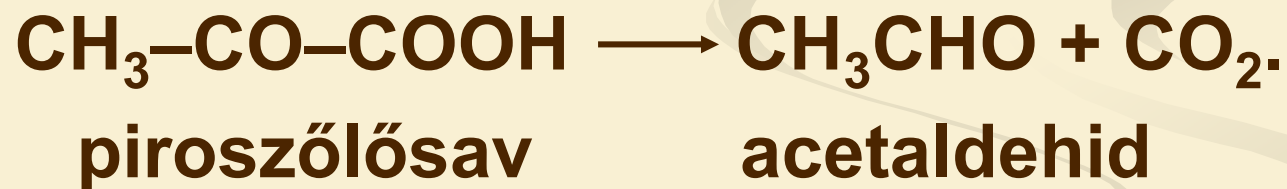


Liázok:

C–C, C–O, C–N kötéseket bontanak nem hidrolízissel, a reakciótermék mindig tartalmaz kettős kötést.

C–C liázok: *dekarboxilázok, aldolázok, oxosav-liázok*

Piroszőlősav dekarboxiláz:



acetoin, diacetil, butilénnglikolok: aromák

Aminosav dekarboxilázok:

aminosav \longrightarrow biogén amin + CO_2

Aldoláz:

fruktóz-1,6-difoszfát \longrightarrow gliceraldehid-foszfát +
dihidroxi-aceton-foszfát

C–O liázok:

Hidroliázok:

Dehidratázok: vizet szakítanak ki kettős kötés kialakításával.

Hidratázok: telítetlen vegyületbe vízmolekulát építenek be.

Enoláz: 2-foszfo-glicerinsav – H_2O \longrightarrow
foszfo-enol-piroszőlősav

Pektin liázok:

Pektin és pektinsav bontása belső átrendeződéssel, transzeliminációval.

Alliin liáz vagy alliináz:

S-allil-L-cisztein-szulfoxid \longrightarrow propántial-S-oxid

Könnyeztető hatású vegyület.

Koenzim: piridoxál-foszfát (B₆-vit.)

Izomerázok:

Szerkezetváltozás az összetétel megváltozása nélkül.

Racemázok, epimerázok, cisz-transz izomerázok, intramolekuláris oxidoreduktázok, -liázok.

Cukor izomerázok:

aldóz \longrightarrow ketóz átalakulás

***Glükóz izomeráz:* glükóz \longrightarrow fruktóz \longleftarrow xilóz**

Enzimreaktorokban: hordozóhoz rögzített *glükóz izomeráz.*

Glükózfoszfát izomeráz:

glükóz-6-foszfát → fruktóz-6-foszfát

Triózfoszfát izomeráz:

dihidroxi-aceton-foszfát → glicerinaldehid-foszfát

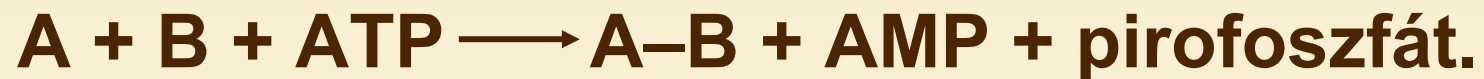
Hidroperoxid izomeráz:

Intramolekuláris oxidoreduktáz, zsírsav, hidroperoxidok átalakítása.

**13-hidroperoxi-9,11-linolát → 12-oxo-13-hidroxi-9-
-oleát**

Ligázok vagy szintetázok:

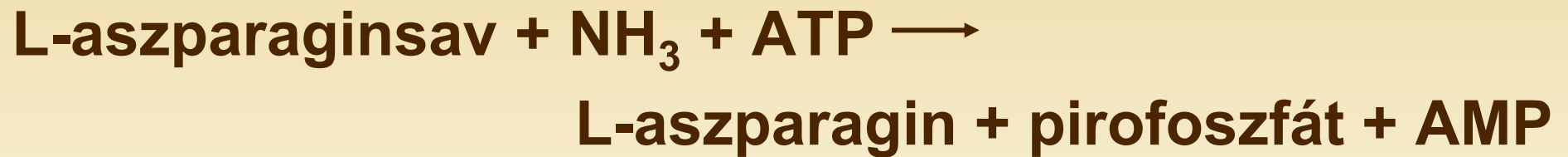
Két molekula kapcsolódása NTP energiájával



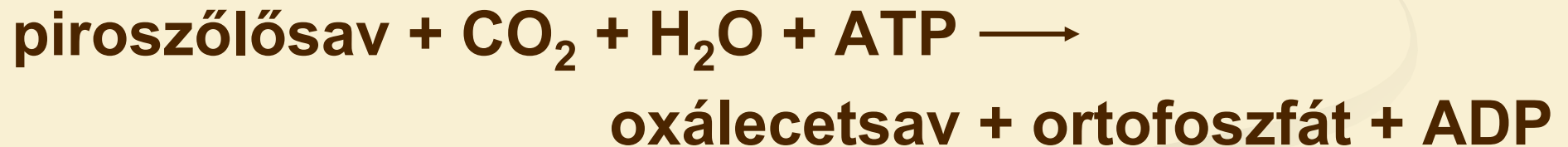
C–C, C–O, C–N, C–S kötést létesítő ligázok.

(Használják a *szintetáz* elnevezést is!)

Aszparagin szintetáz:



Karboxiláz; piroszőlősav karboxiláz:



Liázok és transzferázok (szintetázok):

Molekulákat kapcsolnak össze; nincs mélyreható energetikai átalakulás.