

Sacharidy

- polyhydroxyaldehydy, polyhydroxyketony, minim. 3 alifaticky váz. C,
- sloučeniny tvořené jejich vzájemnou kondensací za vzniku acetalových vazeb (tj. látky, ze kterých vznikají sacharidy hydrolýzou,
- produkty oxidace, redukce substituce aj. reakcí sacharidů.

Rozdělení:

dle počtu atomů C v molekule:

- **triosy, tetrosy, pentosy, hexosy.....**

dle funkční skupiny:

- **aldosy** (př.: aldopentosa)
- **ketosy** (př. ketohexosa)

podle počtu cukerných jednotek vázaných v molekule

- **monosacharidy**
- **oligosacharidy** (2-10 jednotek stejných či různých monosacharidů, glykosidové – poloacetalové vazby)
- **polysacharidy** - glykany (> 10 jednotek)
- **složené** (konjugované, komplexní) **sacharidy** (+ peptidy, proteiny, lipidy...)

(Pozn.: Mono- a oligosacharidy – **cukry** – společné vlastnosti, sladkou chuť, dříve též **glycidy**)

Vznik v přírodě – v buňkách fotoautotrofních organismů (fotosynthesa)

Heterotrofní organismy – získávají potřebné sacharidy z organismů autotrofních nebo z nesacharidových substrátů (AA, hydroxykyseliny, glycerol aj. (glukoneogenese).

V živočišných buňkách – několik % sacharidů, v rostlinných pletivech 85-90% sacharidů.

Funkce v buňkách:

- zdroj energie (1g sacharidu – 17 kJ)
- zákl. stavební jednotky mnoha buněk
- ochrana buňky proti externím vlivům (některé poly- a složené sacharidy)
- biologicky aktivní látky (př.: oligosacharidy mléka)
- složky biol. aktivních látek (glykoproteiny, koenzymy, hormony, vitaminy...).

Chem. reaktivita (obecně) – značně reaktivní, nejvýznamnější reakce s aminosloučeninami (při skladování a zpracování potravin) = tzv. reakce nenzymového hnědnutí (Maillardova reakce – produkty žluté, hnědé až černé pigmenty **melanoidiny**, aromatické látky, antinutriční i toxické látky).

Monosacharidy

Struktura - aldosity, ketosity, dle počtu C triosy, tetrosy, pentosy....

V potravinách obvykle lineární řetězce, též možné i rozvětvené řetězce.

Volná karbonylová skupina (acyklické látky – triosy výhradně, vyšší zřídka)

Vyšší monosacharidy v pěti-, šesti-, vyjimečně v sedmi- členných strukturách (látky cyklické – poloacetal, laktoly), formálně odvozené od tetrahydrofuranu, tetrahydropyranu = heterocykly.

Aldosy

Aldotriosa – glycerinaldehyd (aldehydová skupina v C-1, C-2 chirální => dva konfigurační isomery D-(+)- a L-(-)- glycerinaldehyd – **optické isomery, antipody, enantiomery**, ekvimolární směs – **racemát**.

Aldosy – názvy triviální (běžně užívané v praxi), názvy systematické.

Rozvětvený řetězec – jako složky pektinů (př.: D-apiosa).

Od glycerinaldehydu lze odvodit další aldosity.

Ketosy

Ketotriosa – dihydroxyaceton (1,3-dihydroxy-2-propanon) opticky neaktivní, lze odvodit další ketosy (viz ...).

Cyklické struktury

Spontánní intramolekulární adice prim. nebo sek. –OH na –C=O nebo –CH=O - cyklické poloacetyly (**laktoly** - energeticky výhodná konfigurace). Přednostně 6-ti členné cykly (**pyranosy**), 5-ti členné cykly (**furanosy**), výjimečně 7-mi členné cykly (**septanosy**).

Na C-1 (aldosy) resp. C-2 (ketosy) – nové chirální centrum. Uhlík karbonylové skupiny – **anomerní uhlík**, nově vytvořená –OH – **anomerní hydroxylová skupina**, odpovídající dvojice izomerů – **anomery** (označení konfigurace substituentů na anomerním C - relativní konfigurace vůči atomu C, který určuje příslušnost k řadě D- či L-).

V krystalickém stavu – výhradně cyklické struktury. Po rozpuštění po určité době rovnováha mezi a anomerem - **mutarotace**. Složení rovnovážné směsi závisí na druhu rozpouštědla, pH (acidobasická katalýza) a teplotě.

V enzymově aktivních rostlinných i živočišných materiálech – mutarotace sacharidů obsahujících vázanou glukosu a galaktosu katalyzována mutarotase (aldosa 1-epimerasa). (Viz tab.)

Konformace (prostorová orientace molekuly)

Pyranosy

Energeticky nejvýhodnější forma židličková (C – *Chair*), formy vaničková (B – *Boat*), zkřížená konformace (S – *Skew*), položidličková (H – *Half-chair*) jen zřídka.

Furanosy

Nejčastější konformace obálkové (E – *Envelope*), zkřížené (T – *Twist*) – energeticky rovnocenné. Reálně existuje 10 E-konformací a 10 T-konformací – vzájemně se transformující – **pseudorotace**.

Konformace a množství jednotlivých anomerů sacharidů v roztocích a též v potravinách závisí na intramolekulárních nevazebných interakcích.

Výskyt

Mono- a oligosacharidy – běžná složka všech potravin, obsah a zastoupení jednotlivých cukrů značně proměnlivý (obecně převládají polysacharidy).

Relat. velké množství v ovoci – obsah se zvyšuje během zrání, kolísá v závislosti na druhu, stupni zralosti, podmínkách posklizňového uskladnění, zpracování atd.

Př.: jablka – v době sklizně přítomny stopy škrobu, během posklizňového dozrávání škrob zcela degradován, částečný rozklad hemicelulosy a pektinu, roste obsah monosacharidů.

Volná D-glukosa (hroznový cukr, škrobový cukr, dextrosa) a D-fruktosa (ovocný cukr, levulosa) – hlavní monosacharidy většiny potravin, Minoritní – volná D-manosa, D-galaktosa, další hexosy a jejich deriváty.

Pentosy v potravinách v menším množství. Hlavní D-ribosa, L-arabinosa, D-xylosa (dřevní cukr).

Do mnoha potravin přidávány sacharidy pro zlepšení organoleptických vlastností (chuť, textura) – nejčastěji monosacharidy jako invertní cukr a glukosové nebo fruktosové sirupy.

Maso, masné výrobky:

Glykogen (živočišný škrob) – ve svalech teplokrevných živočichů asi 0,02 – 1% (v závislosti na věku aj.), u ryb do 0,3 %, *post mortem* rychlá degradace – v mase po zrání monosacharidy resp. fosforečné estery (0,1-0,15 % - 0,1% glukosa-6-fosfát, 0,02% glukosa-1-fosfát a fruktosa-1,6-bifosfát, minoritní glukosa, fruktosa, ribosa).

Mléko, mléčné výrobky:

Majoritní laktosa (disacharid), minoritní glukosa, další oligosacharidy (viz...).

Vejce:

Obsah (v sušině) – bílek 9 g.kg⁻¹, žloutek 1 g.kg⁻¹ (v bílku asi polovina, ve žloutku pětina sacharidů vázaných v glykoproteinech – galaktosa, mannososa, glukosamin, galaktosamin, laktaminová kys., zbytek volné monosacharidy – glukosa – 98%, minoritní mannososa, galaktosa, arabinosa, xylosa, ribosa, deoxyribosa).

Med:

Glukosa, fruktosa, minoritní oligosacharidy – viz tab.

Cereálie a cereální výrobky:

Mono- a oligosacharidy vznikající degradací škrobu – minoritní (glukosa, fruktosa, maltosa, sacharosa, rafinosa aj. – obsah proměnlivý, závisí na stupni hydrolýzy škrobu).

Ovoce:

Glukosa – 0,5 - 32 %

Fruktosa – 0,4- 24 %

Polysacharidy – pektin, celuloza (vláknina)

Viz tab.

Hrozny révy vinné – zralé - glukosa a fruktosa 8 + 8 %, v přezrálých hroznech převládá fruktosa.

Ve vinném moštu obsah cukrů 120 – 250 g.l⁻¹

Suchá vína < 4 g.l⁻¹ zbytkového cukru (vyjádřeno jako glukosa) viz tab.

Některé ovoce – méně obvyklé cukry:

Př.:

- jeřabiny (D-sorbosa)
- jahody (heptulosy)
- avokádo (heptulosy, oktulosy, nonulosy)

Zelenina:

Majoritní glukosa, fruktosa, polysacharidy škrob, celuloza, hemicelulosa, pektin.

Př.: v luštěninách ve vyšším množství sacharosa a další oligosacharidy.

Míříkovité *Apiaceae* (celer, petržel) – apiosa ve formě glykosidů.

Okopaniny, kořenové zeleniny - škrob.

Lahůdkové zeleniny – (artyčok, čekanka, černý kořen) čeledi hvězdnicovitých *Asteraceae* – jako rezervní polysacharid *inulin*

Fyziologie, výživa

Heterotrofní organismy – získ energie pro endergonické reakce oxidací hl. živin, vč. sacharidů.

Asi 75 % příjmu energie zajišťované sacharidy poskytují polysacharidy, 25 % mono- a oligosacharidy.

Reakce v organismu: štěpení polysacharidů (*sacharidasy*) na oligosacharidy, hydrolyza na monosacharidy.

V tenkém střevě - aktivní resorpce (glukosa a galaktosa ve formě fosforečných esterů) nebo difusí (ostatní monosacharidy) do tělních tekutin.

Transport do jater, transformace na glukosu (klíčová sloučenina metabolismu a zdrojem energie rostlin a živočichů), oxidací vznikají jednoduché org. sloučeniny, konečný produkt CO₂ a H₂O. Přebytek glukosy deponován v játrech a ve svalech jako glykogen.

Důsledek příjmu glukosy potravou (galaktosa se rychle metabolizuje na glukosu, opačná reakce probíhá v mléčné žláze)- výrazné zvýšení hladiny glukosy v krvi – reguluje insulin (vylučovaný pankreatem). Glukosa a galaktosa **nehodné pro diabetiky**.

Ostatní využitelné monosacharidy nemají na hladinu krevního cukru podstatný vliv (fruktosa vyvolává asi poloviční sekreci insulinu než glukosa

Použití

Rozhodující vliv na organoleptické vlastnosti potravin (chuť, vzhled, textura, rheologické vlastnosti aj.).

Sladkost – relativní:

- sacharosa 100 %
- D-glukosa 40-70 %
- D-fruktosa 90 – 180 %

Glukosa – surovina pro výrobu ethanolu kvasnou technologií aj.

Deriváty monosacharidů

Cukerné alkoholy

vznikají redukcí karbonylové skupiny aldosa a ketosa (polyhydroxyderiváty uhlovodíků).

Alditoly:

Redukce aldosa – vzniká jediný alkoholický cukr

Redukce ketosa – (vytvoří se nový asymetrický uhlík) – vznikají dva diastereoisomerní alkoholické cukry.

Př.: aldosa (erythrosa, threosa), ketosa (erythrulosa)

Konformace tzv. cik-cak (př.: planární konformer – xylitol).

Výskyt:

Přirozené složky potravin vznikající biochemickými reakcemi.

Některé syntetické alditoly – potravin. aditiva (náhl. sladidla – sorbitol, mannitol, isomalt, maltitol, laktitol, xylitol).

Erythritol - ve vinném moštu a ve vínech

ribitol – součástí riboflavinu

D-arabinitol, xylitol – ovoce, zelenina, houby (žampiony *Agaricus bisporus* D-arabinitol – 3,5 g.kg⁻¹ suš., xylitol 1,3 g.kg⁻¹ suš.)

D-mannitol – houby (žampiony 20% suš.), celer (18% suš.)

glucitol – ovoce (viz tab.)

galaktitol – kysané mléčné výrobky.

Využití ve výživě:

Malý vliv na hladinu glukosy v krvi => využití jako náhradní sladidla.

Laxativní účinky (povinná informace u sladidel s obsahem alditolu > 10%).

Cyklitoly:

Polyhydroxyalkoholy (formálně odvozené od cyklohexanu).

V rostlinách kromě hexahydroxyderivátů (**inositoly**) též penta-, tetra- tri-hydroxycyklohexany (a jejich deriváty).

Konformace – židličková stericky stabilní.

Výskyt:

Myo-inositol (ve vázaných formách) – obiloviny, luštěniny (hexafosfát – *fytová kys.*, Mg, Ca soli – *fytin*), př.: pšenice 10 g.kg⁻¹ fytinu, v těstě se hydrolyzuje 70-80% *fytasou* z droždí na *myo-inositol*.

Stereoisomery inositolu dále v sóji, vinném moštu a vínu.

Fosfoinositoly (*myo-inositol* ve formě fosfolipidů - potraviny živočišného původu).

Využití ve výživě (*myo-inositol*):

Klíčová látka v metabolismu mikroorganismů, rostlin i živočichů – dříve řazen mezi vitaminy.

Derivát *fytin* – antinutriční látka.

Cukerné kyseliny

- oxidací aldehydové skupiny aldosa – **aldonové** kyseliny.

Volné kys. (v kys. prostředí) tvoří pětičlenné -laktony (stálé) nebo šestičlenné -laktony (méně stálé).

- oxidací primární hydroxylové skupiny monosacharidů – **uronové** kyseliny. Tvoří snadno 6,3-laktony furanosové či pyranosové formy.

Výskyt:

Jako přirozená složka potravin – v rostlinných materiálech. Glukuronové kys. – stavební jednotky některých polysacharidů.

Výživa: Glykosidy -laktonu D-glukuronové kys. (D-glukoronidy) se uplatňují v organismu při detoxikačních procesech.

Použití: Př.: -laktón D-glukonové kys. jako aditivum (0,1%) k fermentovaným salámům – po hydrolýze volná kys. potlačuje růst nežádoucí hnilobné mikroflóry. Souč. kladně+ působí kys. mléčná a octová po fermentaci D-glukonové kys. bakteriemi rodu *Lactobacillus*.

Glykosidy

Vznikají reakcí poloacetalové hydroxylové skupiny s hydroxysloučeninami (názvosloví od přísl.cukru – glukosa-glukosidy ...).

Necukerná část – *aglykon* (fenoly, alicyklické triterpenové alkoholy, další steroidy, jiné hydroxysloučeniny =>**heteroglykosidy**).

(Je-li reagující hydroxysloučeninou jiný cukr =>**homoglykosidy** = oligo-, polysacharidy).

Též S-glykosidy (thioglykosidy – př.: glukosinoláty), N-glykosidy (glykosylaminy),

C-glykosidy (nehydrolyzují v kys. prostředí, př.: některá přírodní barviva).

Další deriváty cukrů:

Ethery cukrů – minoritní stavební jednotky některých polysacharidů (př.:

2-O-methyl-L-fukosa – složka pektinů).

Estery cukrů – běžná složka všech potravin, nejběžnější fosforečné estery (součást pyrimidinových a purinových nukleotidů v RNA, volné nukleotidy – ATP apod.).

Estery s kys. sírovou – součást mukoproteinů živočišných tkání jako stavební jednotky mukopolysacharidů.

Estery s kys. octovou – př. součást některých glykosidů (saponiny apod.).

Estery D.glukosy s fenolovými kyselinami – př. vakcinin v brusinkách *Vaccinium vitis-idaea*, (E)-1-O-cinnamoyl--D-glukopyranosa v jahodách *Fragaria vesca* aj.

Syntetické estery s mastnými kyselinami – jako emulgátory (potravin.aditiva).

Ulosy – monosacharidy obsahující v molekule souč. aldehydickou skup. i ketoskupinu (též glykosulosy).

Anhydrocukry (glykosany) – vznikají intramolekulární kondensací poloacetalové event. dalších –OH při zahřívání cukru v kys. roztocích (karamel).

Deoxycukry – jedna nebo více –OH nahrazena –H. V potravinách deoxycukry vázané v glykosidech, glykoproteinech, bakteriálních lipidech.

Významná 2-deoxy-D-ribose – součást DNA.

Aminoderiváty - -OH nahrazena –NH₂ (náhrada poloacetalové –OH – glykosylaminy, náhradou jiné –OH – aminocukry).

