

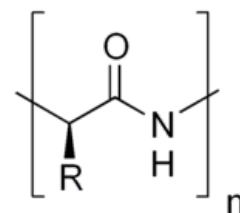
Bílkoviny (1. LF UK, NT)

Bílkoviny (proteiny) neboli polypeptidy jsou organické makromolekulární látky. Jejich molekulová hmotnost přesahuje 10 000. Skládají se z aminokyselin v počtu větším než 100. Typický protein jich obsahuje 200–300.

Stavba

Aminokyseliny v peptidu jsou vzájemně vázány peptidovou vazbou. **Peptidová vazba** spojuje jednoduchou kovalentní vazbou aminoskupinu jedné aminokyseliny a karboxylovou skupinu druhé aminokyseliny. Hodnota Gibbsovy energie této reakce je rovna $G = 10$ kJ/mol.

Polykondenzací vzniká libovolně dlouhý řetězec aminokyselin. Konec řetězce, který má volnou (nezreagovanou) aminoskupinu, se nazývá **N-konec**. Na opačné straně řetězce nalezneme naopak volnou karboxylovou skupinu. Tento konec se nazývá **C-konec**.



peptidová vazba

Struktura

Struktura proteinů vychází z uspořádání aminokyselin v řetězci. Struktura proteinů je velmi důležitá pro jejich funkci.

Primární struktura

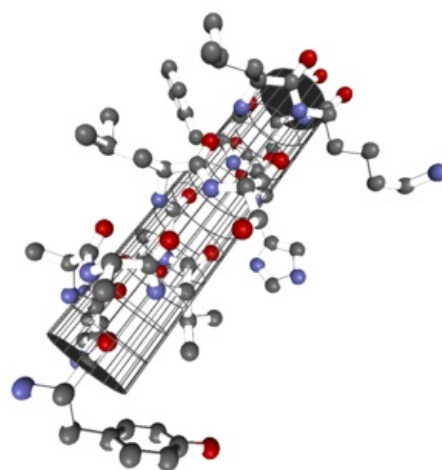
Primární struktura je definována přesným **pořadím aminokyselin** v řetězci.

Sekundární struktura

Sekundární strukturou rozumíme **prostorové uspořádání aminokyselin** v řetězci a stabilizace vodíkovými můstky.

Existují dvě základní sekundární struktury:

1. α -helix: Řetězec je stočen do **pravotočivé šroubovice**. Délka jednoho závitu šroubovice je rovna 3,6 aminokyselinových zbytků. Strukturu α -helixu nalezneme především u vláknitých proteinů (keratinů) nebo proteinů svalových.
2. β -skládaný list: Dva **rovnoběžně a antiparalelně** uspořádané řetězce připomínající složený list papíru.



α -helix

Terciární struktura

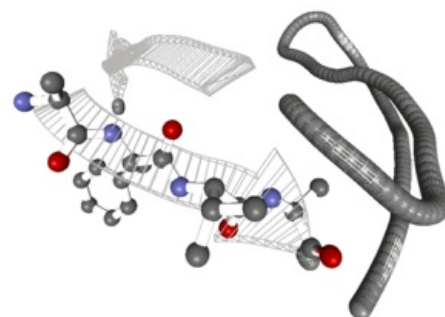
Terciární strukturu charakterizují další **intramolekulární vazebné interakce**. Například **disulfidické můstky**, iontové vazby a van der Waalsovy síly. V molekule mohou také vznikat další H-můstky.

Kvarterní struktura

Kvarterní struktura vzniká u proteinů, které se skládají ze dvou a více polypeptidových řetězců. Jejich spojení zajišťují vzájemné **extramolekulární vazebné interakce**. Kvarterní strukturu nalezneme například v hemoglobinu. Naopak myoglobin kvarterní strukturou nedisponuje.

Denaturace proteinů

Denaturace bílkovin je proces, kdy se mění sekundární a terciární struktura. Protein tímto ztrácí biologickou aktivitu. Denaturace můžeme dosáhnout například zahřátím nebo změnou pH.