Výskyt:

- glykosylaminy – přirozená složka všech potravin (ve formě nukleosidů a nukleotidů, cukerná složka D-ribose nebo 2-deoxy-D- ribosa

- aminocukry – stavební jednotky řady polysacharidů (chitin), heteropolysacharidů v mukoproteinech, glykopeptidech a glykoproteinech (mléko, vejce, krevní sérum, synoviální kapaliny kloubů, hlenu dýchacího ústrojí, slin, oligosacharidů mléka apod.), v glykolipidech buněčných membrán, v peptidoglykanech bakteriálních buněčných stěn (mureiny).

Oligosaccharidy

Oligomery monosacharidů – vázáno 2 až 10 molekul monosacharidů glykosidickou vazbou (homoglykosidy).

Názvosloví – di- tri-deka-sacharidy.

Monosacharidy v oligosacharidech ve formě pyranosy nebo furanosy, nejčastěji hexosy.

Disacharidy – kondensace - nebo -anomerní –OH monosacharidu s kteroukoli –OH jiného monosacharidu.

Vzáj. kondensací dvou poloacetal. –OH (vzniklý disacharid neobsahuje anomerní –OH) => neredukující cukr. V jiném případě => redukující cukr (jako výchozí monosacharid vykazuje v roztoku mutarotaci a vyskytuje se jako - nebo -anomer.

Připojením dalších monosacharidů vznikají tri- a vyšší oligosacharidy.

Př.: kondensace -D-glukopyranosy a -D-glukopyranosy.

Glukooligosacharidy

di-, tri- a vyšší oligosacharidy – běžné minoritní složky potravin přirozeně i jako aditiva.

Nejvýznamnější **maltosa** (sladový cukr). Konformace ve vodném roztoku a v krystalickém stavu – viz obr.

Výskyt:

Ve většině potravin. V chlebovém těstě – produkt hydrolýzy škrobu enzymy kvasinek *Saccharomyces cerevisiae*. V klíčících semenech (ječmen-sladový cukr), v medu – až 16% (s fruktosou – 27-44%), glukosou (22-40%), sacharosou (0,3-7,6%) aj. oligosacharidy, v obilovinách, v ovoci. (Viz tab. med)

Výživa:

Relat. sladivost 30-60% sladivosti sacharosy. Po hydrolýze maltasou na glukosu – využitelný cukr. Příjem maltosy dietou značně ovlivňuje hladinu cukru v krvi a sekreci insulinu.

Další glukooligosacharidy – viz tab.

Fruktooligosacharidy

Nejvýznamnější **sacharosa** (řepný, třtinový cukr), neredukující disacharid. Konformace ve pevném stavu i ve vodném roztoku – stabilizace dvěma H-vazbami.

Výskyt:

V rostlinách (ovoce, zelenina) – viz tab. Sacharosu neobsahují např. třešně, hrozny révy vinné (*Vitis vinifera*), fíky aj.

Průmyslový zdroj sacharosy: cukrová třtina (*Saccharum officinarum*), cukrová řepa (*Beta vulgaris* ssp. *vulgaris* var. *altissima* (vyšlechtěné odrůdy 15-20% sacharosy).

Místní zdroje sacharosy:

Př.: Alžír, Irák – datlový cukr (datle až 81% sacharosy)

Indie, Filipíny – palmový cukr ze šťávy palem (*Phoenix silvestris*, *Borassus flabelliformis*, *Cocos nucifera*, *Cariora ureus*)

Kanada, U.S.A., Japonsko – javorový cukr (javor cukrodárný *Acer saccharum*), širokový cukr (stébla široku *Sorghum dosna*).

Výživa:

Po hydrolyze na fruktosu a glukosu je resorbovatelná a využitelná jako zdroj energie.

Významný vliv sacharosy na obsah glukosy v plasmě a na sekreci insulinu.

Použití:

Jako sladidlo

Jako surovina pro výrobu invertního cukru, fruktooligosacharidů, palatinosy, palatinitolu, glykosylsacharosy, laktosacharosy.

Invertní cukr - kys. nebo enzym hydrolyzou sacharosy – ekvimolární směs D-glukosy a D-fruktosy. Použití – aditivní látky, nejčastěji ve formě sirupu (rel.sladkost 95-105% slad. sacharosy).

Fruktooligosacharidy – ve vodě rozpustné, sladké (40-60% slad. sacharosy), nehydrolyzují se sacharidasami – tzv. rozpustná vláknina. (V tlustém střevě fermentovány anaerobními bakteriemi za vzniku nižších MK, L-mléčné kys., CO₂, CH₄, H₂).

Růstový faktor blahodárně působících bifidobakterií (*Bifidobacterium bifidum*) – jimi produkováné kys. (mléčná, octová) resp. snížení pH a produkce látek s antibiotickými a imunomodulačními účinky (bifidin aj.) potlačují růst nežádoucí mikroflory (*E. coli*, *Streptococcus faecalis*, *S. proteus*, *Clostridium perfringens*, též *Staphylococcus aureus*, *Salmonella typhosa* – jim připisován vznik toxických produktů fermentace - amoniak, aminy, nitrosaminy, fenoly, indoly aj.). Bifidogenní bakterie též produkují thiamin, riboflavin, niacin, pyridoxin, folacin, vit. B₁₂.

Melasa

Obsahuje 60% sacharosy a 40% necukerných látek (K-soli, org.kys., AA, aj.).

Řepná melasa- krmivo hosp. zvířat, substrát pro výrobu droždí, ethanolu, citronové a mléčné kys., glycerolu, acetonu aj.

Melasa z cukrové třtiny – 30-40% sacharosy, 10-25% redukujících látek, 5% akonitové kys.

Použití k výrobě pravého rumu a araku.

Další fruktooligosacharidy – viz tab.

Galaktoligosacharidy – viz tab.

Polysacharidy (glykany)

>10 monosacharidových jednotek (až 10^6)

Rozdělení dle monomerních jednotek

- **homopolysacharidy** (homoglykany) výlučně identické monomerní jednotky. Příklad: škrob (amyloza, amylopektin), glykogen, celuloza - monomerní jednotky pouze D-glukosa
- **heteropolysacharidy** (heteroglykany) – monomerní jednotky tvořeny dvěma či více různými monosacharidy, event. deriváty – glukuronové kys., jejich estery, deoxycukry aj. (většina polysacharidů).

Rozdělení dle uspořádání polymerního řetězce

- **lineární** (příklad: amyloza, celuloza)
 - **nevětvené** (příklad: amyloza, xceluloza)
 - **větvené**
 - **jednou větvené** (příklad: dextran)
 - **substituované** (příklad: guarová guma)
 - **několikrát větvené** (příklad: amylopektin)
- **cyklické** (vyšší cyklodextriny)

(Názvosloví homoglykanů – monosacharidový základ – náhradou -osa => **-an.**)

Stavební jednotky homoglykanů

- pentosy – **pentosany**
- hexosy – **hexosany**
- glykuronové kys. – **glykuronany** (polyuronidy)

Primární struktura polysacharidů (pořadí monosacharidů):

- pravidelná (u homoglykanů a některých heteroglykanů)
- pravidelné střídání monosacharidů (karagenany)
- po určitých úsecích v řetězci dochází k narušení pravidelné struktury (pektiny)

Sekundární struktura (konformace makromolekuly) – dána druhem monosacharidových jednotek, jejich konformací a způsobem vzájemných vazeb

- lineární makromolekuly (příklad: celuloza) stabilizovány H-můstky mezi –OH skup. jedné molekuly glukosy a O pyranosového cyklu druhé molekuly
- konformace „krabice na vejce“ – H-vazby mezi –OH monomeru a ionty Ca či iontové vazby disociovných –COOH a iontů Ca (algináty)
- šroubovicové konformace (karagenany)

Terciální struktura (kombinace sekundárních struktur) – například krystalické mikrofibrily celulosy, dvojité a trojitě šroubovice -karagananu.

Rozdělení polysacharidů dle původu (významných ve výživě člověka):

- **polysacharidy rostlin** (nejvýznamnější ve výživě člověka)
- **polysacharidy živočichů** a **ostatní přirozené polysacharidy** (význam minoritní nebo žádný ve výživě člověka).

Rozdělení polysacharidů dle funkcí v živých organismech (tkáně živočichů, pletiva a buňky rostlin, řas, vyšších hub a mikroorganismů):

- **zásobní** (rezervní) - **u živočichů** (glykogen)
 - **u rostlin** (semena, hlízy, oddenky, cibule, kořeny)
 - **škroby** (obiloviny, luštěniny, hlízy brambor)
 - **neškrobové polysacharidy** - *glukofruktany*, *fruktany* (kořen čekanky, semena obilovin)
galaktomannany – tzv. gummy semen (guarová guma, lokustová guma – zásobní polysacharidy luštěnin)
glukomannany (konjakové hlízy)
xyloglukany (řepková a tamarindová semena)
- **stavební** (strukturní) - **u živočichů** *chitin* (exoskelety korýšů, měkkýšů, hmyzu),
mukopolysacharidy (proteoglykany v pojivových tkáních)
 - **u rostlin** (ve stěnách rostlinných buněk)
celulosa
necelulosové polysacharidy (asociované s celulosou)
 - *hemicelulosa* (*xyloglukany* - ovoce, zelenina, okopaniny, luštěniny,
arabinoxylany, *-glukany* – obiloviny
galaktomannany - luštěniny
 - *pektiny*
 - *lignin* – polymer fenylypropanových jednotek (nikoli monosacharidových) asociované s celulosou, doprovodné látky třísloviny, proteiny, lipidy).
- **jiné funkce** (související s hospodařením s vodou a ochranou poškozených pletiv)
 - *rostlinné exudáty* (rostlinné gummy) – př. arabská guma, tragant)
 - *rostlinné slizy*

Přirozený výskyt polysacharidů v potravinách

Ovoce – **pektin**, minoritní **celulosa**, **hemicelulosa**, **lignin**. V nezralém ovoci **škroby** (př. jablka 2,5%), zráním se obsah snižuje k nule. Vyjimka – banány – 3% škrobu, 1% glukofruktanů.

Kořenové zeleniny, okopaniny – **škrob** – zráním obsah vzrůstá.

Dvouděložné zeleniny čeledi *Astraceae* (př. černý kořen, artyčoky, topinambur, cibule)
jednoděložných rostlin čeledi *Liliaceae* (př. česnek, kuchyňská cibule) – hlavní rezervní polysacharidy **glukofruktany**.

Většina zeleninových rostlin – **celulosa**, **hemicelulosa**, **pektiny**, **lignin**.

Obiloviny – **škrob**, **hemicelulosa**, v otrubách **celulosa a lignin**.

Rozdělení polysacharidů z hlediska výživy

- **využitelné** – škrob (hlavní energetický zdroj), glykogen

- **nevyužitelné** (balastní – u člověka a monogastričních zvířat chybí enzymový aparát pro jejich trávení) - celuloza, hemicelulosa, pektin, polysacharidy jako aditiva (polysacharidy mořských řas, mikrobiální polysacharidy, rostlinné gumy a slizy, modifikované polysacharidy), lignin, chitin. (Některé relet. dobře využitelné – př. pektin).

Pozn.: nevyužitelné polysacharidy tradičně nepřesně označovány jako **vláknina**.

Rozdělení dle rozpustnosti ve vodě

- **rozpustná vláknina** (určitý podíl hemicelulos, pektiny, rostlinné slizy, polysacharidy mořských řas, modifikované škroby a modifikované celulosy)
- **nerozpustná vláknina** (celuloza, určitý podíl hemicelulos, lignin).

Vlastnosti a použití polysacharidů

- přispívají k formování textury potravin
- ovlivňují další organoleptické vlastnosti
- rozpustné polysacharidy slouží jako aditiva – plnidla, zahušťovadla, zvyšují viskozitu, působí jako stabilizátory disperzí, jsou gelotvornými látkami.

Význam polysacharidů v moderních potravinářských technologiích – vývoj výrobků se sníženým obsahem tuků a sacharosy.

Dříve dominantní nativní škrob – jeho spotřeba klesá ve prospěch modifikovaných škrobů.

Významné modifikované celulosy, rostlinné gumy, polysacharidy mořských řas a mikroorganismů.

Polysacharidy rostlin

Škrob – hlavní zásobní živina rostlin – pohotovostní zásoba glukosy. Obsažen v organelách cytoplasmy – *plastidech* (na rozdíl od strukturních polysacharidů, které tvoří součást buněčných stěn). V pletivech, kde probíhá fotosynthesa, je v malém množství v *chloroplastech*, ve velkém množství v *amyloplastech* (speciálních buňkách kořenů, hlíz, semen). Je uložen v nerozpustných micelách – **škrobových zrnech** (škrobových granulích), majících druhově specifický geneticky daný tvar (kulatý, oválný) a rozměr.

Struktura škrobu

Většina nativních škrobů – směs *amylosy* a *amylopektinu* v hmotnostním poměru 1:3 (dva homopolysacharidy složených s molekul -D-glukopyranosy v 4C_1 konformaci).

Molekula amylosy – ve vodě a v neutr. roztocích náhodně svinutá, místy s helikální strukturou – levotočivá šroubovice.

Směs polymerů s různým stupněm polymerace (různým počtem glukosových jednotek) – 1000 – 2000 (škroby obilovin), až 4500 (bramborový škrob). M.w. 180 – 1000 kDa.

Amylosa – lineární -D-(1->4)-glukan (tedy polymer maltosy). Větvení asi na 10 místech, částečně esterifikována kys. fosforečnou (pšeničný škrob – asi 0,055% P, bramborový 0,07-0,09% P) u obilných škrobů komplexu s lipidy. Jeden redukující konec.

Amylopektin – řetězce D-glukosových jednotek vázaných >) vazbou (polymer maltosy), po 10-100 jednotkách odvětvení postranních řetězců vazbou -(1->6) (stavební jednotkou *isomaltosa*). Výjimečně vazby -(1->3) (stavební jednotka *laminaribiosa*). Na asi 400 glukosových zbytků připadá jeden zbytek esterifikovaný kys. fosforečnou.

Stupeň polymerace 50000-1000000, M.w. 10-200 MDa.

Mnohostranně větvená struktura makromolekuly (3 typy řetězců – vnější A, vnitřní B, hlavní C), jeden redukující konec.

Škrobová zrna liší se v závislosti na rostlinném zdroji ultrastrukturou, mají společný model (radiálně uspořádané molekuly amylopektinu ve tvaru disku – neredukující konce směřovány ven z granulí – tvoří jejich povrch. Asociovány řetězce amylos (levotočivé šroubovice) orientovány neredukujícími konci na povrch granulí – lokalizovány spolu s radiálně orientovanými molekulami lipidů (mastné kys. vsunuty v helikálních částech molekuly amylos). Vznikají nestechiometrické komplexy (inklusní sloučeniny). V povrchových vrstvách granulí malé množství proteinů s m.w. 5-97 kDa.

Zdroje a výroba škrobu

Hlavní zdroje v potravinách i v průmyslové přípravě – brambory (*Solanum tuberosum*), obiloviny – pšenice (*Triticum aestivum*), žito (*Secale cereale*), ječmen (*Hordeum vulgare*), oves (*Avena sativa*), kukuřice (*Zea mays*), rýže (*Oryza sativa*), pseudocereálie laskavec (*Amaranthus hypochondriacus*) aj.

Zdroj škrobu ve výživě též zralá semena luštěnin – hrachu (*Pisum sativum*), fazolí (*Phaseolus* sp.), čočky (*Lens culinaris*).

Významný zdroj škrobu v jiných zemích – hlízy sladkých brambor (topinambur *Heliantus tuberosus*), rostlina *Manihot esculenta* (v Asii a Africe nazývaná kasava, v Jižní Americe maniok, juka, tapioka).

Minoritní zdroje ve výživě – banány (*Musa cavendishii*), jedlé kaštiny (*Castanea sativa*), různé ořechy (př.: oříšky ledvinovníku západního (*Anacardium occidentale*) známé pod názvy kešu, kašu, akašu apod.

Výroba – granule volně uložené v amyloplastech, nejsou chemicky ani fyzikálně vázány na jiné chemické složky. Jejich měrná hmotnost $1600 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ – po rozdrcení suroviny vypíráním a dekantací na sítěch nebo v centrifugách lze oddělit škrob v čisté formě.

Vlastnosti škrobu a změny

Želatinace (mazovatění)

Při běžné rel. vlhkosti přijímají škrob (=hygroskopické). Zrna asi 0,2 g vody na 1 g suchého škrobu, obsahují asi 17% vody (13% pšeničný, 18-22% bramborový) aniž se mění objem – **imbibice** na 1 molekulu glukosy 1,5 molekuly vázané vody). Ve strukturálních jednotkách glukanu celkem 5 atomů O, které mohou s vodou interagovat. Škrobová zrna ve vodě nerozpustná – tvoří suspenzi. Při zahřevu – nepoškozená zrna dále absorbují vodu (imbibice) až do určité teploty, při které nastává **bobtnání** – reverzibilní proces (počáteční želatinační teplota – interval

10-15 °C – závisí na druhu škrobu, pH, přítomnosti solí, cukrů, lipidů, proteinů – běžně 50-70 °C). V procesu želatinace změny ve struktuře škrobových zrn **nevratné** (tepelným pohybem molekul přerušeni stávajících vazeb, molekuly vody pronikají amorfními oblastmi zrn, interagují s volnými vazebnými centry polymerů. Hydratované řetězce se oddalují, odhalují se další možná vazebná centra, tato reagují s vodou, rozpadá se krystalická helikální struktura postranních řetězců amylopektinu, hroutí se organisovaná struktura, vzniká amorfní forma. Granule zvětšují objem.

Dalším zahřevem molekuly amylosy a amylopektinu původně lokalizované radiálně vystupují na povrch, lineární molekuly amylosy (méně objemné nežli molekuly amylopektinu) pronikají tímto tangenciálně uspořádaným sítím, uvolňují se do prostředí, částečně se štěpí na kratší řetězce, kde jsou zcela hydratovány. Uvolňuje se i malý podíl amylopektinu.

Důsledkem hydratace (při 70 °C) příjem vody asi 25 násobků původní hmotnosti granulí, obje

1 g škrobu asi 200 ml, roste viskozita, při dostatečné koncentraci škrobu (min. 1%) vzniká *škrobový maz*. Pokračováním záhřevu se snižuje viskozita.

Ochlazením škrobového mazu viskozita roste – obnova H-vazeb mezi makromolekulami amylosy a pektinu. Při dostatečné koncentraci škrobu vzniká se solí **škrobový gel**. Z málo koncentrovaných suspenzí škrobu vzniká viskosní pasta nebo viskosní koloidní roztok. Škrobový gel je komplexní systém želatinových granulí v matrici tvořené amylosou.

Retrogradace

Želatinový škrob není v termodynamické rovnováze, po několika hodinách se mění struktura i reologické vlastnosti. Dochází i intermolekulární asociaci mezi lineárními řetězci amylosy H-vazbami, ztrácejí se vazebná centra vázající molekuly vody. Gely získávají gumovitou texturu, vyšší pevnost, zředěné disperze se srážejí, vylučuje se voda, vzniká dvoufázový systém **s-l**. Tyto změny jsou dány vlastnostmi amylosy (min. amylopektinu). Děj je opakem želatinace.

Želatinace i retrogradace závisí na řadě faktorů (původ škrobu, množství a stupeň polymerace amylosy, teplotě, obsahu vody, a dalších složek). K retrogradaci jsou náchylnější kukuřičné škroby. ve srovnání s bramborovými.

Při skladování škrobových gelů s 45-50 % vody při teplotách < 5 °C je retrogradace silně inhibována, v rozsahu teplot – 5 °C do pokojové teploty je rychlost retrogradace vyšší než při pokojové teplotě. Teploty 32-40 °C retrogradaci potlačují, při 65 °C k ní nedochází.

Pro mražené potraviny se lépe hodí škroby s vysokým obsahem amylopektinu, kde je rozsah retrogradace malý. Při skladování i těchto gelů při nízkých teplotách dochází ke ztrátě čírosti a vazkosti v důsledku asociace postranních řetězců.

Za přítomnosti solí a cukrů je stupeň retrogradace nižší. V přítomnosti lipidů je retrogradace potlačována tvorbou inklusních sloučenin s amylosou.

Změny v potravinách

Chléb a jiné cereální výrobky

Tvorbu škrobového gelu ovlivňuje přítomnost dalších složek – voda, cukry (mono- a oligosacharidy), lipidy, proteiny, soli, kyseliny.

Při mletí obilí – mechanické poškození 5-10% škrobových zrn. Při kynutí těsta poškozená zrna přednostně atakována amylázami (diastasa mouky).

Škrob částečně hydrolyzován -amylasou (glukosa, maltosa a dextriny) a -amylasou na maltosu, glukosu a maltotriosu, maltosa (maltasou) hydrolyzována na glukosu.

Dextriny dále štěpeny pullulasou, zbytky dextrinů dále štěpeny amylasami.

Rheologické vlastnosti těsta určovány hlavně vlastnostmi lepku. Žádoucí struktura těsta vzniká jako důsledek interakcí částečně zbotnalých granulí škrobu s bílkovinami lepku, s pentosany, denaturovanými bílkovinami a mazovatěním škrobu. Vzhledem k menšímu množství vody (oproti škrobu v roztocích – př. puding) proběhne v těstě želatinace škrobu v menší míře.

Čím je chléb pečen pomaleji při nižší teplotě, tím více nižších cukrů vzniká (př. německý chléb *pumpernickel* – teplota 100-150 °C, doba pečení 27-100 hod – chléb nasládlý, až 20% redukujících cukrů – tyto při pečení podléhají reakcím neenzymového hnědnutí – typická tmavohnědá barva kůrky a typická vůně).

Chlebová kůrka vystavená teplotě 160-180 °C – neenzymová hydrolýza škrobu na menší celky, tyto kondensují ve větší molekuly, které se neštěpí sacharasy přítomnými v zažívacím traktu – tzv. *pražné* dextriny.

Lipidy (tuky, oleje) a monoacylglyceroly (jako emulgátory) tvoří s amylosou inklusní sloučeniny a zpomalují botnání granulí škrobu (rozsah želatinace je nižší).

Př.: bílý chléb (nízký obsah tuku) – během pečení želatinováno 96% škrobu

Pečivo s vysokým obsahem tuku (zvláště v povrchových vrstvách s nižší aktivitou vody) – značný podíl neželatinovaného škrobu.

Retrogradace – tvrdnutí chleba a pečiva. Rozpěčením (topinky apod.) částečná reželatinace škrobu.

Jiné potraviny – uvolňování amylosy z granulí do prostředí je nežádoucím jevem při vaření těstovin, rýže apod.

Při konzervaci nezralého ovoce a zeleniny s vyšším obsahem škrobu (jablka, hrášek) – vznik kalných viskózních roztoků.

V kys. prostředí – hydrolýza škrobu – vznikají dextriny (tvoří méně viskózní roztoky – př.: delší zahřívání pudingu obsahujícího kyselou ovocnou šťávu, ztekucování dresingů a majonéz obsahujících škroby dochází působením enzymů z čerstvé zeleniny a koření.).

Skladování brambor při teplotách kolem 0 °C – enzymová hydrolýza škrobu (zvýšuje obsah mono- a oligosacharidů – sladká chuť).

Použití škrobu – přirozená součást mnoha potravinových komodit (ovlivňují texturu a funkční vlastnosti).

Nativní i modifikované škroby – užití jako **aditiva**.

Komerční i technologické využití škrobu velmi široké (zahušťovadla, plnidla, želírující látky, poutače vody, náhrady tuků, nosiče vonných látek, stabilizátory pěn a emulzí)

- přímo nativní škrobová zrna v dispergované formě,
- filmy získané sušením škrobových disperzí
- extrudovaný škrob
- surovina pro výrobu modifikovaných škrobů
- surovina pro výrobu některých cukrů a jejich derivátů

(vedle potravinářství škrob využíván v jiných oborech – papírenský, textilní, farmaceutický průmysl, stavebnictví, kosmetika aj.).

Modifikované škroby

Cíl – omezení některých nežádoucích vlastností nativního škrobu (nerozpustnost ve studené vodě, vysoká viskozita škrobových mazů propůjčující výrobkům gumovitou strukturu, obsah amylosy způsobuje tvorbu rigidních kalných retrogradujících gelů, hydrolýza v kys. prostředí apod.), získání žádoucích vlastností nových.

Modifikované škroby

- **přeměněné** (konvertované, degradované)
- **zesítěné**
- **stabilizované**
- **jinak modifikované**

Přeměněné škroby – získají se z nativních

- kyselou hydrolýzou (škroby modifikované kyselinami)
- oxidací (bělené a oxidované škroby)
- záhřevem (dextrinované škroby)

Kyselá hydrolýza – zahřívání konc. disperzí škrobů (36-40%) se zřed. min. kyselinami (< 7 % HCl, 2% H₂SO₄) na teplotu 40-60 °C (nižší než želatinační teplota) po několik hodin. Produkt – tzv. rozpustný škrob ((poškozené granule botnají ve stud. vodě a při zahřátí na

teplotu vyšší než želatinační se rozpadají. Užití: plnidla, náhrada tůků, náhrada sacharosy (gumové dropsy, bonbóny), ve směsi s nat. škrobem pro přípravu pudingových prášků.

Bělené škroby (mírná oxidace peroctovou kyselinou, peroxidem vodíku, chlornanem sodným, manganistanem draselným, chlorem aj. – spíše se odstraní doprovodné barevné látky (karotenoidy).

Oxidované škroby

Oxidace v mírně alkal. prostředí s činidly – viz. Bělení. (schema)

Oxidované škroby tvoří čiré tekuté soly s vyšší fluiditou než škroby nativní, ochlazením vznikají stabilnější gely se sníženou tendencí k retrogradaci. Nízká tendence k asociaci molekul.

dextrinované

Zahřívání nativních škrobů suchých či okyselených zřed. min. kyselinami (0,2%), teplota 100-200 °C, doba záhřevu min až hod:

- bílé dextriny (nejkys. prostředí, krátká doba záhřevu, nižší teploty)
- žluté dextriny
- britské gummy (nejméně kys. prostředí)

Použití: adhesivní látky k přípravě lesklých povrchů cukrovinek a tablet, nosiče aromatických sloučenin, koření, barviv, enkapsulace olejů a liposolubních barviv.

Zesítěné škroby

- adipáty
- fosfáty

Adipáty – reakce škrobu s adipanhydridem (ve směsi s acetanhydridem) ve slabě alkalickém prostředí (vznik příčných vazeb, malé množství acetylovaných –OH na C-6). (Schema)

Fosfáty – reakce s oxychloridem fosforečným nebo trimetafosfátem sodným. Stupeň zesítení nízký (1 příčná vazba na 1000-2000 glukosových jednotek). Výrazná změna reologických vlastností-tvoří se nekohezní pasty.

Použití: zahušťovadla, stabilizátory, úprava textury (náplně pečiva, dresingy, zahušťování omáček, polévek), nevhodné pro výrobky skladované při nízkých teplotách.

Stabilizované škroby

Substituce některých –OH polysacharidů:

- estery škrobů (acetáty, fosfáty, sukcináty aj.)
- ethery (hydroxyalkylethery)

Obvykle se připravují ze škrobů nativních, též ze škrobů již modifikovaných.

Acetylované škroby-reakce škrobových suspenzí s acetanhydridem ve slabě alkalickém prostředí (2,5 % acetylových skupin). Snížení želatinační teploty, vyšší stabilita vůči retrogradaci při skladování produktů za nízkých teplot, vyšší stabilita v kys. prostředí.

Použití – jako zesítěné škroby.

Fosforylované škroby – reakcí vodné suspenze škrobu ve slabě alkalickém prostředí s *ortho*-Na₃PO₄, pyro-Na₄P₂O₇ a tripolyfosfáty při teplotách 120-170 °C (stupeň substituce < 0.25).

Bobtnají ve studené vodě, neželatinující čiré disperze, vyšší stabilita při nízkých teplotách.

Použití: jako zahušťovadla a stabilizátory neslaných nekyselých a mrazárenských výrobků, pudingové prášky rozpustné za studena.

Jinak modifikované škroby

Modifikované škroby upravené dalšími modifikacemi (kombinace kys. hydrolyzy dextrinace, dextrinace se zesílením apod.) – zesílení funkčnosti modifikovaných škrobů. Modifikace působením enzymů (pullulanasa) – náhražky kaseinátů v imitacích sýrů. Předželatinované škroby - škroby botnající ve studené vodě nebo v mléce – sušením zbotnalých škrobů (pro přípravu pudingu za studena).

Hydrolyzáty škrobů a jejich deriváty

Dříve výhradně kyselinami, v souč. (škrob modifikovaný) se hydrolyzuje kyselinami, postupně několika enzymy, nebo kombinovaně – vzniká rozmanitých produktů dle způsobu a podmínek hydrolyzy.

Použití: sladidla, náhražky tuků a cukru v nízkokalorických výrobcích, jako látky upravující texturu a jiné vlastnosti potravin.

Produkty hydrolyzy a dalších reakcí:

Stupeň hydrolyzy – **glukosový ekvivalent** (v anglos. a něm. literatuře **dextrosový ekvivalent** (DE)). DE=0 – škrob, DE = 100 – glukosa (%).

Produkty s hodnotou DE ≤ 20 – viskózní roztoky, nemají sladkou chuť. S rostoucí hodnotou DE – snižování viskosity, zintenzívnění sladké chuti. Dle převládajících složek:

- **maltodextriny** (produkty hydrolyzy DE ≤ 20, 0,3-1,6% glukosy, 0,9-5,8% maltosy, 1,4-11% maltotriosy, 1,4-6,1% maltotetraosy, 75,5-96% vyšší sacharidy).

Použití: většinou se suší, výjimečně jako sirupy. Zvyšují hladkost a lesk výrobků (cukrovinky), brání tvorbě krystalů (zmrzlina, mražené mléčné výrobky), nosiče aromatu, pigmentů, tuků.

Škrobové sirupy – typ I (DE = 20-38), typ II (DE = 38-58), typ III (DE = 58-73), typ IV (DE > 73). Typy II a III – maltosové sirupy, typ IV – glukosový sirup.

Použití: výroba cukrovinek, nealkoholických nápojů, ovocných sirupů, džemů, jako stabilizátory konsistence (zmrzlina), náhražky tuků, surovina pro výrobu karamelu aj.

Jsou zkvasitelné – kvasné biotechnologie.

Cyklodextriny – cyklické maltooligosacharidy až polysacharidy, tvoří krystalické inkluzní komplexy s řadou organických sloučenin i plynů (vázaných uvnitř molekuly - *enkapsulace*).

Použití: nosiče (enkapsulátory) vonných látek, stabilizátory emulzí, k odstraňování hořké chuti v citrusových džusech.

Fruktosové sirupy - z glukosových sirupů působením bakteriální glukosaisomerázy (*Bacillus circulans*), podobné složení jako invertní cukr. Dalšími procesy – sirupy s obsahem fruktosy kolem 90% - sladivost 160-180% sladivosti sacharosy.

Použití: podobně jako invertní cukr a sacharosa (ke slazení nealkoholických nápojů a k výrobě cukrovinek). Sirupy s vysokým obsahem fruktosy (90%) - sladidla pro diabetiky.

Další zásobní polysacharidy neškrobové polysacharidy obsažené v hlízách, kořenech, semenech i ve vegetativních částech rostlin (účastní se procesů klíčení a růstu):

- **heterofruktany**
- **heteromannany**
- **heteroglukany**

Heterofruktany oligo-, polymery D-fruktosy, obsahují-li koncovou jednotku D-glukosu – **glukofruktany** (zásobní látky vyšších rostlin i mikroorganismů – plísně rodu *Aspergillus*, *Claviceps*, *Fusarium*, *Penicillium*, kvasinky *Saccharomyces cerevisiae* aj.).

Inuliny – v kořenech čekanky, v hlízách topinamburu a jiřin.

Použití: surovina pro výrobu sirupů pro diabetiky.

Heteromannany (Konjaková guma), homopolymerní řetězec D-mannosy, vazbou 1-6 vázána D-galaktosa – **galaktomannany** (semena datlí, kávy, endosperm luštěnin)

Použití: potravinářské hydrokoloidy (*guarová a lokustová guma*).