β -skládaný list

Hlavní živiny

- peptidové vazby
- jiné vazby
 - disulfidové -S-S-
 - esterové
 - amidové
- jiné složky než aminokyseliny (fyzikálně nebo chemicky)
 - voda
 - anorganické ionty
 - lipidy, cukry, nukleové kyseliny, barevné sloučeniny

Klasifikace

Dělení

Podle původu

- živočišné (maso, mléko, vejce) – 60 % proteinů potravy
- rostlinné (obilniny, luštěniny, ovoce, zelenina) – 30 % proteinů potravy
- netradiční (řasy, mikroorganismy)

Podle funkce

- strukturní (stavební složky buněk, kolagen)
- katalytické (enzymy, hormony)
- transportní (přenos sloučenin, myoglobin)
- pohybové (svalové proteiny, aktin, myosin)
- obranné (protilátky, imunoglobuliny, lektiny)
- zásobní (ferritin)
- senzorické (rhodopsin)
- regulační (histony, hormony)
- výživové (zdroj esenciálních aminokyselin, zdroj dusíku, hmoty k výstavbě a obnově tkání)

Podle struktury

(přítomnosti nebílkovinné složky)

1. Jednoduché proteiny (obsahují jen bílkovinný řetězec – globulární, fibrilární proteiny)
 - globulární, sféropoteiny (albuminy, globuliny)
 - fibrilární (vláknité), skleroproteiny, stromatické bílkoviny (kolageny, keratiny, elastiny)
1. Složené proteiny (obsahují bílkovinný řetězec a nebílkovinnou část – **prostetickou skupinu** – lipoproteiny, glykoproteiny)
 - nukleoproteiny (nukleové kyseliny)
 - lipoproteiny (neutrální lipidy, fosfolipidy, steroly)
 - glykoproteiny (sacharidy)
 - fosfoproteiny (kyselina fosforečná)
 - chromoproteiny (deriváty porfyrinu, flavinu)
 - metaloproteiny (koordinálně vázané kovy)

Podle rozpustnosti

Rozpustné

- albuminy – mléko (*laktalbumin*), vaječný bílek (*ovalbumin*, *konalbumin*), pšenice (*leukosin*)
- globuliny – maso (*myosin*, *aktin*), mléko (*laktoglobulin*), vejce (*ovoglobulin*)
- gliadiny neboli prolaminy – pšenice (*gliadin*), ječmen (*hordein*), kukuřice (*zein*)
- gluteliny – pšenice (*glutenin*), rýže (*oryzenin*)
- protaminy – mlíčí ryb (*cyprimin*, *salmin*, *klupein*, *skombrin*)
- histony – krev (*globiny hemoglobinu a myoglobinu*)

Ner rozpustné

- kolagen, elastin, keratin

Podle stavu

- nativní (přírodní, biologické funkce)
- denaturované
- upravené (modifikované, aditiva)

Výživové hledisko

- plnohodnotné (esenciální aminokyseliny v optimálním množství)
 - vaječné a mléčné
- téměř plnohodnotné (některé esenciální aminokyseliny nedostatkové)

- živočišné svalové
- neplnohodnotné (některé esenciální aminokyseliny nedostatkové)
 - veškeré rostlinné, živočišných pojivových tkání

Potraviny deficitní některými aminokyselinami

- Lysin – obiloviny (obecně rostlinné proteiny)
- Methionin – mléko, maso
- Threonin – pšenice, žito
- Tryptofan – kasein, kukuřice, rýže

Obsah v potravinách

- 0–100 % P (v sušině)
- potraviny živočišné > rostlinné
- luštěniny, olejniny > ovoce, zelenina

vejce – 75 % H₂O, 13 % P (celá), 52 % P v sušině

luštěniny – 12 % H₂O, 24 % P (sója 32–45 %), 27 % v sušině

maso (H) – 69 % H₂O, 21% P, 68 % v sušině

chléb – 38 % H₂O, 7 % P, 11 % v sušině

mléko – (3,5 % L) 87–90 % H₂O, 3,4 % P, 28 % v sušině

brambory – 78 % H₂O, 2 % P, 9 % v sušině

Krytí potřeby energie: ~ 10 % **Doporučená denní dávka:** 1–1,2 g/kg
Poměr živin

- bílkoviny : lipidy : sacharidy (hmotnost = 1 : 1 : 4)
- energie = < 14 : < 14 : < 56 %

Fyziologie a výživa

- minimální potřeba plnohodnotného proteinu 0,5–0,6 g·kg⁻¹
- doporučená dávka 1,0–1,2 g·kg⁻¹ (nevyžity optimálně)

~ 2,4 g·kg⁻¹ období růstu, kojící ženy, rekonvalescenti aj.