Heteroglukany př.: tamarindová guma – použití: hydrokoloid.

Celulosa

V přírodě nejrozšířenější organickou sloučeninou. Základní strukturní polysacharid buněčných stěn.

Vysokomolekulární lineární polymer D-glukosových jednotek. Každá další glukosová jednotka pootočena oproti předcházející – stabilizace intramolekulárními vodíkovými vazbami. Stupeň polymerace 15000.

Vzájemná interakce prostřednictvím H-vazeb – 3D struktury – celulosové mikrofibrily (tloušťka 10-20 nm, délka několik m, 30-100 makromolekul celulosy).

Paralelní uspořádání makromolekul v mikrofibrilách – rovinný list. Sendvičové uspořádání listů – střídavě posunuty o polovinu délky glukosové jednotky. Stabilizace H-vazbami.

Zóny mikrofibril s vysokým počtem intramolekulárních H-vazeb – krystalická struktura.

Ostatní zóny – amorfni.

Výskyt: v potravinách značný podíl neškrobových polysacharidů – nerozpustná vláknina.

Výživa: Štěpení celulasami (enzymy bakterií a plísní). Organismus obratlovců nemá vlastní celulasu, zažívací trakt býložravců obsahuje symbiotické bakterie produkující celulasu (pro polygastrocké živočichy celulosa představuje využitelný polysacharid).

Použití: nativní celulosa jako nekalorické zahušřovadlo.

Modifikované celulosy

- **hydrolyzované celulosy** – *mikrokrystalická celulosa* – vzniká parciální hydrolyzou celulosy kys. chlorovodíkovou (hydrolyzovány amorfni části mikrofibril, krystalické zóny zachovány)

Použití: potravinářská vláknina, nízkoenergetické plnidlo, nosič aromatických látek, stabilizátor pěn, extruzní technologie (vlastnosti zachovány při vysokých teplotách, v kys. prostředí – pečení, mikrovlnný ohřev).

- **derivatizované celulosy**

Karboxymethylcelulosa

Použití: zahušřovadlo (tvarohové a sýrové pomazánky), stabilizátor emulzí (omáčky, polévky, dresingy), solubilizátor proteinů (želatina, kasein), retardér tvorby krystalů (zmrzlina) aj.

Methylcelulosa, hydroxypropylcelulosa

Použití: zahušřovadla, stabilizátory emulzí, pěnotvorná činidla (hydroxypropylcelulosa), zvýšení vaznosti vody a snížení absorpce tuků (př. smažení koblih).

Pektiny

Skupina polydisperzních polysacharidů o proměnném složení. Základní struktura: lineární řetězec 25 – 100 jednotek D-galakturonové kyseliny, 70 % esterifikovány methanolem, některé acetylovány.

Výskyt: v pletivech vyšších rostlin jako součást stěn primárních buněk a mezibuněčných prostor. Vznikají a ukládají se v ranných stadiích růstu ovoce – přítomnost pektinů a změny během růstu, skladování a zpracování značně ovlivňují texturu ovoce a zeleniny (viz tab.) –

- podléhají enzymové a neenzymové degradaci (důsledek – měknutí plodů a ztráta želírovací schopnosti pektinů).

Pektinové látky – polygalakturonáty s větším počtem methoxylových skupin (pektinové kyseliny), jejich soli (pektinany), neesterifikované polygalakturonáty (pektové kyseliny), jejich soli (pektáty) a doprovodné neutrální polysacharidy (arabinany, arabinogalaktany).

Protopektiny – nerozpustné nativní pektiny buněčných stěn asociované s celulosou.

Fysiologie a výživa – tvoří tzv. vlákninu potravy. Ovlivňují metabolismus glukosy a snižuje obsah cholesterolu v krvi (účinnější pektiny s vyšším obsahem methoxylových skupin).

Doprovodné látky – s celulosou a dalšími strukturními polysacharidy buněčných stěn jsou asociovány různé polymerní necukerné materiály (spevňují buněčné stěny a tvoří vnější hydrofóbní vrstvu – zařazují se do vlákniny, chemicky – fenolové sloučeniny *třísloviny*, proteiny a lipidy).

Lignin – jednou z dominantních komponent dřevní hmoty (asi 25% biomasy), skořápky ořechů, otruby (asi 8%).

Chemická struktura – kopolymer fenylypropanových jednotek.

Užití : během zrání lihovin v dubových sudech se uvolňuje lignin ze dřeva - vznikají fenolové látky, uplatňující se jako složky aroma.

Fenolové složky vzniklé pyrolýsou a obsažené v udícím kouři při uzení masa.

Další polymery

- fenolové sloučeniny podobné tříslovinám – *tanniny*
- rostlinné gumy a slizy (klovatiny – lepkavé šťávy vytékající samovolně z pletiv při působení stresových faktorů – napadení mikroorganismy, při poranění apod.) př.: arabská guma, tragant aj.

Polysacharidy mořských řas

- agary (využití jako želé v pekařských a cukrářských výrobcích aj.)
- karagenany (využití jako zahušťovadlo, gelotvorná látka, stabilizátor a emulgátor mléčných desertů, mléčných nápojů, zmrzlin apod.)
- algináty (soli alginové kys.)

Polysacharidy mikroorganismů a vyšších hub

- extracelulární (slizy, bakteriální gumy) př.: *dextran* – produkují bakterie *Leuconostoc mesenteroides*, *Streptobacterium dextranicum*, *Streptococcus mutans* aj. (využití - vysoce účinné emulgátory a stabilizátory emulzí O / V)
- intracelulární

Vitaminy

organické nízkomolekulární sloučeniny **syntetizované autotrofními organismy**. Heterotrofní organismy je syntetizují jen v omezené míře.

souč. definice: *organické exogenní esenciální katalyzátory heterotrofních organismů*

Příjem - **exogenní** s potravou

- **prostřednictvím intestinální mikroflory**

Funkce – v minimálním množství nezbytné pro látkovou přeměnu a pro regulaci metabolismu.

Nejsou zdrojem energie ani stavebním materiálem,

součást katalyzátorů biochemických reakcí – **exogenní esenciální biokatalyzátory**.

Dle chemického ložení - **heterogenní skupina látek**

Různá hlediska třídění a kvantifikace.

Rozdělení dle společných fyzikálních vlastností

- **vitaminy rozpustné ve vodě** (hydrofilní, hydrosolubilní – rozpustné v polárním prostředí) vitaminy skupiny B – vitaminy **B-komplexu** (thiamin, riboflavin, niacin, pyridoxin, pantothenová kyselina, biotin, folacin, korinoidy), vitamin C (askorbová kyselina)
- **vitaminy rozpustné v tucích** (lipofilní, liposolubilní, rozpustné v nepolárním prostředí) – vitaminy **A D E K**.

Provitaminy – látky nevykazující fyziologické účinky – prekurzory vitaminů (z nich dokáže organismus vitaminy syntetizovat – př.: -karoten – provitamin retinolu).

K vitaminům řazeny i další látky biologicky aktivní, jejichž vitaminový účinek nebyl spolehlivě prokázán.

Potřeba vitaminů pro lidský organismus – relativně nízká množství. DDD (pro zajištění normálních fyziologických funkcí člověka) – viz Příl. č. 1 Vyhl. Č. 293/1997 Sb. Zákona č. 110/1997 Sb. ve znění Zákona č. 306/2000 Sb.

(Závisí na věku, pohlaví, zdrav. stavu, živ. Stylu, stravovacích zvyklostech pracovní aktivitě apod.)

Hydrosolubilní vitaminy nejsou v organismu skladovány (nebo jen omezeně), přebytek vylučován močí.

Liposolubilní vitaminy jsou skladovány v játrech.

Rezervní kapacita - doba, po kterou je potřeba vitamínu kryta rezervami organismu.

Př.: korinoidy (3-5 let) vit. A (1-2 roky), folacin (3-4 měs.), vit. K a C, riboflavin, pyridoxin, niacin (2-6 týdnů), thiamin (4-10 dnů).

Deficience vitamínu => **hypovitaminosa**

Přechodný úplný nedostatek vitaminů => **avitaminosa** (poruchy některých biochemických procesů).

Nadměrný příjem vit. A a D => **hypervitaminosa** (poruchy některých biochemických procesů – může vyvolat těžká onemocnění).

Antivitaminy (antagonisté vitaminů) – látky znemožňující využití vitaminů organismem – důsledek – projev deficience).

Restituce – doplnění na původní hladinu vitamínu v potravě

Fortifikace – obohacení potraviny vitamínem na vyšší hladinu, nežli je přirozená (viz Potraviny pro zvláštní výživu).

přirozená abarviva (riboflavin, vit. A, provit. A)

antioxidanty (vit. C, vit. A, provit. A, vit. E)

Thiamin (vitamin B₁, aneurin)

Struktura (pyrimidinový cyklus spojený –CH₂- s thiazolovým cyklem.

Výskyt - volný thiamin, fosforečné estery ve všech potravinách (viz tab.).

Potraviny živočišného původu – 80-90% thiaminu ve formě thiamindifosfátu, ve vepřovém a kuřecím masu též thiamin trifosfát.

Mléko – thiamin volný, difosfát, částečně vázán na proteiny.

Potraviny rostlinného původu – obiloviny, luštěniny, obecně ve všech smenech rostlin volný thiamin (obiloviny – dominantní zdroj thiaminu – přítomen v klíčcích a v otroubách – bílá mouka asi 10x méně vit. B₁ oproti celozrnným).

Pivovarské kvasnice – asi 160 mg.kg⁻¹thiaminu (v pivu 0,01-0,06 mg.dm³).

Změny v obsahu thiaminu v potravinách během technologického a kulinářského zpracování

Maso a masné výrobky

Obecně dochází ke ztrátě thiaminu:

- při smažení 10-50%
- při vaření a dušení 50-70%

Výše ztrát závisí na velikosti zpracovávaného materiálu, obsahu tuku, vody a použité metodě tepelného zpracování.

- při nakládání masa dochází v důsledku reakce s dusitany k částečnému rozkladu thiaminu za tvorby element. síry, thiochromu a oxythiaminu
- zmrazovací způsoby skladování podstatně neovlivňují stabilitu thiaminu (k úbytku obsahu dochází pomalu).

Mléko a mléčné výrobky

- při pasteraci, sterilizaci, sušení za běžných průmyslových podmínek ztráty asi 10-20%
- při skladování tepelně ošetřeného mléka (závisí na době a teplotě skladování, přítomnosti kyslíku) ztráty thiaminu do 20%

Cereálie a cereální výrobky

- při skladování mouky (závisí na podmínkách skladování) ztráty thiaminu okolo 10%
- při vaření těstovin úbytek thiaminu asi 45% (částečně výluhem)
- při extruzi ztráty thiaminu 20-80% (teplota, obsah vody, přítomnost kyslíku – retence klesá se zvyšující se teplotou a snižujícím se obsahem vody)

Ovoce a zelenina

- při vaření kořenové zeleniny ztráty thiaminu asi 40%
- při sušení téměř úplná destrukce thiaminu.

Riboflavin (vit. B₂, laktoflavin, ovoflavin, uroflavin, vit. G)

Žlutozelený riboflavin - oxidovaná forma (flavochinon) – jako volná látka, častěji ve formě FMN, FAD. Redukcí (jednoelektr.) dvě formy radikálu riboflavinu (červený aniont, modrá neutr. molekula – flavosemichinon). Při enzymatických redox-reakcích vzniká bezb. forma 1,5-dihydroriboflavin (spontánně oxiduje vzdušným kyslíkem na riboflavin), dvouelektr. Redukcí při některých enzymových reakcích vzniká 4a,5-dihydroriboflavin.

Výskyt

Potraviny živočišného původu

Jako FMN a FAD méně jako volný riboflavin ve všech potravinách, distribuce obdobná thiaminu.

V mléce a ve vejcích převládá volný riboflavin (asi z 82%), v mléce je částečně vázán na a -kasein, asi 14% je ve formě FAD, 4% ve formě FMN.

Vyšší obsahy v mase, vnitřnostech, sýrech, v mořských rybách. (Viz tab.)

Potraviny rostlinného původu

Kromě FMN, FAD, volného riboflavinu ve vyšších rostlinách estery a glykosidy riboflavinu (vykazují biologickou aktivitu riboflavinu).

Vyšší obsah v celozrnných výrobcích.

Ostání zdroje

Droždí, pivo (0,5 mg.dm⁻³)

Změny v obsahu riboflavinu v potravinách během technologického a kulinářského zpracování

Při tepelném zpracování je riboflavin stálý, degraduje při ozáření (fotochemická degradace).

(Potraviny s vyšším obsahem riboflavinu skladovat ve vhodných neprůhledných či barevných obalech).

Maso a masné výrobky

Ve vodě (v redukované formě) je riboflavin málo rozpustný – ztráty při vaření i pečení do 10% (částečně výluhem).

Během zmrazování a skladování ve zmrazeném stavu – ztráty po 15 měs. do 15%.

Mléko a mléčné výrobky

Během běžného zpracování (pasterizace, sterilizace) ztráty pod 5%.

Během skladování sušeného mléka – ztráty do 10%.

Velké ztráty při vystavení slunečnímu záření (za 1 hod. 20-40%).

Fermentované mléčné výrobky – vyšší obsah riboflavinu oproti surovině (syntéza riboflavinu použitými mikroorganismy).

Cereálie, cereální výrobky

Obiloviny – vysoký obsah riboflavinu (záleží na stupni vymletí mouky).

- pečení (ztráty do 10%)
- u mouky obohacené riboflavinem ztráty pečením až 30%
- vařené těstoviny (ztráty 35-55% - převážně výluhem)

Ovoce a zelenina

- konzervace (ztráty 25-70% dle technologie zpracování, převážně způsobené výluhem)
- při vaření ztráty 30-40% (převážně výluhem)

Niacin (PP faktor, vit. PP, B₃)

Nikotinová kys. + nikotinamid (niacinamid, dříve též vit. B₃) Obě sloučeniny mají stejnou biologickou účinnost.

Nikotinamid je doučástí NAD (resp. red. formy NADH) a jeho fosforečného esteru (NADP).

Výskyt

Distribuce v potravinách podobná distribuci ostatních vit. skupiny B (prakticky ve všech potravinách ve vázané formě).

Potraviny živočišného původu

Hlavně nikotinamid (ve formě NAD, NADP)

Nejbohatší zdroj – vnitřnosti, maso a masné výrobky, vejce (žloutek asi 60 mg.kg⁻¹) mléko velmi nízký obsah, sýry obsah niacinu vyšší.

Potraviny rostlinného původu

Hlavně nikotinová kys. Obiloviny – vysoký obsah, loupání a mletí prudce snižuje obsah nikotinové kys. v mouce. V kukuřici a čiroku je niacin – vázaný na glykopeptidy.

Luštěniny, zelenina ovoce – průměrný zdroj.

Ostatní zdroje

Pražená káva (alkaloid trigonellin obsažený v zelené kávě pražením degraduje na kys. nikotinovou a pyridiny) obsah kolem 500 mg.kg⁻¹.

Změny v obsahu niacinu v potravinách během technologického a kulinářského zpracování

Niacin je stabilní při většině kulinářských způsobů zpracování potravin. Nejvyšší ztráty způsobené výluhem.

Maso a masné výrobky

Při zpracování syrového masa roste obsah nikotinamidu v důsledku hydrolyzy NAD a NADP. Ztráty během tepelného zpracování nepřesahují 10%, ztráty odkapem při nevhodném rozmrazování až 50%.

Mléko a mléčné výrobky

Při zpracování mléka ztráty pod 5%. Při zpracování na sýry většina niacinu přechází do syrovátky, během skladování sýrů ztráty minimální.

Obsah v jogurtech vyšší oproti surovině v důsledku syntézy niacinu přítomnými mikroorganismy.

Cereálie a cereální výrobky

Při pečení cereálních výrobků ztráty do 10%. V případě použití kypřících prášků na bázi hydrogenuhličitanu amonného využitelnost niacinu vzrůstá v důsledku jeho uvolnění z nevyužitelných forem.

Ovoce a zelenina

Ztráty konzervováním a při vaření brambor asi 30-40% - hlavně výluhem.

Pyridoxin (vitamin B₆, adermin)

3 strukturálně příbuzné deriváty (pyridoxol, pyridoxal, pyridoxamin)

Použití: K fortifikaci dětské mléčné výživy a bílé mouky (v některých zemích) – pyridoxol.Cl⁻

Výskyt

Potraviny živočišného původu – bohatý zdroj – maso, masné výrobky, vnitřnosti, vaječný žloutek (zejména pyridoxal a pyridoxamin ve formě fosforečných esterů, vázané na různé bílkoviny - asi 2/3 celk. obsahu, zbytek volné). V mléce asi 10% váz. pyridoxinu, obsah i v sýrech relativně nízký.

Potraviny rostlinného původu – hlavně pyridoxol a pyridoxal, nejčastější forma 5'-O-(-D-glukopyranosyl)pyridoxol - v ovoci a zelenině 5-80% celk. obsahu vit. B₆ – méně využitelný oproti volnému pyridoxalu.

Hlavní zdroje – obiloviny (vyšší obsah v celozrnných cereálních výrobcích, v obilních klíčcích, v některých zeleninách a v bramborách). V hrachu setém (*Pisum sativum*) minoritní ester glykosidu s 3-hydroxy-3-methylglutarátem (vazba v poloze C-6 D-glukosy).

Ostatní zdroje – droždí (vysoké koncentrace).

Změny v obsahu pyridoxinu v potravinách během technologického a kulinářského zpracování

Ztráty při skladování a zpracování se liší podle komodity, resp. dle převládající formy vitamínu (stabilnější pyridoxol, méně stab. pyridoxal, reakce pyridoxalu s bílkovinami, ztráty vyluhováním).

Maso, masné výrobky – v syrovém mase pyridoxylfosfát, ve vařeném mase pyridoxaminfosfát (produkt transaminace). Retence vit. v pečeném mase asi 45-65%.

Př.: kuřecí maso:

- syrové – pyridoxalfosfát (56%), pyridoxaminfosfát (42%), pyridoxamin (2%)
- pečené – pyridoxaminfosfát (70%), pyridoxalfosfát (21%), pyridoxol (7%), pyridoxamin (2%).

Mléko a mléčné výrobky – při konvenčním zpracování ztráty vit. malé (pasterizace – ztráty do 5%, větší ztráty následným skladováním 40 - 45%).

Během tepelného zpracování se mění částečně pyridoxal na pyridoxamin.

Př.: mléko

- čerstvé – pyridoxová kys. (38%), pyridoxalfosfát (32%), pyridoxal (24%), pyridoxamin (4%), pyridoxaminfosfát (2%)
- pasterované – pyridoxal (41%), pyridoxalfosfát (24%), pyridoxová kys. (20%), pyridoxaminfosfát (9%), pyridoxamin (6%).

Během pasterizace a při sušení mléka reaguje pyridoxal s *cys* a *lys* (volnými AA i váz. v proteinech). Sušené mléko obsahuje 30-70% pův. množství vit. Ke ztrátám dochází vlivem slunečního záření (fotodegradace).

Cereálie a cereální výrobky – hl. forma volný pyridoxol a pyridoxol váz. na D-glukosu. Obsah v mouce závisí na stupni vymletí. V těstě – nepatrné změny. Ztráty během pečení nepřesahují 15%. Retence ve vařených těstovinách 50-70%.

Ovoce, zelenina při konzervování a vaření zeleniny ztráty 40-50%, při obdobném zpracování ovoce ztráty nižší.

Pantothenová kyselina (vitamin B₅)

Struktura: D-(+)-pantoová kys. (2,4-dihydroxy-3,3-dimethylbutanová kys) vázaná amidovou vazbou na -alanin (3-aminopropionová kys.).

L-(-)- forma není biologicky aktivní a je antimetabolitem D – formy.

Hlavní biologicky aktivní přirozené formy pantotenové kys. jsou koenzym A (CoA nebo CoASH) a ACP (*Acyl-Carrier Protein*).

Minoritně doprovází pantotenovou kys. její vyšší homolog – hopantenová kys. (místo -alaninu obasahuje -aminomáselnou kys.

Použití: k fortifikaci potravin jen výjimečně (pantoten. Kys. event. Ca-, Na-soli – jsou stálejší a méně hygroskopické). Soli pantotenové kys. a panthenol – fortifikace krmiv pro hosp. zvířata, farmacie, kosmetika.

Perspektivně (v důsledku rostoucí spotřeby tepelně upravovaných potravin) očekávána rozsáhlejší fortifikace potravin.

Výskyt: prakt. ve všech potravinách živoč. i rostl. původu. Volná kys. – pouze malý podíl, větší část ve vázaných formách na CoA, acylkoenzym A a ACP. Obsah v jednotl. Komoditách značně proměnlivý.

Hopantenová kys. – v suše. Kvasnicích (8500 mg.kg⁻¹), ve vařené rýži (20 mg.kg⁻¹).

Potraviny živočišného původu - relat. velké množství v mase, vnitřnostech, vejcích, v některých sýrech. Malé množství v mléce.

Potraviny rostlinného původu - obsah v mouce dle stupně vymletí, vyšší obsah v celozrnných cereálních výrobcích a v luštěninách, řádově nižší obsahy v ovoci a zelenině.

Ostatní zdroje - droždí.

Změny v obsahu panthotenové kys. v potravinách během technologického a kulinářského zpracování

Pantotenová kys. poměrně labilní při termickém zpracování a při skladování. Ztráty vyluhováním do vody vyšší než ztráty v důsledku hydrolýzy.

Maso a masné výrobky – ztráty tepelným zpracováním (dle technologie, objemu vody aj.) asi 12-50%, konzervováním 20-35%.

Mléko a mléčné výrobky – pasterace nemá výrazný vliv, Přirozený obsah fermentací ovlivněn nepatrně, rovněž skladováním sušeného mléka ztráty min.

Cereálie a cereální výrobky – retence v chlebu až 90%, u vařených těstovin 55-75%, při vaření luštěnin (dle doby máčení) 25-56%.

Ovoce a zelenina – konzervované ovoce a šťávy – ztráty asi 50%, konzervované zeleniny – ztráty 45-80%.

Biotin (dříve vitamin H)

Struktura: [3aS-(aa)hexahydro-2-oxo-1H-thienol [3,4-d] imidazol-4-pentanová kys. , obsahuje v molekule 3 asymetrické uhlíky. Pouze jeden z možných isomerů - (3aS, 4S, 6aR) isomer (*d*-biotin neboli (+)-biotin se vyskytuje v přírodě a je biologicky aktivní.

Použití: k obohacování potravin jen vzjíměčně.

Výskyt: zdrojem je řada potravin, hladiny nízké.

Volný v mléce, ovoci, zelenině, částečně vázaný na proteiny v živočišných tkáních, v rostlinných semenech, kvasnicích.

(V kvasničných autolysátech vedle volného biotinu i jeho prekurzory a analogy (vitamery) př.: detrihiobiotin, biotinsulfon, biocytin – produkty degradace enzymů obsahujících biotin.

Potraviny živočišného původu – vaječný žloutek, vnitřnosti (játra, ledviny), v mléce obsah nízký.

Potraviny rostlinného původu – obsah v mouce dle stupně vymletí (u velmi bílé mouky asi 10% původního obsahu). Bohatý zdroj – hrášek, květák ($0,1 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$), obiloviny, cereálie, luštěniny.

V pšenici pouze malá část biotinu využitelná, lépe využitelný biotin kukuřice a soji.

Ostatní zdroje – droždí, houby ($0,2 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$).

Změny v obsahu biotinu v potravinách během technologického a kulinářského zpracování

Velmi stabilní, ztráty při hydrotermických operacích hlavně výluhem.

Maso, masné výrobky – retence při vaření asi 80%.

Mléko, mléčné výrobky – při pasterizaci ztráty 10-15%, během sušení ztráty vyšší, při skladování se již nezvyšují.

V sýrech hladina biotinu asi o 20-35% nižší ve srovnání zesurovinou. V jogurtech obsah ovlivněn použitou mikroflórou (*Lactobacillus* sp.) a bývá o 45-60% nižší nežli v mléce.

Některé bakterie (př. *Micrococcus* sp. Aj.) biotin produkují, obsah v jogurtu se zvyšuje o 5-25%.

Cereálie, cereální výrobky – během pečení ztráty malé, při vaření luštěnin ztráty 5-15% v záv. na době máčení.

Ovoce, zelenina – při konzervování ztráty asi 30% (většinou vyluhováním – lze považovat za ztráty, jestliže výluh není konsumován).

Folacin (vitamin B₉, vit. M) – biologicky aktivní folové (listové či pteroylglutamové kys.).

Aktivní forma folátů – 5,6,7,8-tetrahydrofolová (neboli tetrahydropteroylglutamová) kys. s redukovaným pteridinovým cyklem.

Výskyt – především ve formě redukovaných tetrahydrofolátů (5-8 jednotek glutamové kys.). Př.: v pomerančích hl. forma pentaglutamát (50%), tetraglutamát (10%), v hlávkovém salátu pentaglutamát a monoglutamát (celkem asi 30% celk. obsahu vit.), čerstvé maso penta- až heptaglutamát, v mase skladovaném triglutamát.

Folacin v čerstvých potravinách jako 5-methyltetrahydrofolát a 10-formyltetrahydrofolát.

Použití – pro obohacování potravin syntetické relat. satbilní formy vit.

(5-formyltetrahydrofolát, 5-methyltetrahydrofolát, tetrahydrofolát).

Potraviny živočišného původu – významný zdroj – vejce a vnitřnosti. Hlavními přirozenými formami folacinu v živočišných materiálech *polyglutamylpeptidy* (převládá pentaglutamylkonjugát) 5-methyltetrahydrofolové kys. (zkr. 5-methyl-H₄-PteGlu_n – asi 50%), 10-formyltetrahydrofolové kys. (zkr. 10-formyl- H₄-PteGlu_n asi 10%) a tetrahydrofolové kys. (zkr. H₄-PteGlu_n – asi 40%).

V mléce a mléčných výrobcích je z celk. množství asi 25% 5-methyl- H₄-PteGlu_n , asi 60% 10-formyl- H₄-PteGlu_n a 15% H₄-PteGlu_n .

Potraviny rostlinného původu – Listová zelenina (hl. formou je heptaglutamylkonjugát) –nejvýznamnější zdroj.

V zelenině a ovoci především polyglutamylpeptidy 5-methyl- a 10-formyl- H₄-PteGlu_n , v obilovinách a luštěninách významné množství folové kys. (PteGlu_n)

Př.: pšenice, žito (a výrobky z těchto surovin) –38-55% vit. ve formě 10-formyl H₄-PteGlu_n , 5-20% 5-methyl- H₄-PteGlu_n , 3-8% H₄-PteGlu_n , 12-21% jako 10-formyl-PteGlu_n , a 12-23% jako PteGlu_n .

Ostatní zdroje – droždí, vyšší houby (*Basidiomycetes*).

Změny v obsahu folacinu v potravinách během technologického a kulinářského zpracování

Maso, masné výrobky – folacin volný a vázaný na polysacharidy. Ztráty při tepelném zpracování až 95% (většinou výluhem).

Mléko, mléčné výrobky – stabilita závisí na přítomnosti kyslíku – při pasterizaci asi 5%, při výrobě kondensovaného mléka až 75%, obsah v jogurtech závisí na použité mikrobiální kultuře (nižší i vyšší nežli v použitém mléce), v tvrdých sýrech asi 75-90% z množství v pův. surovině.

Cereálie, cereální výrobky – nejvyšší v povechových částech obilky – obsah v mouce závisí na stupni vymletí. Během přípravy těsta se obsah nemění, při pečení ztráty 20% a více, při vaření těstovin ztráty okolo 20%.

Ovoce, zelenina – při vaření a konzervování ztráty 20-50%.

Korinoidy (vitaminy B₁₂) – nejsložitější chem. struktura ze všech vit.

Základ – korinový cyklus, centr. atom Co (až 6 koordinačních vazeb s ligandy).

Formy obsahující 5,6-dimethylbenzimidazol – **kobalaminy**.

Výskyt – výhradně v potravinách živočišného původu.

Potraviny živočišného původu – v mléce *adenosyl kobalamina* a *methylkobalamin*, v sýrech a vaječném žloutku *methylkobalamin*.

Do tkání býložravců se dostávají absorpcí vit. produkovaného intestinálními bakteriemi, u ostatních živočichů tato absorpce nízká, vit. se získává ze živočišných potravin. Obsah – viz.tab.

Potraviny rostlinného původu – kobalaminy se nevyskytují (připouští se minor. obsah v luštěninách), nálezy v zelenině mají původ v kontaminaci statkovými hnojivými – pochází z biomasy přítomných mikroorganismů).

(Kobalamin syntetizuje mnoho bakterií i kvasinky – př.: *Candida utilis*).

Změny v obsahu vit. B12 v potravinách během technologického a kulinářského zpracování

Vitamin velmi stabilní, ztráty výluhem.

Maso a masné výrobky – Ztráty závislé na použité technologii – 55-70%.

Mléko, mléčné výrobky – za běžných podmínek zpracování obsah stabilní, při pasteraci ztráty asi 10%. Při výrobě tvrdých sýrů asi 60-90% pův. množství, při výrově fermentovaných výrobků vzrůsa obsah až 30x (za použití *Propionibacterium shermanii*).

Vitamin C (kyselina L-askorbová)

Biologicky aktivní formy – celý reverzibilní redox-systém. Vitamin pouze pro člověka, primáty, morčata, netopýry živící se ovocem.

Použití je určeno vlastnostmi vit.C (vitamin, antioxidant, chelatační činidlo) – jako potravinářské aditivum v konzervářské a kvasné technologii, v technologii masa a tuků, v cereální technologii. Jako antioxidant též askorbát sodný a lipofilní 6-palmitoyl-L-askorbová kys. (inhibuje tvorbu nitrosaminů v nakládaném masu a masných výrobcích).

Jako inhibitory tvorby nitrosaminů při výrobě šunky – nepolární acetyly askorbové kys. (stabilnější než askorbylpalmitát). Estery fosfát a sulfát 20x stabilnější vůči oxidaci oproti volné askorbové kys. – sulfát neaktivní.

D-isoaskorbová kys. – asi 5-20% aktivity, 6-deoxy-L-askorbová kys. asi 30% aktivity, askorbigen 15-20% aktivity, 2-O--D-glukosid je stejně biologicky aktivní, stálý vůči oxidaci. D-isoaskorbová kys. nahradí L-askorbovou kys. jako antioxidant, ne jako vitamin.

Aditivum – k ovocným džusům, konzervovanému a mrazírensky skladovanému ovoci jako prevence nežádoucích změn aróma vyvolaných oxidací, při loupání a krájení ovoce a brambor jako prevence proti enzymatickému hnědnutí (v kys. prostředí je askorbová kys. stabilnější). Přídavek 20-30 mg.kg⁻¹ do piva jako prevence proti tvorbě chladových a oxidačních zákalů a nežádoucích změn aróma a chuti v důsledku oxidace.

Aditivum při výrobě vína – umožňuje snížit množství SO₂ při sírání.

Askorbová kys. (resp. askorbát sodný, askorbylpalmitát) spolu s dusitany – přídavek k masu a masným výrobkům (šunka apod). zkvalitňuje a zrychluje výrobu, zkracuje dobu uzení, stabilizuje barvu hotových výrobků. Nitroxymyoglobin (pigment syrového masa ošetřeného dusitany) se tvoří třikrát rychleji. Askorbová kys. zvyšuje inhibiční účinky dusitanů na toxinogenní bakterie *Clostridium botulinum*.

Přídavek askorbové kys. zlepšuje pekařské vlastnosti mouky.

Jako antioxidant tuků – přídavek askorbylpalmitátu.

Výskyt:

Chemická forma v potravinách – 90-95% vitaminu C jako askorbová kys., zbytek dehydroaskorbová kys.

Potraviny živočišného původu – významný zdroj pouze játra, maso, mléko vejce – zdroje zanedbatelné.