- výživová hodnota (nutriční, biologická)
- celkový příjem

Dostupnost peptidových vazeb trávicím enzymům

Další faktory

Dříve

- BV (Biological Value) (= g P vzniklé v organismu / 100 g P v potravě)
- NPU (Net Protein Utilization)
- PER (Protein Efficiency Ratio) aj. (zvířata)

Závisí na:

- absolutní obsah esenciálních aminokyselin
- relativním poměru
- poměru k neesenciálním aminokyselinám
- trávitelnosti

Dnes

- aminokyselinové skóre AAS (Amino Acid Score)
- index esenciálních aminokyselin EAAI (Essential Amino Acid Index) – přesnější údaje

$$\text{AAS (\%)} = 100 A_i / A_{Si}$$

kde:

- A_i = obsah esenciální aminokyseliny v proteinu
- A_{Si} = obsah téže aminokyseliny ve standardním (referenčním) proteinu

Standardní protein = fiktivní protein s optimálním složením esenciálních aminokyselin (AAS = 100%)

$$\text{EAAI} = \sqrt[n]{\frac{100A_1}{A_{S1}} \cdot \frac{100A_2}{A_{S2}} \cdot \dots \cdot \frac{100A_n}{A_{Sn}}}$$

Fyzikálně-chemické vlastnosti

- rozpustnost, hydratace a bobtnání
- disociace
- optická aktivita
- vznik gelů
- vznik emulzí
- stabilizace pěn
- denaturace
 - faktory fyzikální – změny teploty, tlaku, ultrazvuk, pronikavé elektromagnetické záření
 - faktory chemické – soli, změny pH (kyseliny, zásady), povrchově aktivní látky
- důsledky
 - přístupnější digestivním enzymům trávicího traktu
 - denaturace antinutričních faktorů, toxických látek (inhibitory proteas, amylas, lektiny)
 - inhibice nežádoucích enzymů a mikroorganismů

Maso, masné výrobky, drůbež, ryby

Maso, masné výrobky, drůbež, ryby

4 hlavní druhy tkání (další krev)

- epitelové
- podpůrné (pojivové)
- svalové (příčně pruhované, hladké)
- nervové

Definice

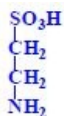
Části teplokrevných zvířat v čerstvém, zpracovaném stavu

V užším smyslu: skeletální svalová tkáň – počet svalů, úpony na kosti, přívod krve, nervy, kůže, chrupavky, kosti, tuk

Další složky

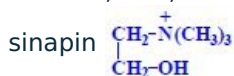
- vitaminy
- volné aminokyseliny 0,1–0,3 %

taurin (0,02–0,1 %), složka žlučových kyselin, přenos nervových vzruchů

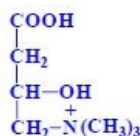


- kvarterní amoniové sloučeniny

cholin 0,02–0,06 %, fosfolipidů, transmethylační reakce, acetylcholin,



karnitin 0,05–0,2 %, transport mastných kyselin



- guanidinové sloučeniny
- glykogen
- fosfáty cukrů a volné cukry
- kyselina mléčná aj. kyseliny
- puriny a pyrimidiny

Použití pro potravinářské a nepotravinářské účely.

Myofibrilární proteiny

- svalové vlákno
- myofibrily (kontraktilní vlákna)
- mikrofilamenta (mikrovlákna)
 - myosin
 - aktin
 - další proteiny

Reakce in vivo

 Podrobnější informace naleznete na stránce *Spojení excitace a kontrakce*.

Reakce post mortem

- ATP anaerobní glykolýzou z glykogenu
- mléčná kyselina > pokles pH z 6,8 na < 5,8
- inhibice glykolytických enzymů
- Ca^{2+} / reakce aktinu s myosinem, není ATP > posmrtné ztuhnutí (rigor mortis)

Vliv na jakost masa

Zrání masa

- štěpení aktomyosinu endogenními proteasami (hlavně kathepsiny)
- štěpení kolagenu kolagenasami

Vady masa

- DFD (dry-firm-dark) a DCB (dry-cutting-beef)
 - tmavé, vysoká vaznost, nízká údržnost
 - odstranění mléčné kyseliny při vykrvení, pH~ 6
- PSE (pale-soft-exudative)
 - světlé, nízká vaznost, šedo-zelený povrch
 - zvýšená glykolýza stimulovaná hormony, pH~ 5,6

Změny při zpracování

- ~35° C asociace sarkoplasmatických bílkovin, snížení vaznosti, zvýšení tuhosti
- ~45° C viditelné změny, zkrácení =denaturace myosinu
- ~50-55° C denaturace aktomyosinu
- ~55-65° C denaturace sarkoplasmatických bílkovin, asociované struktury a gel
- ~60-65° C změny konformace kolagenu (zkrácení 1/3-1/4)
- ~80° C oxidace SH-skupin
- ~90° C želatiny kolagenu (uvolnění tropokolagenových vláken, sol želatiny)
- ~100 ° C eliminace NH_3 , H_2S , další látky, aromatické látky, změna barvy

Mléko a mléčné výrobky

- Obsah živin v mléce
- Voda podle druhu mléka (původu) 63 - 88 %

Komplikovaný disperzní systém

- globulární bílkoviny syrovátky – koloidní disperze
- kaseinové molekuly – micelární disperze
- tuk – tukové globule (mikrosomy, ϕ 0,1-10 μm): emulze
- částice lipoproteinů – koloidní suspenze
- nízkomolekulární látky (laktosa, aminokyseliny, minerální látky, hydrofilní vitaminy) – pravý roztok

Zbarvení

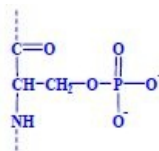
Složení proteinů kravského mléka

- Složení proteinů kravského mléka

Obsah aminokyselin mléka

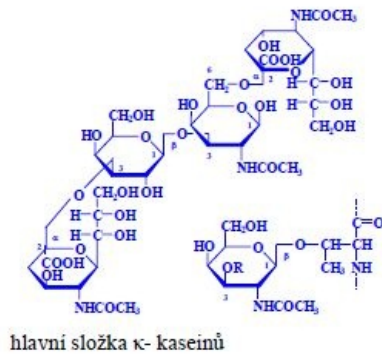
- kaseiny

- α -kaseiny = fosfoproteiny, α_{S1} , α_{S2} , fosfoserin



- β -kaseiny = fosfoproteiny
- γ -kaseiny = produkty degradace β -kaseinů
- κ -kaseiny = glykoproteiny (2 genetické varianty, B), cukr = tetra-, tri-, di-, mono-, GalNAc, Gal,

NeuAc, vazba na Thr (133)



- kaseiny – α S-, β -, κ -kaseiny agregace do submicel a micel, molekuly kaseinů > submicela > micela

Změny při skladování a zpracování

Tepelné zpracování

- shlukování tukových globulí v syrovém mléce, ~ makroglobulin
- bílkoviny syrovátky termolabilní, denaturují, kaseiny prakticky nendenaturují

Pasterace

- 72-74 °C (20-40 s): denaturuje asi 50-90 % bílkovin séra
- > 75 °C:
 - inaktivuje se většina enzymů
 - redukce disulfidových vazeb
 - eliminace H₂S (β -laktoglobulin)
 - sulfidy, disulfidy vařivá příchut (Met)
 - degradace thiaminu
 - vznik laktonů a methylketonů
- sterilace 140 °C (4 s)
 - denaturuje 100 % bílkovin
 - reakce laktosy s proteiny syrovátky
 - ztráty lysinu (Maillardova reakce), vonné látky – syrové a pasterované mléko ~ 400 vonných látek (1-100 mg/kg)