Potraviny rostlinného původu – ovoce, zelenina zejména v čerstvé formě – nejbohatší zdroje vit. C. Výrazné mezidruhové rozdíly v obsahu vit. C (závisí na vegetačních podmínkách během růstu, stupni zralosti, způsobu posklizňového zpracování, skladování atp.). Abs. Nejvyšší známá konc. vit. C – jedlý podíl ovoce *Malpighia puniceifolia* (až 46 g.kg⁻¹) na Západobínských ostrovech, jedlý podíl plodů australského stromu *Terminalia ferdinandiana* (23-32 g.kg⁻¹).

Bohaté zdroje vit. C relativně nevýznamné pro lidskou výživu (šípky, černý rybíz, kadeřavá petržel) vzhledem k jejich nízké spíše příležitostné konzumaci.

Dominantní brambory (během zimního skladování obsah vit. C rychle klesá). Cerealie pouze stopy, vyšší obsah v klíčcích viz tab.).

Houby, kvasinky – výskyt kys. askorbové prakt. nulový, přítomny příbuzné sloučeniny a jejich glykosidy s nižší aktivitou. Kvasinky *Saccharomyces cerevisiae*, *Neurospora crassa* obsahují D-erythro-askorbovou kys.

Změny v obsahu vit. C v potravinách během technologického a kulinářského zpracování

Kys. askorbová – nejméně stálý vit. Ztráty oxidací, vyluhováním. V anaerobních podmínkách ztráty kyselinami katalysovanou degradací. Celkové ztráty 20-80%.

Ovoce, zelenina – ztráty vyluhováním při mytí, předvaření, vaření, konzervování (pokud se vyluh dále nezpracovává) – závisí na teplotě, pH, množství vody, velikosti kontaktovaného povrchu, zralosti, rozsahu kontaminace těžkými kovy, přívodu kyslíku. Ztráty vyluhem vyšší u listové zeleniny s velkým povrchem oproti kořenové zelenině. Ztráty loupáním plodů (odstranění povrchové vrstvy bohaté na vit. C). Ztráty mléčným kvašením zeleniny – až 50% (př.: kvašené zelí).

Možnosti zamezení ztrát:

- omezení kontaktu potravin se vzduchem (odvzdušnění za snížen. tlaku, náhrada vzduchu inertní atmosférou, kvašení za přídavku hydrogensířičitanu
- snížení množství iontů Fe^{3+} a Cu^{2+} vyloučením přímého kontaktu s kovovými nádobami, vazbou iontů do neaktivních komplexů chelatačními činidly
- vytvářením nepříznivých podmínek pro vznik komplexů kovových iontů s askorbovou kys. (snížení aktivity vody, snížení hodnoty pH, použití vhodných derivátů askorbové kys.

Během zpracování je vyšší stabilita askorbové kys. u ovoce (nižší pH). Nejmenší ztráty – vysokoteplotní krátkodobá sterilizace. U kompotů nejvyšší ztráty během skladování (závisí na době, teplotě – 10-50%, u obohacených ovocných šťáv až 80%.

U ovoce konzervovaného oxidem siřičitým ztráty nižší.

Nejstabilnější je kys. askorbová při zmrazování a mrazírenském skladování ovoce a zeleniny ($-18\text{ }^{\circ}\text{C}$), naopak ke značným ztrátám dochází při rozmrazování (30-50%).

Mléko, mléčné výrobky – ztráty značné, při chladírenském skladování asi 50% (roste s teplotou), při tepelném ošetření ztráty 20-50%, relat. stabilní kys. askorbová u sušeného mléka vitamínem obohaceného a baleno v inertní atmosféře.

Vitamin A (all-*trans*-retinol, axeroftol, vitamin A_1). Antixerofthalmický vit. (proti xeroftalmii-šeroslepotě). Chem. struktura: isoprenoid s 5 konjugovanými dvojnými vazbami, resp. alicyklický diterpenový alkohol s tzv. -jononovým cyklem a postranním řetězcem 4 konjug. dvojných vazeb. V potravinách doprovázen řadou analogů a metabolitů lišících se strukturou jojonového cyklu nebo postranního řetězce. Př.: ve sladkovodních rybách vit. A_2 (3-dehydroretinol).

Provitaminy A: skupina asi 50 karotenoidů (retinoidů), nejvýznamnější beta-karoten (v potravinách doprovázen alfa-karotenem, gamma-karotenem, beta-kryptoxanthinem, echinenonem aj.)

Aktivita vit. A – asi 2500 látek syntetických.

Použití: Obohacování potravin syntetickým stabilním retinylacetátem nebo retinylpalmitátem (stolní oleje, máslo, margaríny, mléko, mouka aj).

-karoten – lipofilní barvivo.

Výskyt: V potravinách rostlinného původu, v mikroorganismech (bakteriích, kvasinkách, plísních) se retinol nevyskytuje, pouze provitaminy – karoteny, xantofyly. Živočichové nejsou schopni syntetizovat karotenoidy, pouze přeměňují rostlinné pigmenty na látky odlišné struktury, nebo je deponují (takto vzniká retinol, 3-dehydroretinol, kitol-dimer retinolu).

Potraviný živočišného původu - retinol volný a esterifikovaný vyššími mastnými kyselinami (př.: v mléce - palmitát, oleát, stearát, minoritní estery kys. kaprylové, kapronové, linolenové, laurové, arachidonové, linolové, myristové, palmitoolejové, pentadekanové, gadolejové, heptadekanové a volný retinol).

Bohatý zdroj - játra, máslo. Maso a mléko relat. málo vit. A – úměrně obsahu tuku.

Potraviný rostlinného původu - karoten – bohaté zdroje: listová zelenina, mrkev (karotka), oranžové odrůdy rajčat, meruňky, mango.

Ostatní zdroje – jaterní rybí tuky (př.: tresčí tuk 1000 – 100000 mg.kg⁻¹, vepřová játra asi 30 mg.kg⁻¹, játra ledního medvěda asi 60000 mg.kg⁻¹).

Změny v obsahu vit. A v potravinách během technologického a kulinářského zpracování

Přirozené retinoidy (v rostlinných potravinách) i estery retinolu (v živočišných potravinách) látky relativně stabilní v nepřítomnosti vzduchu. Při vyšší teplotě a na světle – isomerizace na *neokaroteny* – mají aktivitu vit. A, je-li alespoň jeden jojonový cyklus zachován, méně intenzívně zbarvené.

Autooxidace retinoidů je rychlá u dehydratovaných potravin. Reakcí s oxidačními produkty mastných kys. vznikají rovněž méně barevné produkty.

Maso a masné výrobky – při běžných způsobech zpracování masa a vnitřností retinoidy velmi stabilní.

Mléko a mléčné výrobky – při pasterizaci a sušení ztráty asi 6% další ztráty při skladování (v přítomnosti kyslíku a na světle ztráty vit. A až 20-30% za hodinu).

Cereálie a cereální výrobky – Již při skladování mouky reagují karotenoidní pigmenty s hydroperoxydy lipidů působením lipoxygenas. Během mísení a kynutí těsta hydroperoxydy mastných kys. oxidují karotenoidy – důsledek – světlejší barva výrobku (chleba). Při výrobě těstovin ztráta karotenoidů až 75% je nežádoucí – inhibice lipoxygenas kys. askorbovou. Ztráty až 90% při výrobě extrudovaných výrobků.

Ovoce a zelenina – rozsah degradačních změn karotenoidů v konzervovaném ovoci a zelenině malý, retence v konzervovaných měručkách, broskvích, švestkách po roce skladování 85-100%.

V sušeném ovoci a zelenině vlivem oxidace (skladování na vzduchu) ztráty značné (př.: sušená mrkev – ztráty až 50%).

Vitamin D skupina blízké příbuzných lipofilních 9,10-sekosteroidů (D₃ – cholekalciferol, D₂ – ergokalciferol). Vznikají působením *uv* záření z prekurzorů (provitaminů D – cyklopentaperhydrofenanthreny s C-18 a C-19 methylskupinami, C-3 hydroxyl. Skupinou a C-5 a C-7 systém konjug. dvoj.vazeb v kruhu B, liší se vzájemně délkou a uspořádáním postranního řetězce v poloze C-17).

Použití – fortifikace margarínů, mléka a cereálních snídaní ergokalciferolem – vyrábí se fotoisomerizací ergosterolu při 278 nm.

Výskyt: Potraviny živočišného původu - savci, ptáci a ryby syntetizují cholekalciferol stejně jako člověk. (Vyskytuje se tudíž běžně v potravinách živočišného původu.) Mléko – v zimním období asi 4x méně cholekalciferolu než v letním období.

Ergosterol – hlavní sterol většiny plísní => obsažen v plišňových (modrých) sýrech.

Potraviny rostlinného původu – přítomnost ergosterolu v semenech olejnin, obilovin, a cereálních výrobcích je indikátorem mikrobiální kontaminace. Podobně zelenina.

Ostatní zdroje – vyšší houby (*Basidiomycetes*) obsahují ergokalciferol i ergosterol.

Ergokalciferol vzniká z ergosterolu působením slunečního záření -pěstované žampiony *Agaricus bisporus* výrazně nižší obsah ergokalciferolu (asi 2 g.kg⁻¹) ve srovnání s divoce rostoucími houbami (liška obecná *Cantharellus cibarius* kolem 130 g.kg⁻¹, hřib jedlý *Boletus edulis* asi 30 g.kg⁻¹. Ergokalciferol v houbách – asi 90% vit., zbytek provit. D₂.

Ergosterol v kvasinkách *Saccharomyces cerevisiae* – 600-1500 g.kg⁻¹ (v sušině).

Změny v obsahu vit. D v potravinách během technologického a kulinářského zpracování

Vznik oxidačních produktů a isomerů vit. D, v ozářených potravinách fotodegradační produkty (tachysterol, lumisterol aj. – některé toxické).

Vitamin E (antisterilní vitamin) aktivita vit. E - 8 základních strukturně podobných derivátů chromanu (vitageny E). Společný strukturní základ – *tokol* a *tokotrienol* (chromanový cyklus s nas. nebo nenas. isoprenoidním postranním řetězcem o 16 atomů C. V poloze C-2 skup. $-CH_3$, v poloze C-6 skup. $-OH$ (skupiny nezbytné pro biolog.aktivitu všech osmi vitamérů). Formy (nas. isopren.řetězec) – *tokoferoly*, 4 formy s nenas. isopren.řetězcem – *tokotrienoly* (vzájemně se liší polohou a počtem $-CH_3$ v chromanovém cyklu). Tokoferoly - 3 chirální centra => každý tokofelol v osmi diastereoisomerních formách. V přírodě pouze (RRR)- isomery resp. d-tokoferoly. Tokotrienoly – 8 různých *cis*- resp. *trans*- isomery a jejich kombinace. V přírodě pouze *all-trans*- geometrické isomery.

Použití: Pro fortifikaci potravin a krmiv (jako vit. a antioxidant přítomných lipidů) a pro farmac. Účely - syntetický racemický -tokoferol a jeho estery nebo přírodní směs *d*-tokoferolů (získaná jako vedlejší produkt při rafinaci resp. deodoraci olejů). Všechny tokoferoly a tokotrienoly lze převést na -tokoferol methylací a hydrogenací materiálu.

Výskyt: Vit. E v potravinách rostlinného původu, minoritně i v živočišných potravinách a v některých kvasinkách a houbách. (V potravinách vždy všech 8 biol.aktivních tokoferolů a tokotrienolů, tyto též ve formě esterů.

Potraviny živočišného původu – zastoupení jednotlivých vit. E dáno složením krmiva a roční dobou (vždy více než 90% -tokoferol. V rybím tuku malé množství.

Potraviny rostlinného původu – v obilovinách v klíčku a v otrubách (v mouce dle stupně vymletí), i zde -tokoferol – 60%.

Změny v obsahu vit. E v potravinách během technologického a kulinářského zpracování

Tuky a oleje – při rafinaci snížení na 10-50% pův.obsahu - ztráty hlavně při odkyselování (v důsledku oxidace v alkal.prostředí) a při bělení (oxidace na povrchu bělicích hlinek katalyzovanou Fe^{3+} ionty. Při deodoraci ztráty těkáním s vodní parou za sníženého tlaku. Při hydrogenaci tuků (Raneyův Ni-katalyzátor) ztráty vit. E 30-50%.

Ostatní potraviny – V nepřítomnosti kyslíku a oxidovaných lipidů jsou vit. E relativně stabilní při běžných operacích technologických i kulinářských. (Ztráty nepřesahují 10%.) Největší ztráty při smažení a pečení (v opakovaně použitých tucích se tokoferoly prakt. nevyskytují – degradace za vyšších teplot. Postupné ztráty i při mrazírensky skladovaných výrobcích.

Při sušení ovoce a zeleniny ztráty 50-70%.

Vitamin K (koagulační vitamin) všechny sloučeniny vykazující aktivitu vit. K – deriváty menadionu (2-methyl-1,4-naftochinon s nenas. isoprenoidním řetězcem v poloze C-3 arom. jádra).

Vitamin K_1 *fylochinon* (2-methyl-3-fytyl-1,4-naftochinon) – v rostlinných potravinách (postranní řetězec – 20 atomů C - 4 isoprenové jednotky (isomer s *cis*- konfigurací v postranním řetězci není biol.aktivní).

Vitamin K_2 *menachinon-n* (2-methyl-3-multiprenyl-1,4-naftochinon) $n=0-13$, nejběžnější 4-10 isopren.jednotek ($n=7$ *farnochinon*). Produkt bakterií a aktinomycet.

Postranní multiprenový řetězec s *all-trans*- konfigurací nejběžnější.

Escherichia coli – produkuje MK-8

Staphylococcus aureus – produkuje MK-0 – MK-9.

Kvasinky produkují příbuzný koenzym Q.

Vitamin K_3 *menadion* (2-methyl-1,4-naftochinon) syntetická látka.

Vitamin K₄ *menadiol* (2-methyl-1,4-naftalendiol) produkt redukce menadionu, a odvozené sloučeniny (menadioldiacetát, menadioldibutyrate – liposolubilní, Na-menadioldifosfát – hydrosolubilní).

Vitamin K₅ – 1-amino-4-hydroxy-3-methylnaftalen.

Vitamin K₆ – 1,4-diamino-2-methylnaftalen.

Vitamin K₇ – 1-amino-4-hydroxy-2-methylnaftalen.

Použití: Vit. K₃ a jeho hydrosolubilní formy (soli nebo komplexy adičního produktu s hydrogensířičitanem Na), komplex s nikotinamidem aj. jako aditivum do krmiv pro kuřata.

Výskyt: **Maso a masné výrobky** – středně vysoký obsah, játra vysoký obsah (ve vepřových játrech více než 10 aktivních látek).

Potraviný rostlinného původu – výhradně vit. K₁ (v chloroplastech) – vysoký obsah v listech zeleniny (v zelených listech okraje hlávky více vit. oproti vnitřním listům). Vysoký obsah v rostlinných olejích, nízký obsah v ovoci, bramborách, olejovinách.

Ostatní zdroje – vit. K₂ produkovan *E.coli*, *Bacillus* sp.

Změny v obsahu vit. K v potravinách během technologického a kulinářského zpracování

Během zpracování a skladování vit. K rel. stabilní. Vyšší ztráty při expozici dennímu světlu.

Ztráty při smažení (30 min. při 190 °C) – 10-15%, při norm. teplotě po účinku denního světla asi 50% za den.

Další aktivní látky

Dříve bylo řazeno do skup. vitaminů více látek (u některých nebyl kapatytický účinek v metabolismu člověka prokázán). Př.: 4-aminobenzoová kys.(vitamin H), některé slouč. dovede lidský organismus v potřebném množství syntetisovat př.: thiooktová kys., koenzym Q (nejsou známy aniprojevy avitaminosy).

Další látky pův. řazené k vit.: esenciální MK řazený k lipidům, bioflavonoidy řazený k flavonoidním pigmentům rostlinného původu.

Purinové base *adenin* – (6-aminopurin, vitamin B₁, vit. B₄) – stavební jednotka adenosinu a dále ATP a polynukleotidů (RNA).

Orotová kys. (vit. B₁₃) – vedlejší produkt biosynthesy pirimidinových nukleotidů (v mléce).

Pangamová kys. (vit. B₁₅) v obilovinách, luštěninách, droždí (biol. účinky nebyly prokázány).