Srážení a proteolýza kaseinů

- mléko čerstvé – pH 6,5-6,75
- srážení kaseinů – pH 4,6 (kontaminující, kulturní mikroby)

Tvrdé sýry

- mikroorganismy (mléčná kyselina), okyselení (pH 5,5)
- proteolytický enzym rennin (chymosin, syřidlo), specifická hydrolýza κ -kaseinu – para- κ -kasein = hydrofobní část, součást micel, κ -kaseinmakropeptid = hydrofilní část, koagulace
- sýřenina, (skladování > tuhost, kyselost, odstředění syrovátky, solení, zrání (u sýru typu Emmental konverze mléčná > propionová kyselina + CO₂), proteolýza, lipolýza > tvrdý sýr

Měkké sýry, jogurty

- srážení, nízké pH (fermentace laktosy, mléčná kyselina), koagulace kaseinů částečná, u jogurtů asociace micel (gelová struktura)

Nerozpustný kyselý kasein

Sladký kasein (srážení syřidlem)

Kaseináty (rozpuštěné

Na, K, NH₄; dispergovatelné: Ca, Mg)

Nerozpustné koprecipitáty

Syrovátka

Vejce

- proteiny bílku 53 %, žloutku 47 %
- obsah živin v slepičích vejcích
- složení proteinů bílku a žloutku slepičích vajec

Proteiny bílku

~ 40 proteinů (globuliny, glykoproteiny a fosfoproteiny)

- enzymy (lysozym, aktivita N-acetylmuramidasy, murein, buněčné stěny bakterií)
- bílkovinné složky enzymů (flavoprotein/riboflavin, avidin/biotin)
- inhibitory proteas (ovomukoid, ovoinhibitor)

Důsledky

- viskozita a gelovitá konzistence bílku – ovomukoid a ovomucin
- stabilita pěny šlehaného bílku – ovoglobuliny G2 a G3
- antimikrobní účinky – lysozym (ovoglobulin G1)
- antinutriční působení – avidin

Proteiny žloutku (emulze tuku ve vodě)

- 1/3 = bílkoviny, 2/3 = lipidy
- glyko-, lipo-, glykofosfo- a glykofosfolipoproteiny
- granule – lipovitellin a fosvitin
- plasma – lipovitellenin a livetin

Změny při skladování a zpracování

- částečná denaturace proteinů bílku při šlehání
- denaturace teplem
 - 57 °C – počátek
 - 60-65 °C – denaturuje většina bílkovin (ne ovomukoid)
 - 65-70 °C – většina bílkovin žloutku (ne fosvitin)

Potraviny rostlinného původu

Potraviny rostlinného původu

- hlavní zdroje – semena rostlin
- omezené zdroje – plody, listy, hlízy, bulvy a jiné části rostlin (ovoce, zelenina, okopaniny)

Cereálie a pseudocereálie

- Základní chemické složení obilovin
- Proteiny obilovin a jejich složení

Proteiny pšenice

Mouka 7-13 (až 15) % bílkovin

- 15 % albuminy (ve vodě rozpustné) leukosin
- 7 % globuliny (0,4 M-NaCl) edestin
- 33 % prolaminy (70 % ethanol) gliadin
- 46 % gluteliny (zbytek) glutenin

poměr prolaminy / gluteliny = 2 : 3

1. Mouka silná = chlebová (12-14 %)

- (těsto elastické, tuhé, nutné intenzivní míchání, zadržuje oxid uhličitý, vzduch, objemnější výrobky)

1. Mouka slabá = výroba sušenek, cukrovinek (< 10 %)

Těsto

- lepek (gluten) = viskoelastická hmota, 2/3 vody, 1/3 hydratované gluteliny (viskozita),
- gliadiny (elasticita), sušina lepku = 90 % proteinů, 8 % lipidů, 2 % cukrů

Bezlepkové výrobky

- alergické onemocnění celiakie (~ 0,05 % dětí v Evropě)
- změny epithelových buněk střevní stěny, zhoršená absorpce živin
- prolaminové frakce pšenice, žita, ječmene, sekvence: Pro-Ser-Gln-Gln a Gln-Gln-Gln-Pro

limity < 100 mg gliadinu/kg (sušiny)

Proteiny žita

- není gluten
- pekařské vlastnosti: pentózy, některé proteiny (botnající v kyselém prostředí)
- vznik kyselin činností mikroorganismů (*S. cerevisiae*, *S. minor*, *L. plantarum*, *L. brevis*)

Proteiny luštěnin a olejnin

- vysoký obsah globulinů, funkce při klíčení

 Podrobnější informace naleznete na stránce obsah aminokyselin v luštěninách.