Karnitin (vit. B₁) trimethylamonium-3hydroxybutyrobetain) výskyt ve většině organismů, významná funkce v metabolismu lipidů (přenos acyl-CoA přes vnitřní membránu mitochondrií).

Antiulcerový vit. U (kabinen, S-methylmethionin) – v brukvovitých zeleninách. Dop. při terapii *Ulcus ventriculi*.

Bioflavonoidy (Vit. P) sdpolu s dalšími flavonoidy v ovoci a v zelenině, ovlivňují permeabilitu a pružnost krevních kapilár (př.: *rutin*).

Cholin (alkohol), *myoinositol* (cukerný alkohol) – běžné složky fosfolipidů rostlin i živočichů – některé významné biol. aktivity.

Thiooktová (lipoová) kys. – společně s redukovanou formou (dimerkaptooktanovou kys. – obecně se vyskytuje v potravinách živoč. i rostl. původu – jako kofaktor enzymů v mnohých redox- reakcích (př.: oxidační dekarboxylace AA).

Ubichinony (koenzymy Q_n, zkrác. CoQ_n) výskyt v potravinách rostl. i živoč. původu – tvoří homologickou řadu, doprovázeny látkami podobné struktury (vit. E). Účastní se redox-reakcí a přenosů elektronů u všech aerobních eukaryotických buněk a u mnoha bakterií.

Esenciální MK (vitamin F, vitagen F) - viz lipidy.

Minerální látky

Minerální látky obsažené v potravinách – interakce s vodou, vzájemné interakce, interakce s organickými složkami potravin (tím ovlivněna využitelnost živin). O formě (chemickém stavu) prvku rozhoduje složení potravy, pH, možnost hydratace kovových prvků, redox-systém (ovlivnění oxidačního stupně prvku) aj.

Vazebné možnosti prvků Chemické vlastnosti prvku – rozhodující pro charakter interakce prvku s organickou maticí (materiálem potravy), tj. pro tvorbu přísl. sloučeniny (dáno umístěním prvku v periodickém systému, vyplývají z elektronové konfigurace).
Nekovy a metaloidy (P, As, S, Se – střední hodnoty elektronegativity) – trojí v biologických systémech kovalentní sloučeniny (Estery kys.fosforečné, S-AA, Se-AA, As-aminosloučeniny, S-heterocykly).
Alkalické kovy, kovy alk.zemin, Mg (velmi nízké elektronegativity), halogeny (velmi vysoké elektronegativity) – výskyt v biol. materiálu jako volné ionty, přednostní účast v elektrostatických interakcích, méně vázané v málo rozp. sloučeninách (šťavelan-Ca), v kovalentních sloučeninách (př. hormony trijodthyronin, thyroxin – I-AA), Cl⁻ jako ligandy, Fe, Mg, Co jako centrální atomy, tendence ke kovalentním vazbám Cd, Hg.
Přechodové kovy, event. některé nepřechodové kovy (Al, Pb, Zn) – výrazný sklon k tvorbě komplexních sloučenin.

Interakce kovů s organickými složkami potravin

Aminokyseliny – mohou vázat kovové ionty do koordinačních sloučenin prostřednictvím disociované karboxylové skupiny i aminoskupiny (O v karboxylu i N v aminoskupině – donory elektronů – poskytnou elektron. Pár do koordinačně-kovalentní vazby s centr. kovovým atomem (rozhodující vliv pH => různá forma a disociace AA v roztoku).
Biogenní aminy (produkty dekarboxylace AA) - komplexotvorné vlastnosti (př.: cheláty diaminů – kadaverin, putrescin).

Peptidy, proteiny – možná vazba kovu prostřednictvím N-koncové aminoskupiny, C-koncového karboxylu, funkčních skupin v postranním řetězci (př.: Lys, Orn, Asp, Glu, Cys, His). Oligopeptidy – peptidový řetězec obklopi centr. kovový atom. Možnost vzniku vícejaderných komplexů.

Peptidy obsahující cystein (glutathion, fytochelatiny a homofytochelatiny) – přirozené rostlinné peptidy se schpností vázat ionty TK do stabilních komplexů – obranný rostlinný systém před fytotox. účinky TK.

Metalothioneiny (pův. zjištěny ve vnitřních orgánech savců, i v tělech jiných živočichů – ryby, bezobratlí) – tvorba indukována ionty Cd, Cu, Zn, Ni, Pb, Co, Bi, Hg, Au, Ag – důležitý mechanismus detoxikace.

Metaloproteiny – pravidelná struktura, charakteristický způsob vazby kovu a vazeb. Místa pro kovový ion (kov vázán i prostřednictvím neaminokyselinové komponenty proteinové makromolekuly (př.: prosthetická skupina – Fe vázané v porfyrinové struktuře hemu).

Specifické biologické funkce (katalyzátory-metaloenzymy, transportní a zásobní látky aj.

Sacharidy – obecně polyhydroxysloučeniny – komplexotvorné vlastnosti (uplatní se pouze za mimořádných chem. podmínek, které u potravin nenastávají). O-atom hydroxyskupiny pro většinu kovů mnohem slabší donor elektronového páru oproti S a N.

Mono-, disacharidy a alkoholické cukry tvoří komplexy s ionty kovů v alkal. prostředí.

Komplexy s Fe³⁺ tmavě žluté až hnědé, stechiometr. poměr 1:1 (zvyšují biologickou využitelnost Fe v dietě).

Komplexy sacharosy s Ca – význam v cukrovarnictví.

Spontánní tvorba komplexů kovů se sacharidy – konfigurace –OH na třech sousedních atomech C v šestičlenném cyklu židličkové konformace střídavě axiální, ekvatoriální, axiální (př.: komplex Ca^{2+} s *epi*-inositolem).

Fytová kyselina (*myo*-inositol hexakisdihydrogenfosfát) – s ionty Ca, Mg, Fe^{III} , Zn aj. – fytáty.

Ca-Mg komplex – fytin. (Důsledek stabilní vazby a malá rozpustnost – snížení biologické využitelnosti prvků ze stravy u potravin s vyšším obsahem fytové kys. – obiloviny, luštěniny, olejnatá semena, ořechy). Možná interakce fytové kys. s proteiny či fosfolipidy => komplexy Me-Prot-fyt.kys., fyt.kys.-Me-fosfolipid.

Lipidy – triacylglyceroly a vosky (nepolární) => omezená možnost tvorby Me-komplexů.

Výjimky – tvorba -interakce nenas. MK a nenas. lipidů s některými ionty (Ag^+), tvorba solí volných MK.

Polární lipidy (hydrofóbní část řetězců MK + hydrofilní část) –fosfolipidy tvorba komplexů s různými Me-ionty.

Možné vazby Me s řadou dalších org. sloučenin obsažených v potravinách (org. kyseliny, flavonoidy a jiné polyfenoly v rostlinách, porfyriny a korinoidy, ATP, riboflavin aj.

Esenciální prvky

Sodík, draslík – dominantní funkce v lidském organismu – (Cl^- jako protiont) udržení osmotického tlaku intra- a extracelulárně a udržení acidobasické rovnováhy, aktivace některých enzymů. K ovlivňuje aktivitu srdečního svalu.

Obsah v lidském těle – 70-100 g Na (extracelulárně), 140-180 g K (intracelulárně).

Denní příjem potravou 1,7-6,9 g Na (většinou ve formě NaCl nebo Na-hydrogenoglutamátu), 2-5,9 g K. Vylučování převážně močí, nadměrné pocení při mimořádné tělesné námaze – ztráty až 8 g/den (tj 20 g NaCl), v těchto případech bez externího příjmu Na ve zvýšeném množství – důsledek svalové křeče, bolesti hlavy, průjemy. Přebytek Na v organismu – těžké poruchy (dlouhodobý nadměrný příjem Na ve stravě - hypertenze). Deficit K – poruchy ledvin, svalová slabost, nepravidelnost srdeční činnosti.

Výskyt v potravinách – viz tab. (V praxi – v některých komoditách až o několik řádů vyšší obsah Na v důsledku solení.)

DDD Na – max. 2,4 g/den (tj. 6 g NaCl).

Chlor v těle asi 80g (ve formě Cl^-). V řadě potravin majoritní prvek (zejména v závislosti na přidaném NaCl během technologie). Obsah v potravinách – viz tab.

Max.DD pro dospělého člověka 75 mg, pro děti do 1 roku 180-300 mg, pro děti od 1 do 9 let 350-600 mg.

Hořčík, vápník - v těle dosp.člověka 25-40 g Mg (60 % v kostře), pankreas, játra, kosterní svalstvo. Krev a extracelul. tekutiny 1%.

1500 g Ca, 99% v kostře a v zubech ve formě fosforečnanu-Ca).

Výskyt v potravinách – viz tab.

Mg: DDD 50-70 mg pro děti do 1 roku, 150-200 mg pro děti do 6 let, 350 g pro dospělé muže, 300 mg pro dospělé ženy (během gravidity a laktace 450 mg).

Ca: DDD 400-500 mg pro děti do 1 roku, 800-1200 mg starší děti a adolescenti, 800 mg pro dospělé, 1200 mg ženy (gravidita, laktace).

Fosfor dospělý člověk 420-840 g P (80-85 % v kostech a zubech), krev 400 mg.dm⁻³, svalovina 1700 – 2500 mg.kg⁻¹, nervová tkáň 3600 mg.kg⁻¹, kosti a zuby 22 % hmotnosti. Obsah v potravinách: ve většině potravin nad 100 mg.kg⁻¹ (výjimka – rafinované tuky, rafinovaný cukr – obsah P minimální), viz tab.

Fytátový fosfor – nižší biol.využitelnost P i Ca, Mg, Zn a Fe viz tab.

Zvýšení obsahu P v některých komoditách nad přirozenou hladinu – asditiva (polyfosfáty, soli kys. trihydrogenfosforečné) – ovlivňuje hydrataci proteinů a polysacharidů a jejich koloidní vlastnosti, zvyšuje vaznost vody v masných výrobcích, zajišťuje vhodnou texturu tavených sýrů, antimikrobiální účinky. Kys. fosforečná – okyselující látka (Coca-Cola), polyfosfáty – čířidla piva a vína. U nápojů balených v plechovkách – polydfosfáty zpomalují korozi.

DDD 300-500 mg (děti do 1 roku), 800 mg (děti do 10 let), 1200 mg pro dospělé (při běžném stravování není deficit). Nezbytný poměr P a Ca ve výživě (maso, drůběž, ryby – 15-20x více P oproti Ca, vejce, cereálie, luštěniny 2-4x více, mléko, listová zelenina, sýry, kosti Ca > P.

Síra obsah v lidském těle asi 140 g. V potravinách v mnoha kovalentních sloučeninách (biokatalyzátory – thiamin, pantothenová kys. resp. koenzym A, biotin aj.), sírné AA (součásti proteinů, prekuzory vonných a chuťových látek.

Obsah v potravinách viz tab.

Železo obsah v lidském těle (dosp.) 3-5 g. Nejvyšší konc. v krvi (hemoglobin), játrech a slezině (ferritin, homosiderin), nižší konc. v srdci, ledvinách, kosterním svalstvu (myoglobin). Tab.

V enzymech min. množství Fe:

- hemové enzymy: cytochromy, oxygenasy, peroxidasy
- nehemové enzymy: dukcinátdehydrogenasy, xanthinoxidasa, NADH-cytochrom-c-reduktasa (flavinové enzymy z třídy oxidoreduktas), akonitasa (enzym z třídy lyas).

Biochem. funkce Fe: dle sloučenin, ve kterých je obsaženo (převážně v mechanismu transportu kyslíku krevním řečištěm a deponování kyslíku ve svalové tkáni (hemoglobin, myoglobin), katalýza redox-reakcí (Fe v hemových a flavinových enzymech).

Proteiny se železem a sírou - Fe vázáno sulfhydrolylovými skupinami cysteinových zbytků, příp. sulfidovými ionty - FeS-proteiny (rubredoxiny), Fe₂S₂-proteiny a Fe₄S₄-proteiny (ferredoxiny).

V krevní plasmě nehemový glykometalloprotein (trensferin), zásobní formy železa ve slezině, játrech, kostní dřeni (ferritin, homosiderin).

Výskyt v potravinách – tab.

Výživa: DDD 6 mg – děti do 6 měs., 10 mg – děti 6 měs. až 10 let, 12 mg – chlapci 10-18 let, 15 mg - ženy a dívky 11-50 let, 10 mg – dospělí muži a ženy nad 50 let, grav. ženy 30 mg, laktace 15 mg.

Nedost. Příjem Fe dietou – anemie, snížení imunity. Nadměrný příjem – hemosiderosa (koncentrování hemosiderinu v játrech => těžké poškození jater.

Zinek obsah v lidském těle (dosp.)1,4-3,0 g (kůže, nehty, vlasy, oční tkáň, játra, ledvina, slezina, muž. pohl. orgány.

Obsah v metaloenzymech (známo asi 200). Komplex s insulinem (pankret.enzymem).

Obsah v potr. - tab.

DDD: 5 mg děti do 1 roku, 10 mg děti 1-10 let, 15 mg chlapci a muži, 12 mg dívky a ženy, 10 mg muži a ženy nad 50 let, 15 mg grav.ženy, 16-19 mg laktace.

Deficit (dlouhodobě dieta s nízkým obsahem Zn či převaze složek potravin snižující biol. využitelnost Zn, nebezpečí zejména v dětském věku (zpomalený růst, nedost. Vývoj mužských pohl. orgánů, ztráta chuti, dermat. změny, vypadávání vlasů a nehtů – změny reverzibil. – vyššími dávkami zinků reverze.).

Vyšší dávky tox. – (2 g Zn *per os* – podráždění sliznic trávicího ústrojí, zvracení, 10 – 30 x DDD změny krev. Obrazu typické při deficitu Cu (Zn antag. Cu).

Měď lidské tělo 100-180 mg ($1,7 \text{ mg.kg}^{-1}$), u novoroz. asi $4,7 \text{ mg.kg}^{-1}$. Játra 15 mg.kg^{-1} , novoroz. 230 mg.kg^{-1} , ledviny $2,1 \text{ mg.kg}^{-1}$, svalstvo $0,7 \text{ mg.kg}^{-1}$, mozek $5,6 \text{ mg.kg}^{-1}$, plíce $2,2 \text{ mg.kg}^{-1}$. V játrech Zn v enzymu superoxidodismutázy, v mozku v metalloprot. cerebropupreinu. Výskyt v potr.: $< 10 \text{ mg.kg}^{-1}$, význam. zdroje játra, luštěniny, houby – tab.

DDD 0,4-0,7 mg děti do 1 roku, 0,7-2,0 mg děti od 1 do 10 let, 1,5-2,5 mg adolescenti, 1,5-3 - dospělí.

Deficit vzácný – event. vyšší hladiny cholesterolu v krvi, změny srdečního rytmu, snížená glukos. tolerance.

Tox. pro savce nízká.

Mangan v těle 10-20 mg (kosti $2,6 \text{ mg.kg}^{-1}$, játra $1,4 \text{ mg.kg}^{-1}$).

V potr. Viz tab.

Příměř. DD 0,3-1 mg děti do 1 roku, 1-3 mg děti od 1 do 10 let, 2-5 mg adolesc., dospěl.

Deficit: zpomalený růst, poruchy reprodukce, abnorm. Vývoj kostí.

Tox. – zpomalení růstu, anémie (při relat. vysokých dávkách).

Nikl v těle 10 mg. (plíce $20-150 \text{ g.kg}^{-1}$, ledviny $5-15 \text{ g.kg}^{-1}$, kosti $200-400 \text{ g.kg}^{-1}$, krev 5 g.dm^{-3}).

Funkce u živočichů neznámé. Výskyt v potr. – viz tab.

DDD nejsou určeny (dle výživy 150-700 g). Na exper. zvířatech: deficit-zpomalení růstu, tox. $> 250 \text{ mg.kg}^{-1}$ potravy.

Dráždivé účinky na kůži (tox. a karcinogen. tetrakarbonyl-Ni).

Kobalt v těle $< 1,5 \text{ mg}$. Esenciální pro bakterie, řasy, přežvýkavci. Pro ostatní organismy esenciální vit. B₁₂.

Výskyt v potravinách – tab.

DDD není stanovena, reál. DD 5-10g.

Molybden v těle 5-10 mg. Obsažen v některých enzymech.

Výskyt v potravinách – viz. tab.

Příměřené DD 15-40 g děti do 1 roku, 25-75 g děti 1-6 let, 75-250 g nad 7 let. Skutečně ze stravy – 120-240 g.

Chrom v těle asi 5 mg. Distribuce rovnoměrná. Krevní plasma $0,1-0,4 \text{ g.dm}^{-3}$.

V ox. stupni III esenc. Prvek, v ox. stupni VII vysoce tox. a mutag., alerg., karcinog. vlastnosti.

Výskyt v potr. – viz tab.

Příměřená DD 50-200 g. Skuteč. DD 25-100 g.

Deficit: trvale zvýš. hladina krevní glukosy, zvýš. hladiny cholesterolu a triacylglycerolů, nervové a mozkové poruchy.

Tox. při mimoř. vysokých dávkách. (Cr^{VI} toxický, genotox., karcinogenní, kožní ekzémy, respirace prachu – plicní nádory).

Vanad obsah v těle není znám. Biochem. – zasahuje do metabolismu sacharidů a lipidů.
Obsah v potr. – viz tab.

Selen v těle 15 mg. Esenc. Prvek (součást glutathionperoxidasy).

V potr. – viz tab.

DDD 10-15 g děti do 1 roku, 20 g děti 1-6 let, 30 g děti 7-10 let, 40 g chlapci, 45 g dívky, 55 g dospělé ženy, 70 g dospělí muži. Grav., laktace 65-75 g.

Jod v těle 10-30 mg (70-90% ve štítné žláze – součást enzymů thyroxinu, trijodthyroninu).

V potravinách – viz tab.

DDD 50-75 g (dle věku, v ČR asi 100g)

Deficit – snížená funkce štítné žlázy.

Fluor v těle 0,8-2,5 g (zuby, kosti, ochranný faktor proti zubním karies).

V potravinách – viz tab.

DDD – 0,1-0,5 mg – děti do 6 měsíců, 0,2-1 mg, děti 1-3 roky – 0,5-1,5 mg, dospělí 1,5-4 mg.

Bor esenc. Pro rostliny, u živočichů nepotvrzené informace. Kys. boritá tvoří stab.komplexy s polyhydroxyslouč. (cukerné alkoholy, sacharidy, nukleotidy, riboflavin, askorb. kys.).

Obsah v potr. Viz tab.

DDD nestanovena.

Křemík v těle asi 1,4 g (více v rostlinách). Předpoklad – nezbytný pro biosynth. kolagenu.

Mechanismus účinku není znám. Obsah v potr. – viz tab. DDD nestanovena, reál.příjem 20-50 mg.

Maillardova reakce

Reakce redukcujících sacharidů s aminosloučeninami (nejvýznamnější a nejrozšířenější chemické reakce probíhající během zpracování a skladování potravin). Vzniká řada velmi reaktivních karbonylových sloučenin reagujících vzájemně a s přítomnými aminosloučeninami. Soubor reakcí.

Francouzský chemik Louis Camille Maillard první popsal tvorbu hnědých pigmentů při zahřívání glukosy s glycinem. Dosud není prezentováno kompletní reakční schema.

Tvorba hnědých pigmentů **melanoidinů** => reakce neenzymového hnědnutí (i jiné reakce, kupř. karamelizace cukrů – Maillardova reakce je zvláštní případ neenzymového hnědnutí). Dosud charakterisována jen malá část sloučenin vznikajících v těchto reakcích:

- sloučeniny relativně stálé, nedochází k dalším reakcím během izolace a identifikace
- reaktivní meziprodukty, ve velmi nízkých koncentracích, rozkládají se během izolace
- volné radikály, hrají důležitou roli při tvorbě vonných a chuťových látek, vysokomolekulárních barevných pigmentů a působení *in vivo*.

Studium Maillardovy reakce – pozornost věnována zejména:

- vzniku hnědého zbarvení (žádoucí – barva chlebové kůrky, pražené kávy, smažené cibule, nežádoucí – výroba sušených potravin, sušeného mléka, ovoce, zeleniny apod.)
- vzniku aromatických látek žádoucích (vůně chleba a pečiva) i nežádoucích
- výživovým a fyziologickým aspektům reakcí (snížení nutriční hodnoty potravin – reakce cukrů a jiných karbonylových sloučenin s esenciální limitující AA lysinem)
- toxicitě některých produktů – mutagenní a karcinogenní látky
- antioxidačním vlastnostem reakčních produktů (reduktory a melanoidiny).

Nejvýznamnější sacharidy potravin podílejících se na Maillardově reakci: monosacharidy glukosa, fruktosa, ribosa (maso a masné výrobky), disacharidy laktosa (mléko a mléčné výrobky), maltosa (cereální výrobky).

Sacharidy vázané glykosidickou vazbou v glykoproteinech, glykolipidech a heteroglykosidech se účastní Maillardovy reakce po hydrolýze na monosacharidy.

Reakčními partnery jsou bílkoviny a volné aminokyseliny.

Bílkoviny reagují s redukcujícím sacharidy prostřednictvím -aminoskupiny vázaného lysinu, méně -aminoskupiny N-koncových aminokyselin, minoritně jiné funkční skupiny.

U sýrů aj. kromě bílkovin významně reagují i biogenní aminy.

Vedle sacharidů, jejich degradačních produktů a degradačních produktů aminokyselin (aminy, amoniak, aldehydy aj.) reagují i původní karbonylové látky v potravinách (aldehydy, ketony v silicích, askorbová kys. aj) a karbonylové sloučeniny vznikající z nesacharidových prekurzorů (př.: aldehydy vzniklé oxidací tuků).

Studium na modelových systémech – př.: glukosa a glycin – vzniká mnoho desítek reakčních produktů.

Viz SCHEMA - 3 fáze reakce:

- počáteční – tvorba glykosylaminu, následuje Amadoriho přesmyk (reakce A, B)
- střední – dehydratace a fragmentace sacharidů a Steckerova degradace AA (reakce C, D, E)

- závěrečná – reakce meziproductů vedoucích k tvorbě heterocyklických sloučenin (zpravidla důležité vonné a chuťové látky) a vysokomolekulární pigmenty melanoidiny (nositelé hnědého zbarvení – reakce F. G).

Vznik glykosylaminů a přesmyk na aminodeoxycukry

Adice neprotonizované formy aminoskupiny aminosloučeniny (amin, aminokyselina, bílkovina) na elektrodeficitní C-atom karbonylové skupiny redukujícího cukru – adiční produkt – karbinolamin, dehydratací vzniká imin (Schiffova base). (Snadnost adice je dána indukčním efektem substituentů karbonylové skupiny určujícím elektronovou hustotu na uhlíku karbonylové skupiny a sterickými faktory).

Reaktivita aminosloučenin závisí na jejich basicitě.

Vliv pH: protonizace karbonylové skupiny zvyšuje její reaktivitu k nukleofilním činidlům, protonizace aminoskupiny reaktivitu snižuje (dusík nemá volný elektronový pár).

Koncentrace obou reaktantů se mění s hodnotou pH prostředí ve vzájemně opačném směru (se snižujícím se pH koncentrace kationtů karbonylové skupiny stopupá, koncentrace neprotonované formy aminosloučeniny klesá) – reakční rychlost dosahuje maxima v mírně kyselém až mírně basicím prostředí (pH 5 – 7).

Schiffovy base nestálé, stabilizují se dalšími reakcemi (př. cyklizace na N-substituovaný glykosylamin).

Aldosylaminy jsou Amadoriho přesmykem transformovány na ketosaminy, ketosylaminy jsou obdobně Heynsovým přesmykem transformovány na aldosaminy (oba přesmyky – kyselá katalýza).

Ketosaminy prokázány v řadě skladovaných a tepelně upravovaných potravinách (sušené ovoce, sušená zelenina, sušené mléko, sójová omáčka aj.).

In vivo v infuzích obsahujících glukosu a AA i v organismu člověka (více u diabetiků).

Vedle Amadoriho a Heynsova přesmyku řada dalších reakcí vedoucích k přeměně glykosylaminů.

Melanoidiny

V prvních dvou fázích Maillardovy reakce – bezbarvé sloučeniny – premelanoidiny.

Závěrečná fáze – barevné sloučeniny – melanoidiny (nejméně prostudovaná část reakce).

Málo informací o struktuře melanoidinů a o mechanismu jejich vzniku. Relat. molekulová hmotnost vyšší než 1000 Da, fyzik. chem. vlastnosti – rozpustnost, antioxidační aktivita aj.

Velká rozmanitost melanoidinů. Při vzniku se uplatňuje polykondensace a polymerace řady reakčních meziproductů (nenasyčených karbonylových a aminokarbonylových sloučenin aj.).

Melanoidiny neobsahující N vznikají ze sacharidů v nepřítomnosti aminosloučenin.

Vlastnosti melanoidinů

Antioxidační vlastnosti – závislé na charakteru reaktantů. Využití v průmyslové praxi několik desetiletí:

Př.: přidavek glukosy a AA (gly, val, lys) do těsta pro výrobu sušenek zvyšuje stabilitu obsaženého sádla vůči autooxidaci.

Přidavek produktů reakce glukosy a his do párků skladovaných za mrazírenské teploty – stejný efekt.

Záhřev plnotučného mléka se směsí glukosy a his – zvyšuje oxidační stabilitu sušeného mléka, snižuje obsah využitelného lys, diskolorace finálního výrobku.

Synergické efekty s jinými antioxidanty – př.: reakční produkty D-xylosy a amoniaku zvyšují antioxidační účinky tokoferolů, nikoli však α -tokoferolu.

Vysokou antioxidační aktivitu vykazují produkty reakcí deoxyaskorbové kys., basické AA (lys, his, arg) po reakci s cukry vykazují vyšší antiox. Aktivitu oproti ostatním AA.

Nutriční a toxikologické aspekty

Důsledkem Maillardovy reakce bývají žádoucí změny organoleptických vlastností potravin (typická vůně, chuť, barva), nežádoucí vlastnosti (netypické vůně a chuti, nežádoucí zbarvení zvláště u sušených potravin), snížení nutriční hodnoty.

Pokles nutriční hodnoty v důsledku ztrát AA nevratnými reakcemi, vazbou AA do nevyužitelných komplexů a kovalentních sloučenin, snížením trávitelnosti bílkovin v důsledku vzniku resistentních příčných vazeb (nejvyšší ztráty u lys a sírných AA).

Nejvyšší snížení nutriční hodnoty u tepelně namáhaných poživatin s nízkým obsahem vody (sušení, pečení, smažení, pražení apod.). Př.: pečení chleba – ztráty lys 10-15%, v kůrce až 70%. Sušení mléka – ztráty lys. 30%.

Vznik toxických látek (klastogenní, mutagenní, karcinogenní účinky).

Př.: Mutagenita tabákového kouře, zuhelnatělých povrchů ryb a masa pečených na roštu není vyvolávána jen PAH (př. 3,4-benzpyren), ale i primární heterocyklické aminy.

Klasifikace:

- non-IQ mutageny
- IQ mutageny

Mutageny I.skupiny – pyridoimidazoly a pyridoindoly (poprvé izolované z pyrolyzátů AA a bílkovin – při teplotách 300-800 °C. Vysoce mutagenní – pyrolyzát try, kys. glutamové, lys, ornitinu, fenylalaninu a pyrolyzáty bílkovin – kasein, pšeničný lepek, sojové globuliny.

Tyto látky vznikají při některých způsobech tepelného opracování potravin (grilování, pečení na roštu).

Mutageny II. skupiny – významnější – imidazochinoliny, imidazochinoxaliny, imidazopyridiny.

Mechanismy vzniku IQ mutagenů nejsou objasněny. Pro vznik nezbytná přítomnost kreatinu a kreatininu. Vznikají reakcemi s některými produkty Maillardovy reakce (Streckerovy aldehydy, pyridiny, pyraziny).

Obsah mutagenů v potravinách závisí na teplotě a obsahu vody. Nejvyšší hladiny jsou v povrchových vrstvách vystavených vyšším teplotám (grilování, pečení na roštu), současně i nižší obsah vody.

Při vaření mutageny nevznikají.

Některé produkty Maillardovy reakce – sekundární aminy – reakcí s kys. dusitou resp.s oxidy dusíku vznikají mutagenní N-nitrososloučeniny.

V průběhu Maillardovy reakce – vzniká dalších mutagenních sloučenin (glyoxal, methylglyoxal, 5-hydroxymethyl-2-furankarbaldehyd aj.).

Faktory ovlivňující průběh Maillardovy reakce (lze využít ke kontrole průběhu):

- teplota

- doba reakce
- pH prostředí
- aktivita vody
- druh reaktantů
- dostupnost reaktantů

Optimalizace průběhu Maillardovy reakce – velmi obtížné. Jednotlivé faktory se vzájemně ovlivňují.

Vliv teploty – aktivační energie. Souvisí s aktivitou vody, s pH prostředí. Vysoká aktivita vody snižuje koncentraci reaktantů, snižuje reakční rychlost. Naopak při nízké aktivitě vody – snižování reakční rychlosti až zastavení reakce v důsledku malé mobility reaktantů.

Možnosti inhibice Maillardovy reakce – vzhledem ke vzniku nežádoucích efektů.

Nejčastější způsoby inhibice Maillardovy reakce:

- odstranění jednoho z reaktantů
- úprava obsahu vody
- snížení teploty
- zkrácení doby záhřevu
- úprava pH
- přidavek látek inhibujících reakci

Př.: odstranění glukosy přidavkem kvasničného preparátu vykazujícího glukosaoxidázovou aktivitu – při výrobě sušených vaječných obsahů.

Současné snížení teploty a doby záhřevu – otáčení potraviny, sušení v tenké vrstvě apod.

Př.: při sprejovém sušení mléka zabránit ohřevu již usušeného prášku.

Př.: instantní rozpustná zrnková káva – sušení sprejové a kontaktní.

Zkrácení doby ohřevu při přípravě džemů – malé výrobní dávky (snižuje se obsah glukosy vznikající inverzí sacharosy).

Význam pro potravinářské technologie

Většina potravinářských technologií – dlouhodobé tradice, spíše aplikace empirických zkušeností nežli vědeckých poznatků.

Optimalizace technologie s cílem získání výrobku požadovaných vlastností.

Náhrada tradičních technologií technologiemi novými:

- extruze
- mikrovlnný ohřev
- infračervený ohřev

Tradiční technologie

Pražení – výrazné uplatnění Maillardovy reakce (výroba kakaa, kávy, pražených ořechů aj.).

Ovlivnění chuti a vůně produktu. Ovlivnění vlastností produktu předcházející fermentací (uvolňování AA a monosacharidů). Náhražka kávy – čekankový kořen.

Vaření, pečení, smažení – kladné sensorické vlastnosti značně převažují nad negativními jevy (snížení nutriční hodnoty, tvorba mutagenů).

Sušení – negativní projevy Maillardovy reakce (mléko, ovoce, zelenina).

Nové technologie

Extruze - výroba sušenek, cereálních snídaní aj. Složitý proces – relativně krátká doba, vysoká teplota, tlak, vysoké střihové síly (vlastnosti výrobku dány rychlostí plnění extrudéru, otáčky šneku, konfigurace šneku atd.)

Relat. vysoké ztráty lys (40-50%). Optimalizace podmínek s ohledem na ztráty lys.

Mikrovlnný ohřev - nejvyšší teploty nikoli na povrchu, ale uvnitř potraviny (nedochází ke ztrátě vody na povrchu a tím ke tvorbě krusty, omezení vývinu barvy a aroma.

Omezení nedostatků: přidávání aromatických látek, natírání povrchu potraviny premixy, obsahující redukující cukry a AA, balení potraviny do materiálů absorbujícího mikrovlnné záření a přicházejícího do těsného kontaktu s povrchem potraviny (na papíře lepený polyesterový film metalizovaný Al).

Infračervený ohřev – při pečení masa, výrobě sušenek, chleba apod. Sensorická kvalita produktů srovnatelná s tradičními technologiemi. Výhody – kratší čas pečení – úspora energie.