Využití netradičních zdrojů bílkovin

Texturované rostlinné proteiny

Přípravky bohaté na bílkoviny

Reakce

Reakce

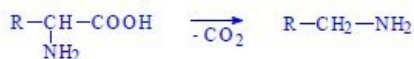
- eliminační, isomerační, adiční, oxidační
- komplexní reakce
- vliv složení potravin, podmínek: teplota, pH, O₂, další látky

Důsledky

- snížení biologické hodnoty
 - rozklad esenciálních aminokyselin
 - vznik nemetabolizovatelných produktů
 - snížení trávitelnosti
 - vznik antinutričních a toxických látek
- vznik aromatických látek
 - hlavně Cystein, Methionin, Ornitin, Prolin
 - aminy, aldehydy, alkoholy, S-sloučeniny

Eliminační reakce

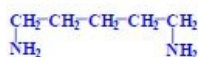
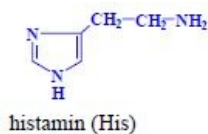
- dekarboxylace (eliminace oxidu uhličitého)



aromatické látky

biologicky aktivní látky (biogenní aminy)

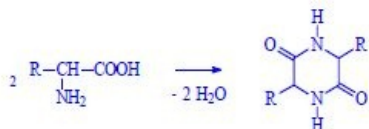
- histamin (His) , kadaverin (Lys)



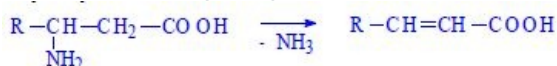
kadaverin (Lys)

Eliminace amoniaku a vody

- vznik 2,5-dioxopiperazinů (cyklické dipeptidy)



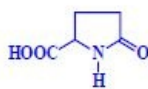
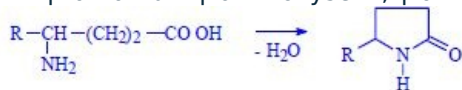
- vznik α -2-enových kyselin



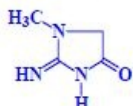
β -aminokyselina (Asp)

α -2-enová kyselina

- vznik γ -laktamů z γ -aminokyselin, γ -aminokyselina Glu, kreatin



2-oxopyrrolidin-2-karboxylová kyselina



kreatinin

Eliminace funkčních skupin postranních řetězců

- reakce v kyselém prostředí nebo termické reakce
 - deamidace proteinů, hydrolýza
- reakce v neutrálním prostředí nebo termické reakce
 - vznik neobvyklých vazeb
- reakce v alkalickém prostředí nebo termické reakce
 - vznik neobvyklých vazeb, neobvyklých aminokyselin, D-aminokyseliny (abiogenní)

Důsledky

- snížení trávitelnosti
- snížení výživové hodnoty
- vznik potenciálně toxických aminokyselin
- vznik aromatických látek

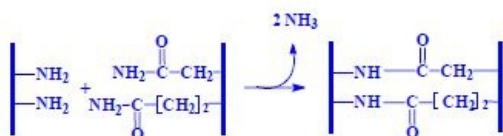
Kyselé prostředí

- Výroba hydrolyzátů bílkovin
 - enzymy autolýza kvasničné autolýzáty, potravinářské hydrolyzáty, sójová omáčka
 - kyseliny potravinářské hydrolyzáty

Neutrální prostředí

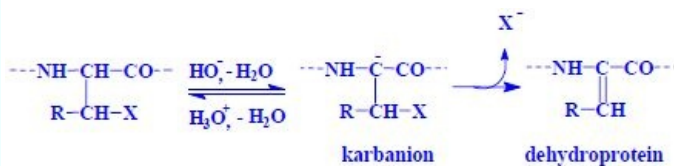
- vznik příčných vazeb a neobvyklých aminokyselin

ϵ -aminoskupina Lys, karboxamidová skupina Asn, Gln



Alkalické prostředí

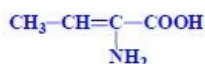
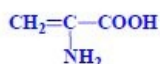
- ztráty Lysin, Cystein, Serin, Threonin, Arginin aj.
- 1,2-eliminace H-X (Ser, Thr, Cys, SySSCy) a hydrolýza



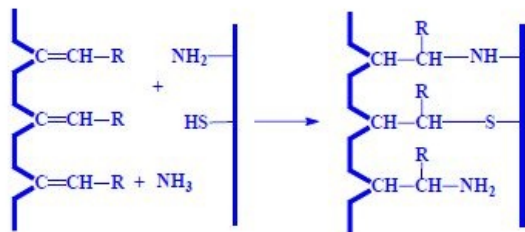
X = OH, SH, SR, SSR aj.

Cys, Ser → 2-aminoakrylová kyselina (dehydroalanin), Thr → 2-aminokrotonová

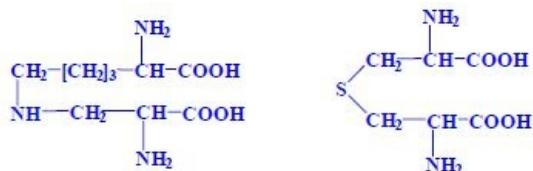
kyselina (dehydrobutyrin)



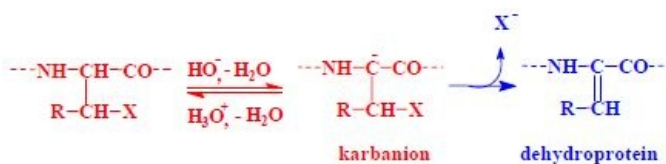
- adice funkčních skupin aminokyselin (intra- a intermolekulární příčné vazby)



- hydrolýza zesíťeného proteinu a vznik neobvyklých aminokyselin, lysinoalanin, lanthionin

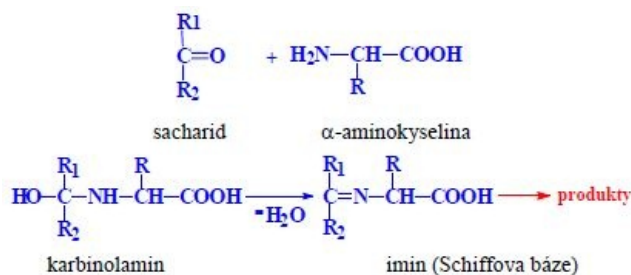


- isomerace a vznik D-aminokyselin, snížená využitelnost



Adiční reakce

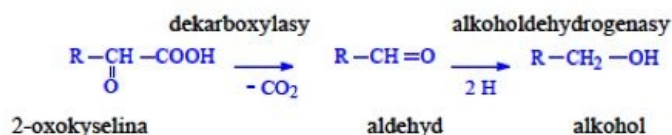
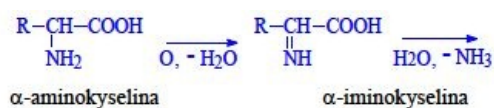
- reakce se sacharidy (aldehydy, ketony), Maillardova reakce



- barevné látky, aromatické látky, biologicky aktivní látky

Oxidační reakce

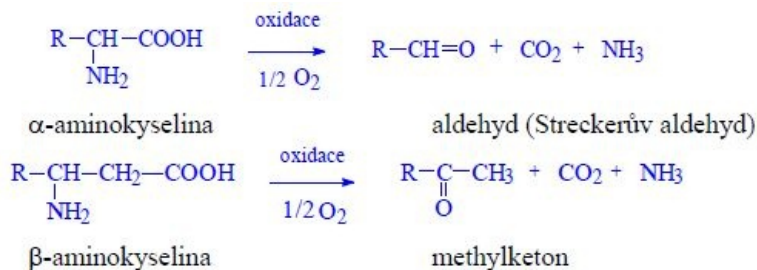
- oxidační deaminace a transaminace
 - Enzymové reakce
 - deaminasy nebo transaminasy, hydrolasy



- aldehydy – aróma ovoce a zeleniny
- alkoholy – aróma alkoholických nápojů (alkoholy přiboudliny)

Streckerova degradace (oxidační dekarboxylace)

- tvorba Streckerových aldehydů
 - Neenzymová reakce



Oxidační činidla

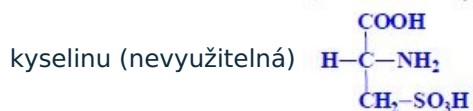
- dikarbonylové sloučeniny
- sacharidy
- chinony
- anorganické látky (chlornany)

Vznik dalších produktů

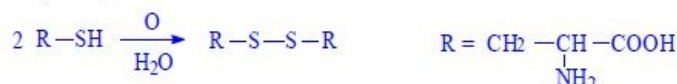
- N- a S-heterocyklické sloučeniny

Další oxidace

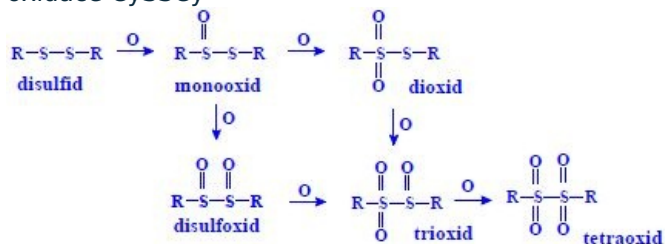
- oxidované lipidy a fenoly, O₂ (fotosenzibilizátory)
- cystein a cystin
 - oxidace Cys na sulfenovou, sulfinovou, sulfonovou (cysteovou)



- oxidace Cys na CySSCy



- oxidace CySSCy



- oxidace Met

$$\begin{array}{ccccc}
 \text{R}-\text{S}-\text{CH}_3 & \xrightarrow{\text{O}} & \text{R}-\overset{\text{O}}{\text{S}}-\text{CH}_3 & \xrightarrow{\text{O}} & \text{R}-\overset{\text{O}}{\text{S}}(\text{O})-\text{CH}_3 \\
 \text{sulfid} & & \text{sulfoxid} & & \text{sulfon}
 \end{array}$$
 R = CH₂-CH₂-CH(NH₂)-COOH

Reakce se složkami potravin

- reakce s polyfenoly
 - tmavá barva izolátů ze šrotů
 - nevyžitelné produkty, snížená trávitelnost
- reakce s oxidovanými lipidy
 - nevyžitelné produkty, snížená trávitelnost

Odkazy

Související články

- Peptidy (1. LF UK, NT)
- Aminokyseliny (1. LF UK, NT)
- Aminokyseliny, peptidy, bílkoviny (1. LF UK, NT)

Zdroj

- DAVÍDEK, Jiří. 2. AMINOKYSELINY, PEPTIDY, BÍLKOVINY[online]. [cit. 2012-03-10]. <<https://el.lf1.cuni.cz/p51525121/>>.

- KOOLMAN, Jan a Klaus-Heinrich RÖHM. *Barevný atlas biochemie*. 1. vydání. Praha : Grada, 2012. ISBN 978-80-247-2977-0.
- MATOUŠ, Bohuslav, et al. *Základy lékařské chemie a biochemie*. 1. vydání. Praha : Galén, 2010. 540 s. ISBN 978-80-7262-702-8.
- MURRAY, Robert K. (Robert Kincaid), David A BENDER a Kathleen M BOTHAM, et al. *Harper's illustrated biochemistry : [object Object]*. 29. vydání. New York [u.a.] : McGraw-Hill Medical ; New York [u.a.] : McGraw-Hill Lange, 2012. ISBN 9780071765763.
- LEDVINA, Miroslav, et al. *Biochemie pro studující medicíny*. 2. vydání. Praha : Karolinum, 2009. 548 s. ISBN 978-80-246-1414-4.